CONSERVATION 360°

Multiband Imaging Techniques
with silicon-based sensors
Técnicas de imagen multibanda
con sensores al silicio

EDITORS | *EDITORES*

E. Keats Webb
Miquel Àngel Herrero Cortell
Marcello Picollo

edUPV
Universitat Politècnica de València

CONSERVATION 360°

No. 4 | 2025

edUPV
Universitat Politècnica de València

CONSERVATION 360°
http://tiny.cc/edUPV_C360

Editor in Chief/*Editor jefe*
Laura FUSTER-LÓPEZ — *Universitat Politècnica de València (Spain)*

Assistant Editor/*Asistente editorial*
Candela BELENGUER SALVADOR — *Universitat Politècnica de València (Spain)*
Irene SAMANIEGO JIMÉNEZ — *Universitat Politècnica de València (Spain)*

Scientific Editors/*Editores científicos*
E. Keats WEBB — *Smithsonian's Museum Conservation Institute (USA)*
Miquel Àngel HERRERO-CORTELL — *Universitat Politècnica de València (Spain)*
Marcello PICOLLO — *"Nello Carrara" Institute of Applied Physics of the National Research Council (Italy)*

Editorial Board/*Equipo editorial*
Vasilike ARGYROPOULOS — *University of West Attica (Greece)*
Néstor BARRIO — *Tarea. Instituto de Investigaciones sobre el Patrimonio Cultural. Universidad Nacional de San Martín. (Argentina)*
Anne Laurence DUPONT — *Centre de Recherche sur la Conservation. Centre National de la Recherche Scientifique. Muséum National d'Histoire Naturelle, Ministère de la Culture (France)*
Davide GASPAROTTO — *Paintings Department, J. Paul Getty Museum (USA)*
Marcello PICOLLO — *"Nello Carrara" Institute of Applied Physics of the National Research Council (Italy)*
Benjamin ROUS — *Netherlands Institute for Conservation+Art+Science+ (The Netherlands)*
Maartje STOLS-WITLOX — *University of Amsterdam (The Netherlands)*
Anna VILA — *Museo Picasso Barcelona (Spain)*

Reviewers/*Revisores*
Gregory BAILEY — *The Walters Art Museum (USA)*
Paolo BERTELLI — *Independent Researcher (Italy)*
Marco CARDINALI — *Università della Campania (Italy)*
Andrea CASINI — *"Nello Carrara" Institute of Applied Physics of the National Research Council (Italy)*
Barbara CATTANEO — *Università degli Studi di Roma "La Sapienza"*
Beatrice DE' RUGGIERI — *Emmebi Diagnostica (Italy)*
Julio M. DEL HOYO-MELÉNDEZ — *The National Museum Krakow (Poland)*
Joanne DYER — *The British Museum (UK)*
Gwenanne EDWARDS — *Library of Congress (USA)*
Anna ERŞENKAL — *District Art Conservation, LLC (USA)*
Emily B. FRANK — *Conservation (USA); Cooper Hewitt Smithsonian Design Museum (USA)*
Marina GINANNI — *Opificio delle Pietre Dure (Italy)*
Stephanie GUIDERA — *Art Institute of Chicago (USA)*
Courtney HELION — *Gawain Weaver Art Conservation (USA)*
Meghan HILL — *Library of Congress (USA)*
Roberta IANNACCONE — *Institute of Heritage Science of the National Research Council (Italy); Consulting Scientist (Italy)*
Tuulikki KILPINEN — *Conservator in private practice (Finland)*
Olivia KUZIO — *Getty Conservation Institute (USA)*
David LAINÉ — *International Platform for Art Research and Conservation (IPARC) (Belgium)*
Frank LONG — *Photographer (USA)*
Gwen MANTHEY — *Manthey Fine Art Conservation, LLC (USA)*
Claudia PELOSI — *Università della Tuscia*
José Manuel PEREIRA — *Independent Researcher (Spain)*
Yosi POZEILOV — *Los Angeles County Museum of Art (USA)*
Roxanne RADPOUR — *University of California Los Angeles (USA)*
Max RAHRIG — *Universidad Politécnica de Valencia (Spain)*
Iván REGA — *Universidad de León, (Spain)*
Marina RUIZ MOLINA — *The Metropolitan Museum of Art (USA)*
Carla SCHROER — *Cultural Heritage Imaging (USA)*
Alessandro SIDOTI — *Biblioteca Nazionale Centrale di Firenze (Italy)*
Marie SVOBODA — *J. Paul Getty Museum (USA)*
Paolo A. M. TRIOLO — *Università degli Studi di Genova (Italy) Masahiko TSUKADA Tokyo University of the Arts (Japan)*
Giovanni VERRI — *The Art Institute of Chicago (USA)*
John TWILLEY — *Consulting scientist (USA)*
Elizabeth WALMSLEY — *National Gallery of Art (USA)*
Grace WALTERS — *Library of Congress (USA)*

Translators/*Traductores*
Rita L. AMOR-GARCÍA — *Independent conservator-restorer. Cons-Graf (UK)*
Ruth DEL FRESNO-GUILLEM — *Independent contemporary art consultant, researcher and conservator (Canada)*
Karla MUÑOZ- ALCOCER — *Instituto Nacional de Antropología e Historia INAH (México)*
Annette S. ORTIZ-MIRANDA — *Walters Art Museum (USA)*

Cover Design /*Diseño de Portada*
Aránzazu LLÁCER PEIRÓ — *Universitat Politècnica de València (Spain)*
Cover Image / *Imagen de portada*: Antonio Muñoz Degrain 'A Venetian Corner / Un rincón de Venecia', (Museo de Bellas Artes de Valencia)

CONSERVATION 360°

MULTIBAND IMAGING TECHNIQUES
WITH SILICON-BASED SENSORS
TÉCNICAS DE IMAGEN MULTIBANDA
CON SENSORES AL SILICIO

No. 4 | 2025

(Eds. E. Keats Webb, Miquel Àngel Herrero-Cortell, Marcello Picollo)

edUPV
Universitat Politècnica de València

Cite as: Webb, E. K, Herrero-Cortell, M. A., & Picollo, M. (Eds.). (2025). Multiband imaging techniques with silicon-based sensors. *Conservation 360°*, Vol. 4. edUPV. https://doi.org/10.4995/9788413962238edUPV

Scientific Editors

E. Keats Webb
Miquel Àngel Herrero-Cortell
Marcello Picollo

Cover Image

Antonio Muñoz Degrain 'A Venetian Corner / *Un rincón de Venecia*', (Museo de Bellas Artes de Valencia)

Publisher

edUPV (Universitat Politècnica de València), 2025
Ref.: 6738_01_01_01

ISBN: 978-84-1396-223-8
DOI: https://doi.org/10.4995/9788413962238edUPV

Layout design

Enrique Mateo, *Triskelion Diseño Editorial*

Multiband imaging techniques with silicon-based sensors / *Técnicas de imagen multibanda con sensores al silicio*
This book is licensed under a Creative Commons Atribution-NonCommercial-ShareAlike-4.0 International Licensed

TABLE OF CONTENTS

ÍNDICE

7 Preface
Prólogo
Miquel Àngel Herrero-Cortell, E. Keats Webb, Marcello Picollo

FUNDAMENTALS | ***FUNDAMENTOS***

15 Introduction to Multiband Imaging Techniques
Introducción a las técnicas de imagen multibanda
Yosi Pozeilov, E. Keats Webb

61 Notes on Terminology
Consideraciones terminológicas
E. Keats Webb , Miquel Àngel Herrero-Cortell, Marcello Picollo

89 Multiband Images in the Heritage Field: Past and Present
Imágenes multibanda en el ámbito del patrimonio: pasado y presente
Miquel Àngel Herrero-Cortell, Serena Hirsch, E. Keats Webb

139 Current State, Active Research, and Future Directions of Multiband Imaging of Cultural Heritage
Estado actual, investigación activa y orientación futura de las técnicas de imagen multibanda aplicadas al patrimonio cultural
E. Keats Webb

199 Considerations for Setting Up Technical Imaging with Modified UV-VIS-IR RGB Cameras; Tools and Equipment
Consideraciones para la creación de imágenes técnicas con cámaras UV-VIS-IR RGB modificadas; herramientas y equipos
Jiuan Jiuan Chen

CASE STUDIES | ***CASOS DE ESTUDIO***

243 Integrating Multiband and Multi-Light Reflectance Imaging to Explore Heritage Artefacts
Integración de imágenes multibanda y de reflectancia multilumínica para explorar objetos patrimoniales
Hendrik Hameeuw, Bruno Vandermeulen, Lieve Watteeuw, Athena Van der Perre, Vincent Vanweddingen, Marc Proesmans

265 The Use of the Multiband Imaging to the Standardization of Damage Terms of Old Photographs
El uso de la imagen multibanda para la normalización terminológica de daños de fotografías antiguas
Vasiliki Kokla, Agamemnon Tselikas

287 The *Codex Quetzalecatzin*: the Evolution of its Creation Revealed through Multiband Imaging
El Códice Quetzalecatzin*: la evolución de su creación revelada mediante imágenes multibanda*
Mary Elizabeth Haude

311 Supporting Museum Conservation through Multiband Photogrammetry: a Case Study of the *Uprising of the Mujeres* Mural
Apoyo a la conservación museística mediante fotogrametría multibanda: estudio de caso del mural Levantamiento de las mujeres
Wendy Rose, Amber Kerr

331 Multiband IR Reflectance and Luminescence Imaging: Seeing in IR to Study Hand-Coloured Photographs
Imagen multibanda en reflectancia y luminiscencia infrarroja: estudio de fotografías coloreadas a mano mediante observación en el IR
Rahul Sharma

361 A Technical Art History View: Using Reflected Infrared Photography (IR), Transmitted Infrared Photography (IRT), and X-ray Imaging (XR) to Enhance the Understanding of Superimposed Paintings
Una visión técnica de la Historia del Arte: el uso de la fotografía infrarroja reflejada (IR), la fotografía infrarroja transmitida (IRT) y las imágenes de rayos X (XR) para mejorar la comprensión de las pinturas superpuestas
María Antonia Argelich, Marc Borrás, Irene Samaniego-Jiménez, Mariona Navarro, Jésica Martí

385 Invisible Miracles: Study with Multiband Imaging Techniques of *Nuestra Señora de Guanajuato*
Milagros invisibles: estudio con técnicas de imagen multibanda de Nuestra Señora de Guanajuato
Montserrat Gómez, Sonia De León Romero, Ramón Avendaño Esquivel, Gerardo Hernández Rosales

409 Multiband Imaging Techniques as a Tool for the Documentation of Photographic Artifacts
Técnicas de imagen multibanda como herramienta para la documentación del patrimonio fotográfico
Alejandra Nieto-Villena, Álvaro Solbes-García, Susana Herreras-Sala, Lucía Rojo-Iranzo, Mª. Luisa Vázquez de Ágredos-Pascual

435 Multiband (MBI) and Hyperspectral Imaging (HSI) to Characterise Painting Processes and State of Conservation in Antonio Muñoz Degrain Artworks
Imágenes multibanda (MBI) e hiperespectrales (HSI) para la caracterización de los procesos pictóricos y el estado de conservación de las obras de Antonio Muñoz Degrain
Álvaro Solbes-García, Mª. Luisa Vázquez de Ágredos-Pascual, Lucía Rojo-Iranzo, Alejandra Nieto-Villena, Susana Herreras-Sala, María Andrieux-Nuno

461 Introduction of Multiband Technical Imaging in the Study of Viceregal Paintings: Scenarios and Case Studies of their Application in Peru
Introducción de la imagen técnica multibanda en el estudio de las pinturas virreinales: Escenarios y casos prácticos de su aplicación en Perú
Luis Adawi

483 Exploring the Possibilities of False Color Infrared Transmission Imaging
Explorando las posibilidades de la imagen de transmisión infrarroja en falso color
Marta Raïch, Paola Artoni, Paolo Bertelli, Isidro Puig, Miquel Àngel Herrero-Cortell

513 Standardization of Multiband Radiation for Conservation Documentation: Validation Phase for a Multichannel LED Prototype Fixture Created at The Metropolitan Museum of Art (Met MCLED)
Normalización de la radiación multibanda para la documentación de la conservación: Fase de validación de un prototipo de aparato LED multicanal creado en el Museo Metropolitano de Arte (Met MCLED)
William Scott Geffert, E. Keats Webb, Marina Ruiz Molina, Dawn Kriss, Kisook Suh

544 **GLOSSARY OF TERMS | *GLOSARIO TERMINOLÓGICO.***

PREFACE

PRÓLOGO

Miquel Àngel Herrero-Cortell [a], E. Keats Webb [b], Marcello Picollo [c]
[a] *Universitat Politècnica de València, Spain.*
[b] *Museum Conservation Institute, Smithsonian Institution, United States.*
[c] *Istituto di Fisica Applicata "Nello Carrara" (IFAC-CNR), Italy.*

The evolution of digital imaging over recent decades has profoundly transformed the documentation and study of cultural heritage. The ability to work with modified digital cameras and to record a single object under specific regions of the electromagnetic spectrum—ultraviolet, visible, and near-infrared—has increased access to a set of techniques capable of revealing phenomena imperceptible to the naked eye. These modalities, grouped under the term multiband imaging (MBI), are now applied to a wide range of heritage materials: not only paintings and polychrome objects, but also sculpture, historical photographs, works on paper, textiles, illuminated manuscripts, archival documents, and even certain archaeological materials, where they may reveal residual polychromies or structural details invisible under conventional lighting. The widespread availability of silicon-based sensors in commercial digital cameras has played a crucial role in this expansion.

El desarrollo de la imagen digital durante las últimas décadas ha transformado de manera profunda la documentación y el estudio del patrimonio cultural. La posibilidad de trabajar con cámaras digitales modificadas y registrar un mismo objeto bajo radiaciones específicas del espectro —ultravioleta, visible e infrarrojo cercano— ha hecho accesible un conjunto de técnicas que permiten observar fenómenos imposibles de distinguir a simple vista. Estas modalidades, agrupadas bajo el término imagen multibanda (MBI), se aplican hoy al estudio de una gran variedad de bienes: pinturas y objetos policromos, esculturas, fotografías históricas, obra gráfica, textiles, manuscritos iluminados, documentos o incluso determinados materiales arqueológicos, donde pueden revelar indicios de policromías residuales o detalles estructurales invisibles bajo iluminación convencional. El uso de sensores de silicio, ampliamente disponibles en cámaras digitales comerciales, ha impulsado de forma decisiva esta expansión.

Although each imaging modality responds to a different physical phenomenon—reflection, transmission, or luminescence, as well as hybrid false-color composites—their true potential emerges when they are examined together. Many of these techniques have been used since the early twentieth century, and are therefore well-established tools within heritage examination, though traditionally applied in isolation and for specific purposes. Multiband imaging, by contrast, brings them into a shared methodological framework, enabling a transversal reading of the object and revealing relationships between layers, materials, and transformations that would be difficult to discern using single techniques alone. In every case, MBI is conceived as a complement—not a substitute—for other examination methods. Its value lies in offering a set of multimodal perspectives that enrich traditional approaches to conservation and study.

In practice, MBI facilitates the reconstruction of process workflows, the identification of materials, the differentiation of construction phases and subsequent modifications, and the identification of prior interventions. It produces documentation that can be used for monitoring, conservation records, and comparative analyses across campaigns. The wider adoption of these techniques has been accompanied by significant terminological and methodological divergence, at times impeding cross-disciplinary communication. This volume aims, in part, to ease that challenge by offering conceptual clarity and a broad, comprehensible resource for specialists from diverse backgrounds.

Multiband imaging conducted using silicon-based sensors represents a specialized domain within heritage documentation methodologies. This volume focuses on techniques achievable with modified digital cameras—UV, VIS, and near-IR—and therefore does not address hyperspectral systems, sensors designed for wavelengths

Aunque cada modalidad de captura responde a un fenómeno físico distinto —reflexión, transmisión o luminiscencia, además de las imágenes híbridas de falso color—, su verdadero potencial emerge cuando se analizan de forma comparada. Muchas de estas técnicas se emplean desde comienzos del siglo xx y son, por tanto, herramientas bien asentadas en el examen del patrimonio, aunque tradicionalmente se utilizaban de forma aislada y con fines específicos. La imagen multibanda, en cambio, permite integrarlas en un mismo marco metodológico, facilitando una lectura transversal del objeto y revelando relaciones entre capas, materiales y transformaciones que difícilmente podrían apreciarse mediante técnicas independientes. En cualquier caso, MBI no pretende sustituir a otros métodos de examen, sino complementarlos. Su valor reside en ofrecer lecturas desde bandas distintas y con modalidades diversas, enriqueciendo las metodologías tradicionales de conservación y estudio.

En la práctica, MBI contribuye a reconstruir procesos de ejecución, identificar materiales o distinguir fases constructivas y alteraciones; proporciona indicios relevantes sobre transformaciones o restauraciones pasadas; y ofrece registros que pueden emplearse en seguimientos de conservación o en análisis comparativos con campañas anteriores. La creciente adopción de estas técnicas ha ido acompañada de una proliferación terminológica y metodológica que en ocasiones dificulta el intercambio entre profesionales. Este volumen busca, en parte, ofrecer claridad conceptual y favorecer un marco de referencia amplio y comprensible para especialistas de procedencias diversas.

La imagen multibanda obtenida mediante sensores de silicio constituye un ámbito específico dentro de las metodologías de documentación del patrimonio. Este volumen se centra en las técnicas que pueden realizarse con cámaras digitales modificadas —UV, VIS e IR cercano—, dejando fuera los sistemas hiperespectrales, los sensores diseñados para longitudes de onda más allá del infrarrojo cercano o las aproximaciones propias de la ingeniería

beyond the near-infrared, or device-engineering approaches. Although infrared reflectography and radiography fall outside the core methods discussed here, several chapters incorporate them as auxiliary techniques when needed to contextualize information produced through MBI. Similarly, some contributions include occasional references to hyperspectral imaging—strictly in comparative or complementary terms—to better position the scope and limitations of MBI without shifting the central focus of this volume. Collectively, the chapters demonstrate how multiband imaging can inform several dimensions of study: understanding construction processes, comparing materials and techniques, and observing features related to conservation.

Reflecting the cross-disciplinary spirit of *Conservation 360º*, this volume serves as a practical resource for conservators–restorers, heritage scientists, technical photographers, art historians, archaeologists, and specialists working across a variety of cultural materials.

The primary motivation for this book arises from the lack of a comprehensive volume dedicated specifically to silicon-based multiband imaging, covering both its foundations and its applications. While numerous studies focus on individual modalities or isolated case studies, no collective work has previously brought together a diversity of perspectives while addressing procedures, capture criteria, and applied examples. This volume seeks to fill that gap by offering an updated, balanced, and operational overview in which physical and technical foundations are meaningfully connected to professional practice.

The inherently interdisciplinary nature of the volume reflects contemporary reality. Multiband imaging has become a shared language among

de dispositivos. Aunque la reflectografía infrarroja o la radiografía no forman parte del núcleo tratado, algunos capítulos las incorporan como técnicas auxiliares cuando resultan pertinentes para contextualizar la información generada por MBI. De forma similar, ciertas contribuciones incluyen menciones puntuales a sistemas hiperespectrales —siempre de modo comparativo— para situar mejor el alcance y las limitaciones de las técnicas aquí abordadas. En conjunto, los capítulos muestran cómo MBI puede aportar información en distintas vertientes: comprensión de los procesos de ejecución, identificación comparada de materiales y técnicas, y observación de aspectos conservativos.

El propósito de este enfoque es proporcionar un marco accesible y reproducible, adecuado a las necesidades reales de museos, archivos, centros de conservación-restauración y laboratorios patrimoniales. En coherencia con el espíritu transversal de *Conservation 360º*, el volumen pretende convertirse en una herramienta útil para conservadores-restauradores, científicos del patrimonio, fotógrafos técnicos, historiadores del arte, arqueólogos y otros especialistas que trabajan con producciones patrimoniales de diversa índole.

La motivación principal del libro surge de la falta de una obra de conjunto dedicada específicamente a la imagen multibanda con sensores de silicio, tanto en lo relativo a sus fundamentos como a sus aplicaciones. Aunque existen estudios centrados en modalidades concretas o casos aislados, no se disponía hasta ahora de un volumen que reuniera perspectivas diversas y abordara sistemáticamente procedimientos, criterios de captura y ejemplos aplicados. Este libro aspira a cubrir ese vacío ofreciendo un panorama actual, equilibrado y operativo, donde los fundamentos físicos y técnicos se articulan con la práctica profesional.

La naturaleza interdisciplinar del libro responde a la realidad de la práctica actual. La imagen multibanda se ha convertido en un lenguaje común entre profesionales

professionals who, from different perspectives, engage with heritage objects: those who handle and treat them directly, those who produce their technical documentation, those who interpret images to support diagnosis, and those who research their material history. *Conservation 360°* has established itself as a meeting point for these complementary approaches, providing

The volume's didactic purpose is evident in the attention many chapters devoted to capture workflows, technical standardization, calibration, and image processing. Emphasis is placed on documenting capture conditions, maintaining methodological consistency, and ensuring comparability across campaigns—issues of particular importance for preventive conservation and cumulative documentation in museums and archives. Several contributions also address the inherent limitations of each modality, emphasizing that no technique provides universal solutions and that responsible interpretation requires an understanding of both the capabilities and constraints of each imaging method.

This book is designed to serve as a reference tool for readers approaching these methodologies for the first time as well as for those seeking to expand or update their technical repertoire. The chapters were selected for their methodological relevance, scientific quality, and geographic diversity, providing a broad view of the current state of multiband imaging in heritage studies internationally.

The volume is organized into two major sections. Following this introduction, five foundational chapters lay out the conceptual and technical framework necessary to situate multiband imaging within contemporary heritage examination. They address essential terminology; a historical and current overview of its use; a concise presentation of the main modalities encompassed by MBI; practical considerations for

que, desde perspectivas distintas, trabajan con patrimonio: quienes manipulan y tratan directamente los objetos, quienes realizan su documentación técnica, quienes interpretan imágenes para apoyar diagnósticos y quienes investigan su historia material. *Conservation 360°* se ha consolidado como un espacio de encuentro para estas aproximaciones complementarias, proporcionando un marco editorial que valora por igual el rigor científico, la claridad expositiva y la transferencia práctica.

La vocación didáctica del volumen se expresa en la atención que muchos capítulos dedican a los procedimientos de captura, la consistencia técnica, la calibración y el tratamiento de imágenes. Se insiste en la importancia de registrar las condiciones de toma, mantener parámetros estables y asegurar la comparabilidad entre campañas distintas, cuestiones especialmente relevantes para la conservación preventiva y para la documentación acumulativa en museos y archivos. Paralelamente, varias contribuciones analizan las limitaciones inherentes a cada modalidad, recordando que ninguna técnica ofrece respuestas universales y que la interpretación responsable exige considerar tanto los alcances como los límites de cada fenómeno.

Este volumen aspira a ser un manual de cabecera, útil tanto para quienes se acercan por primera vez a estas metodologías como para quienes desean ampliar o actualizar su repertorio técnico. Los textos han sido seleccionados atendiendo a su calidad, relevancia metodológica y diversidad geográfica, ofreciendo un panorama plural que refleja el estado actual de la imagen multibanda aplicada al patrimonio a nivel internacional.

El libro se organiza en dos grandes bloques. Tras esta introducción, cinco capítulos de fundamentos proporcionan el marco conceptual y técnico necesario para situar las imágenes multibanda en el contexto contemporáneo del examen patrimonial. Abordan la terminología esencial; una panorámica histórica y presente de su uso; una presentación sintética de las principales modalidades

designing workflows with modified UV-VIS-IR RGB cameras; and an updated assessment of the field's current state, areas of active research, and future directions. The second section comprises twelve applied chapters presenting case studies drawn from diverse heritage contexts and offering methodological proposals and examples that demonstrate the practical usefulness of these techniques—from museums and collections to conservation interventions. Some chapters also present validation protocols or explorations of new hybrid false-color combinations, which expand the available toolkit without proposing universal standards.

With this volume, the *Conservation 360º* series reinforces its commitment to disseminating rigorous, accessible knowledge related to the study and preservation of cultural heritage. Multiband imaging, addressed here from multiple perspectives, stands as a non-invasive tool of exceptional value for the documentation, material understanding, and conservation of cultural objects. Its versatility, integrative capacity, and ease of implementation across varied contexts fully justify the dedication of this volume, which aims to advance its maturation through conceptual clarity, practical illustrations, and critical reflections fostering more robust and collaborative practice.

comprendidas en MBI; las consideraciones prácticas para configurar flujos de trabajo con cámaras modificadas UV-VIS-IR RGB; y una actualización del estado de la cuestión con las líneas de investigación activa y perspectivas futuras. A este primer bloque le siguen doce capítulos de aplicación procedentes de diversas tipologías patrimoniales, con propuestas metodológicas específicas y ejemplos que ilustran la utilidad real de estas técnicas en contextos profesionales variados, desde museos y colecciones hasta intervenciones de conservación. Algunos de ellos presentan además protocolos de validación o exploraciones de nuevas imágenes híbridas de falso color, que amplían el repertorio de recursos disponibles sin aspirar a establecer estándares universales.

Con esta obra, la serie *Conservation 360º* refuerza su compromiso con la difusión de conocimiento riguroso y accesible en torno al estudio y preservación del patrimonio. La imagen multibanda, tratada aquí desde múltiples perspectivas, se confirma como una herramienta no invasiva de primer orden para la documentación, la comprensión material y la conservación de los bienes culturales. Su versatilidad, su capacidad integradora y su facilidad de adopción en contextos muy distintos justifican plenamente la dedicación de este volumen, que aspira a contribuir a su consolidación mediante fundamentos conceptuales claros, ejemplos prácticos y reflexiones críticas orientadas a una práctica cada vez más sólida y compartida.

CONSERVATION 360°

FUNDAMENTALS

FUNDAMENTOS

Dispersion of polychromatic light into its constituent wavelengths, illustrating the physical basis of spectral separation underlying multiband imaging.

Dispersión de la luz policromática en sus longitudes de onda constituyentes, que ilustra la base física de la separación espectral subyacente a la imagen multibanda.

INTRODUCTION TO MULTIBAND IMAGING TECHNIQUES

INTRODUCCIÓN A LAS TÉCNICAS DE IMAGEN MULTIBANDA

Yosi Pozeilov [a]*, E. Keats Webb [b]
[a] *Los Angeles County Museum of Art, Conservation Center, United States*
[b] *Museum Conservation Institute, Smithsonian Institution, United States*

* *ypozeilov@lacma.org*

Introduction

Why do we care about imaging beyond visible light? The answer can be as simple as to expand our vision and visualize aspects of an artwork that are invisible to us under normal vision. As an example, X-radiography, although beyond the scope of this volume, is used in medicine to see beyond our eyes' capabilities to identify a broken bone and is similarly used in cultural heritage to "see" the condition and manufacture of objects (Lang et al., 2005). In that same regard, expanding our vision with multiband imaging (MBI) of cultural heritage objects enables us to learn more about its condition, imperfections, interventions, and infestations in addition to guiding analyses and differentiating material compositions. Multiband imaging is widely used for conservation and cultural heritage documentation (Dyer et al., 2013; Warda et al., 2017).

Introducción

¿Por qué nos interesa obtener imágenes más allá de la luz visible? La respuesta puede ser tan sencilla como ampliar nuestra visión y hacer visibles aspectos de una obra de arte que permanecen invisibles bajo condiciones normales de observación. Como ejemplo, la radiografía —aunque queda fuera del alcance de este volumen— se utiliza en medicina para ver más allá de las capacidades de nuestros ojos e identificar un hueso fracturado, y de manera análoga se emplea en el ámbito del patrimonio cultural para "ver" el estado de conservación y la estructura constructiva de los objetos (Lang *et al.*, 2005). En ese mismo sentido, ampliar nuestra visión mediante la imagen multibanda (MBI) de objetos patrimoniales nos permite conocer más sobre su estado, imperfecciones, intervenciones e infestaciones, además de orientar los análisis y diferenciar composiciones materiales. La

Understanding the interaction that different radiation sources have with chemical compounds is an important diagnostic tool for multiband imaging. Elements and molecules react differently to different radiation wavelengths: it can be absorbed, reflected, or transmitted, or a combination of any of these. Depending on the reaction or interaction behavior between the chemical compounds and the radiation source, we can understand and visualize features as well as differentiate materials that were not obvious to the naked eye before. For example, the absorption of infrared (IR) radiation by carbon black together with reflectance of the preparation layer allows us to visualize underdrawing in a painting (Warda et al., 2017, p. 130). Another example is the visualization of the pigment Egyptian blue by excitation of its calcium copper silicate compound with visible light to emit luminescence in the near infrared region. This can reveal the presence of Egyptian blue, alone, in mixtures and even under paint and accretion layers in areas of an artwork that otherwise would seem to be void of color (Verri, 2008, 2009).

To proceed with the acquisition of multiband images, we need to discuss the core components needed to perform multiband imaging: a capture device, radiation sources, and the use of filters (either on the capture device and/or the radiation sources).

The capture device is a camera with a sensor sensitive to the wavelengths that we are interested in recording. For this volume, it will be a camera with a silicon-based sensor sensitive to long-wave ultraviolet [320 - 400 nm], visible [400 – 700 nm] and near infrared [700 – 1100 nm] regions of the electromagnetic spectrum. Next, we need a radiation source that provides the desired wavelengths that correspond to the selected imaging technique. An example of this would be the use of halogen-tungsten lights, which are rich in infrared radiation, to visualize the pounce marks made with charcoal in

imagen multibanda se utiliza ampliamente para la documentación en conservación y patrimonio cultural (Dyer *et al.*, 2013; Warda *et al.*, 2017).

Comprender la interacción entre distintas fuentes de radiación y los compuestos químicos constituye una herramienta diagnóstica fundamental en la imagen multibanda. Los elementos y las moléculas reaccionan de manera diferente ante distintas longitudes de onda de radiación: pueden absorberla, reflejarla o transmitirla, o bien presentar una combinación de estos comportamientos. En función de la reacción o comportamiento de interacción entre los compuestos químicos y la fuente de radiación, podemos comprender y visualizar determinadas características, así como diferenciar materiales que antes no resultaban evidentes a simple vista. Por ejemplo, la absorción de radiación infrarroja (IR) por el negro de carbón, junto con la reflectancia de la capa de preparación, permite visualizar el dibujo subyacente en una pintura (Warda *et al.*, 2017, p. 130). Otro ejemplo es la visualización del pigmento azul egipcio gracias a la excitación de su compuesto de silicato cálcico-cúprico mediante luz visible, lo que provoca la emisión de luminiscencia en la región del infrarrojo cercano. Esto puede revelar la presencia del azul egipcio —solo, en mezclas e incluso bajo capas de pintura o depósitos— en zonas de una obra que, de otro modo, parecerían carentes de color (Verri, 2008, 2009).

Para proceder a la adquisición de imágenes multibanda, es necesario abordar los componentes fundamentales requeridos para llevar a cabo este tipo de imagen: un dispositivo de captura, fuentes de radiación y el uso de filtros (ya sea en el dispositivo de captura o en las fuentes de radiación).

El dispositivo de captura es una cámara con un sensor sensible a las longitudes de onda que nos interesa registrar. En este volumen se emplea una cámara con un sensor basado en silicio, sensible al ultravioleta de onda larga [320–400 nm], al visible [400–700 nm] y al

the preparatory design of a wall painting. A final consideration for the imaging system is the use of filtration to block or pass sections of the electromagnetic spectrum at either the radiation source and/or at the capture device. Continuing with our example, since the halogen-tungsten lights also contain visible wavelengths, it would be important to block these wavelengths from reaching our imaging sensor only allowing the infrared wavelengths to pass recording the interaction of IR radiation with the charcoal and preparatory substrate. We can accomplish this by placing a filter in front the camera lens that transmits only infrared radiation [wavelengths above 700 nm] and blocks any visible light [400-700nm].

The following sections will further discuss the components of the imaging system needed to perform multiband imaging. In addition, reference to targets and other considerations will be discussed for the successful acquisition of images using different regions of the electromagnetic spectrum; with the goal of expanding and controlling the visualization and ultimately providing a deeper understanding of cultural heritage material.

Capture Devices

Of all the components necessary to perform multiband imaging, the capture device is the one that we have the least control over. In many cases, off-the-shelf cameras manufactured by major camera companies are used. These consumer digital cameras include a silicon-based light detector, or an imaging sensor (Jenkin, 2011). The imaging sensor is a collection of millions of tiny light-sensitive diodes or photosites (receptors) placed in a silicon chip, which converts photons (light) or radiation into an electrical charge via electron generation. The differential in the electrical charge produced is directly

infrarrojo cercano [700–1100 nm] del espectro electromagnético. En segundo lugar, se requiere una fuente de radiación que proporcione las longitudes de onda adecuadas para la técnica de imagen elegida. Un ejemplo de ello es el uso de lámparas de halógeno-tungsteno, ricas en radiación infrarroja, para visualizar las señales de estarcido realizadas con carbón en el diseño preparatorio de una pintura mural. Una consideración final del sistema de imagen es el empleo de filtros para bloquear o permitir determinadas secciones del espectro electromagnético, ya sea en la fuente de radiación o en el dispositivo de captura. Siguiendo con el ejemplo anterior, dado que las lámparas halógeno-tungsteno también emiten longitudes de onda visibles, es importante bloquear estas longitudes antes de que alcancen el sensor de imagen, permitiendo únicamente el paso de la radiación infrarroja y registrando así la interacción del IR con el carbón y el estrato preparatorio. Esto puede lograrse situando un filtro delante del objetivo de la cámara que transmita únicamente radiación infrarroja [longitudes de onda por encima de 700 nm] y bloquee la luz visible [400–700 nm].

Las secciones siguientes profundizarán en los componentes del sistema de imagen necesarios para realizar *multiband imaging*. Asimismo, se abordarán las referencias a cartas de calibración y otras consideraciones pertinentes para la adquisición correcta de imágenes en distintas regiones del espectro electromagnético, con el objetivo de ampliar y controlar la visualización y, en última instancia, proporcionar una comprensión más profunda del material patrimonial.

Dispositivos de captura

De todos los componentes necesarios para realizar imagen multibanda, el dispositivo de captura es aquel sobre el que tenemos un menor control. En muchos casos se emplean cámaras comerciales disponibles en el mercado, fabricadas por las principales compañías

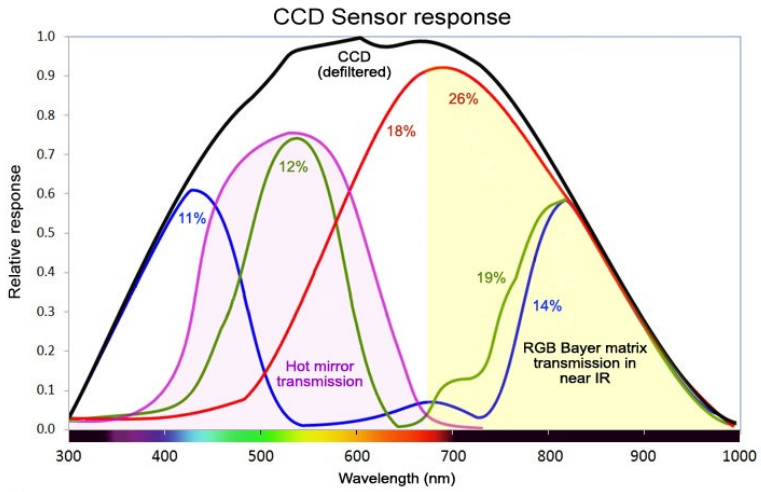


Figure 1 | Typical spectral response curve for a CMOS/CCD sensor is shown (black line). In commercial cameras, a UV and an IR filter is added (yellow region) blocking radiation in this region reach the sensor. The hot mirror (violet region) allows the transmission of visible light to the Bayer filter mask (blue, green and red) to make the final color image. Above about 725 nm, the sensor is sensitive to NIR by removing the Hot mirror (IR filter), the camera sensor can respond to radiation even approaching 1000 nm (yellow region). Image: ©2008 David Twede.

Figura 1 | Se muestra una curva típica de respuesta espectral para un sensor CMOS/CCD (línea negra). En las cámaras comerciales, se añade un filtro UV e IR (región amarilla) que bloquea la radiación de estas zonas antes de que alcance el sensor. El hot mirror (región violeta) permite la transmisión de la luz visible hacia la máscara de filtros Bayer (azul, verde y rojo) para generar la imagen final en color. Por encima de aproximadamente 725 nm, el sensor es sensible al NIR; al retirar el hot mirror (filtro IR), el sensor puede responder a radiación que se aproxima incluso a los 1000 nm (región amarilla). Imagen: ©2008 David Twede.

proportional to the intensity of the photons or radiation hitting the surface of the imaging sensor or detector, producing a black to white gradation in the grayscale that at its lowest resolution value consists 256 steps[1] (8 bit), or distinctive gray values comprising the minimum requirement to generate a true-to-life image representation.

At their core, silicon-based imaging sensors are monochromatic and sensitive from long-wave ultraviolet wavelengths through the visible and into the near infrared (Figure 1) (Crowther, 2019; Jenkin, 2011; Verhoeven, 2008). Consumer digital cameras are optimized for color, visible light photography. To that effect on each pixel there is a red, green, or blue

fotográficas. Estas cámaras digitales de consumo incluyen un detector de luz basado en silicio, o sensor de imagen (Jenkin, 2011). El sensor de imagen es un conjunto de millones de pequeños diodos fotosensibles o *photosites* (receptores) dispuestos sobre un chip de silicio, que convierten los fotones (luz) o radiación en una carga eléctrica mediante la generación de electrones. La diferencia en la carga eléctrica producida es directamente proporcional a la intensidad de los fotones o la radiación que inciden sobre la superficie del sensor o detector, generando una gradación del blanco al negro en la escala de grises que, en su valor de resolución más bajo, consta de 256 niveles[1] (8 bits), o valores tonales distintos, que constituyen el requisito mínimo para producir una imagen fiel a la realidad.

[1] For simplicity we are considering an 8 bit environment, but modern cameras are capable of generation 12,14 or even 16 bits of information which translates to millions, billions or trillions of grayscale gradations.

[1] Por simplificación, se ha considerado un entorno de 8 bits, pero las cámaras modernas son capaces de generar 12, 14 o incluso 16 bits de información, lo que se traduce en millones, miles de millones o billones de gradaciones de escala de grises.

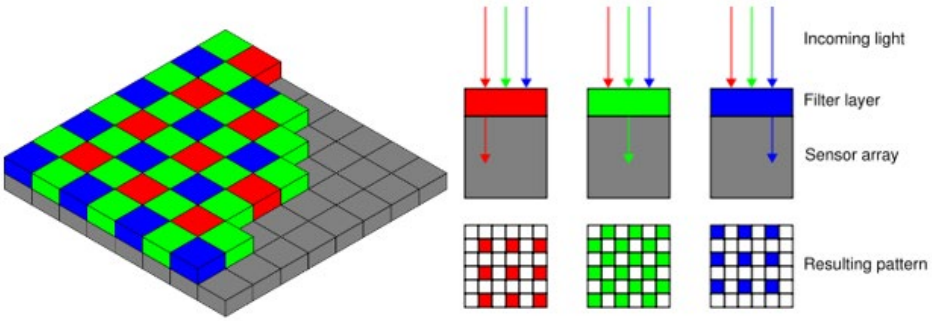


Figure 2 | Bayer mask, color filter array. The figure provides a diagram of a Bayer filter mask with the left images showing the standard checkered pattern of red, green, and blue filters covering the sensor. The diagram on the right illustrates how the color filters, red, green or blue, light reaches the sensor's individual pixels filter with the resulting pattern illustrated. Image: https://simple.wikipedia.org/wiki/Bayer_filter#/media/File:BayerPatternFiltration.png CC BY-SA 3.0

Figura 2 | Máscara Bayer, matriz de filtros de color. La figura muestra un diagrama de una máscara de filtros Bayer, con las imágenes de la izquierda representando el patrón ajedrezado estándar de filtros rojos, verdes y azules que cubren el sensor. El diagrama de la derecha ilustra cómo la luz filtrada en rojo, verde o azul llega a los píxeles individuales del sensor, mostrando el patrón resultante. Imagen: https://simple.wikipedia.org/wiki/Bayer_filter#/media/File:BayerPatternFiltration.png CC BY-SA 3.0

filter that make up the color filter array, of which the most common pattern is the Bayer filter array, allowing for a color image to be produced. In this way each photosite is filtered specifically to receive one of these three colors (Figure 2). The truncated color information from the photosites is then processed using mathematical algorithms that produce a full color image representation of the subject being photographed.

As a means of comparison, we will discuss how human vision reacts to light and how our vision serves as the model by which the image sensor is developed to yield color in a similar way (Berns, 2016). Human vision begins when light enters the eye through the cornea, which bends (refracts) incoming light toward the pupil the opening in the iris regulates how much light passes through. The lens then fine-tunes this focus so that the image falls sharply on the retina, a thin layer of light-sensitive tissue at the back of the eye. The retina contains two

En esencia, los sensores de imagen basados en silicio son monocromos y son sensibles desde las longitudes de onda del ultravioleta de onda larga, pasando por el visible, hasta el infrarrojo cercano (Figura 1) (Crowther, 2019; Jenkin, 2011; Verhoeven, 2008). Las cámaras digitales de consumo están optimizadas para fotografía en color y luz visible. Para ello, sobre cada píxel se coloca un filtro rojo, verde o azul que conforma la matriz de filtros de color (color filter array), cuyo patrón más común es la matriz Bayer, que permite generar una imagen en color. De este modo, cada *photosite* queda filtrado específicamente para recibir uno de estos tres colores (Figura 2). La información cromática incompleta que llega a los *photosites* se procesa mediante algoritmos matemáticos que reconstruyen una representación en color completo del sujeto fotografiado.

A modo de comparación, analizaremos cómo reacciona la visión humana a la luz y cómo nuestro sistema visual sirve de modelo para el desarrollo de los sensores de imagen, que generan el color de manera similar (Berns, 2016). La visión humana comienza cuando la luz

types of photoreceptors: rods, which are highly sensitive to light and enable night and peripheral vision, and cones, which detect color and function best in bright light. There are three types of cone cells each sensitive to a different range of wavelengths corresponding roughly to red, green, and blue light. This is known as trichromatic vision. The brain interprets color by comparing the relative stimulation of these three cone types; for example, when both red- and green-sensitive cones are strongly activated, we perceive yellow. These photoreceptors convert light into electrical signals, which are processed by retinal neurons and transmitted through the optic nerve to the visual cortex. There, the brain integrates the information from both eyes, combining brightness, color, and depth cues to create the rich, three-dimensional color world we perceive. Introduction to Multiband Imaging Techniques 3). For additional information about human vision in the context of cultural heritage see Berns (2016) and Saunders (2020).

In color theory, any visible color can be described in terms of luminance and chromaticity. Luminance refers to the perceived brightness or intensity of light, essentially how much light energy a surface reflects or emits. Chromaticity, on the other hand, defines the quality of color regardless of brightness and is determined by two components: hue (the color's position on the spectrum, such as red or blue) and saturation (the purity or vividness of that hue). Together, luminance and chromaticity form a complete description of color perception, where luminance carries information about lightness and form, and chromaticity conveys the color's identity and intensity.

Color scientist have developed through the years different models to measure and represent colors (Berns, 2016, pp. 73–97; Saunders, 2020, pp. 39–58) The most widely used color model defined

entra en el ojo a través de la córnea, que desvía (refracta) la luz entrante hacia la pupila, la abertura del iris que regula cuánta luz puede pasar. El cristalino ajusta posteriormente el enfoque para que la imagen se proyecte con nitidez sobre la retina, una fina capa de tejido fotosensible situada en la parte posterior del ojo.

La retina contiene dos tipos de fotorreceptores: los bastones, altamente sensibles a la luz y esenciales para la visión nocturna y periférica; y los conos, que detectan el color y funcionan mejor en condiciones de alta luminosidad. Existen tres tipos de células cono, cada uno sensible a un rango diferente de longitudes de onda que corresponde aproximadamente a la luz roja, verde y azul. Este fenómeno recibe el nombre de visión tricromática. El cerebro interpreta el color comparando el grado relativo de estimulación de estos tres tipos de conos; por ejemplo, cuando los conos sensibles al rojo y al verde se activan intensamente a la vez, percibimos el color amarillo.

Estos fotorreceptores convierten la luz en señales eléctricas, que son procesadas por las neuronas retinianas y transmitidas a través del nervio óptico hacia la corteza visual. Allí, el cerebro integra la información procedente de ambos ojos, combinando señales de brillo, color y profundidad para generar el mundo visual tridimensional y cromático que percibimos (Figura 3). Para ampliar información sobre la visión humana en el contexto del patrimonio cultural, véanse Berns (2016) y Saunders (2020).

En teoría del color, cualquier color visible puede describirse en términos de luminancia y cromaticidad. La luminancia se refiere al brillo percibido o a la intensidad de la luz, es decir, a la cantidad de energía luminosa que una superficie refleja o emite. La cromaticidad, por su parte, define la cualidad del color independientemente del brillo y se determina mediante dos componentes: el matiz (la posición del color en el espectro, como rojo o azul) y la saturación (la pureza o viveza del matiz). Juntas, luminancia y cromaticidad proporcionan una descripción completa de la percepción del color, en la que la luminancia aporta

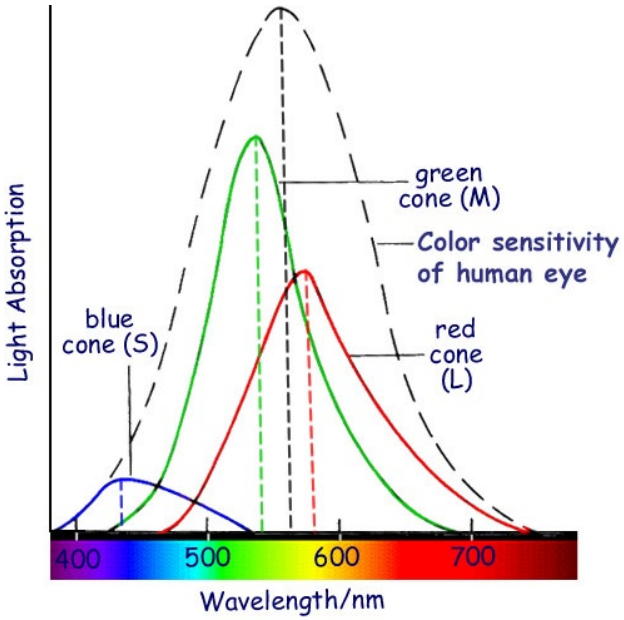


Figure 3 | This graph shows the overall color sensitivity of the human eye (black, dotted line) and the trichromatic cone sensitivity in the three regions of the spectrum (blue, green, and red). Image: Cyberphysics Graphic (2012) https://www.cyberphysics.co.uk/topics/medical/Eye/photosensitiveCells.html

Figura 3 | Este gráfico muestra la sensibilidad global al color del ojo humano (línea negra discontinua) y la sensibilidad tricromática de los conos en las tres regiones del espectro (azul, verde y rojo). Imagen: Cyberphysics Graphic (2012) https://www.cyberphysics.co.uk/topics/medical/Eye/photosensitiveCells.html

by the Commission Internationale de l'Éclairage (CIE) for practical color measurement and comparison is the CIE L*a*b* color space, introduced in 1976 (Figure 4). Designed to be perceptually uniform, meaning that equal numerical changes correspond to roughly equal visual differences, it represents color in three dimensions. The L* component corresponds to luminance, or perceived lightness, while a* and b* represent chromaticity: a* ranges from green (negative) to red (positive), and b* ranges from blue (negative) to yellow (positive). Unlike earlier models tied to specific devices or primaries, CIE L*a*b* is device-independent and grounded in human visual response, making it a global standard for color specification, and digital imaging workflows.

After making the correlation between the tristimulus response to color by the human eye, to the capture and measurement of color electronically and mathematically the discussion can go back to

información sobre la claridad y la forma, y la cromaticidad transmite la identidad e intensidad del color.

A lo largo de los años, los especialistas en color han desarrollado distintos modelos para medir y representar los colores (Berns, 2016, pp. 73–97; Saunders, 2020, pp. 39–58). El modelo cromático más ampliamente utilizado, definido por la Commission Internationale de l'Éclairage (CIE) para la medición práctica y la comparación del color, es el espacio CIE L*a*b*, introducido en 1976 (Figura 4). Diseñado para ser perceptualmente uniforme —es decir, para que cambios numéricos equivalentes correspondan aproximadamente a diferencias visuales equivalentes—, representa el color en tres dimensiones. El componente L* corresponde a la luminancia o claridad percibida, mientras que a* y b* describen la cromaticidad: a* varía desde el verde (valores negativos) hasta el rojo (valores positivos), y b* desde el azul (negativos) hasta el amarillo (positivos). A diferencia de modelos anteriores derivados de dispositivos específicos o de primarios concretos, CIE L*a*b* es independiente del dispositivo y se fundamenta

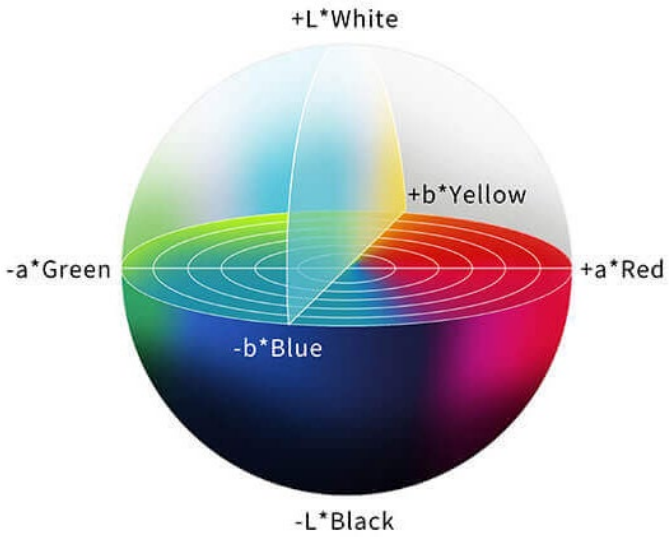


Figure 4 | The CIE L*a*b* Color Space. https://images.linshangtech.com/product190119/Lab-color-space.jpg

Figura 4 | El espacio de color CIE L*a*b*. https://images.linshangtech.com/product190119/Lab-color-space.jpg

the imaging sensor, in which at its core adopts the three color scheme to assign photorealistic color to the final image. The filters that the color filter array uses act like band pass filters (Figure 5) at each photosite. Each camera manufacturer has a different proprietary algorithm to process the color image from this combination of RGB filters at each photosite.

In addition to the color filter array, consumer digital cameras are also optimizing color, visible light images, by placing an infrared and ultraviolet blocking filter, also known as a "hot mirror", over the sensor. As discussed, the silicon sensor at the heart of digital cameras is sensitive from long-wave ultraviolet through the visible and into the near infrared (Figure 1) (Crowther, 2019; Jenkin, 2011; Verhoeven, 2008). This means that consumer digital cameras can be modified by removing this infrared and ultraviolet blocking filter to record images using UV, VIS, and IR wavelengths (Crowther, 2019; Davies, 2018; Verhoeven, 2008).

en la respuesta visual humana, lo que lo convierte en un estándar internacional para la especificación del color y los flujos de trabajo de imagen digital.

Una vez establecida la correlación entre la respuesta tricromática del ojo humano al color y la captura y medición electrónica y matemática del color, la discusión puede volver al sensor de imagen, que en esencia adopta este esquema de tres colores para asignar un color fotorrealista a la imagen final. Los filtros que utiliza la matriz de filtros de color actúan como filtros de banda (Figura 5) en cada *photosite*. Cada fabricante de cámaras emplea un algoritmo propietario diferente para procesar la imagen en color a partir de esta combinación de filtros RGB en cada *photosite*.

Además de la matriz de filtros de color, las cámaras digitales de consumo también optimizan las imágenes en color y luz visible colocando un filtro bloqueador de infrarrojo y ultravioleta —conocido como *hot mirror*— sobre el sensor. Como se ha comentado, el sensor de silicio que constituye el núcleo de las cámaras digitales es sensible desde el ultravioleta de onda larga, pasando por el visible,

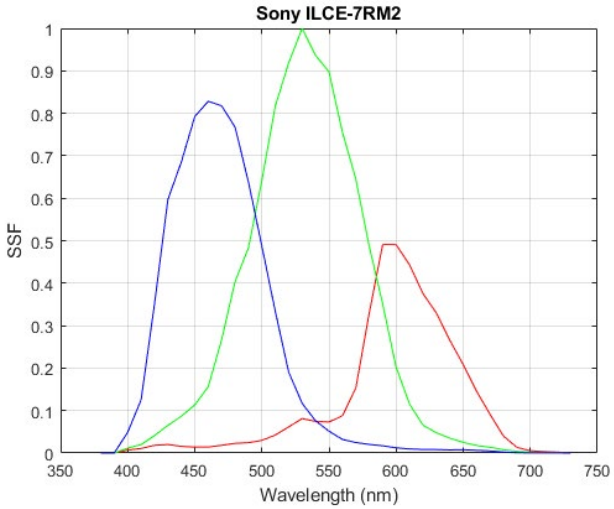


Figure 5 | The Spectra sensitivity curves for Sony Alpha A7RII. Image: https://www.dpreview.com/forums/thread/4343781

Figura 5 | Curvas de sensibilidad espectral de la Sony Alpha A7RII. Imagen: https://www.dpreview.com/forums/thread/4343781

It is important to understand that the standard imaging sensor is composed of layers, starting with the monochromatic silicon chip with the photosites, then the Bayer filter array to impart color, and finally the top layer that blocks the unwanted IR and UV wavelengths beyond visible light (Davies, 2018; Jenkin, 2011). This scheme provides a foundation for understanding what is being recorded and how. It also provides an understanding of which internal filters to remove in a camera and the effect that this will have in its imaging ability, and further to make decisions about the selection of radiation sources and additional external filters that are needed to build a multiband imaging set.

There are three main types of modifications available for consumer digital cameras: single wavelength, full spectrum, and monochrome conversions (Davies, 2018).

The single wavelength conversion involves the removal and replacement of the "hot mirror" with a filter that is passing a specific section of wavelengths. For example, the "hot mirror" may be

hasta el infrarrojo cercano (Figura 1) (Crowther, 2019; Jenkin, 2011; Verhoeven, 2008). Esto significa que las cámaras digitales de consumo pueden modificarse retirando este filtro bloqueador de infrarrojo y ultravioleta para registrar imágenes utilizando longitudes de onda UV, VIS e IR (Crowther, 2019; Davies, 2018; Verhoeven, 2008).

Es importante comprender que el sensor de imagen estándar está compuesto por varias capas: comenzando por el chip monocromático de silicio con los photosites, seguido de la matriz de filtros Bayer que aporta el color, y finalmente la capa superior que bloquea las longitudes de onda no deseadas del IR y del UV más allá de la luz visible (Davies, 2018; Jenkin, 2011). Este esquema proporciona una base para entender qué se está registrando y cómo. También permite comprender qué filtros internos pueden retirarse en una cámara, el efecto que esto tendrá en su capacidad de imagen y, en última instancia, tomar decisiones sobre la selección de fuentes de radiación y los filtros externos adicionales necesarios para construir un sistema de imagen multibanda.

Existen tres tipos principales de modificaciones disponibles para cámaras digitales de consumo: conversión

replaced with a filter that transmits IR radiation passing wavelengths above 700 nm, and only images reflecting within the near infrared (700 to 1000nm, in this case) could be recorded with this camera modification.

The full spectrum conversion is the most common option for conservation applications, and it involves the removal of the "hot mirror" and replaced with a clear optical glass allowing for the camera to be sensitive for the full range that the silicon sensor can record, from long-wave UV to near IR (Figure 1). A camera with this modification is commonly referred to as a full spectrum UV-VIS-IR camera. With this type of modification, a full range of multiband images can be acquired and generated, using different radiation sources and filters including "normal" color, visible light images.

The monochrome conversion includes the removal of the "hot mirror" in addition to the removal of the top surface of the sensor which includes the color filter array, or the red, green, and blue filters on each of the pixels. This is a more invasive modification that is more expensive. The monochrome conversion is not as widely used for conservation applications, although the sensitivity to record reflected UV radiation is increased (Crowther, 2019). This monochrome UV-VIS-IR camera would need to be used in conjunction with an unmodified (regular) camera for color, visible light images, and UV-induced visible luminescence images.[2]

In conclusion, even though we have little control over the camera as the capture device, we can work with it understanding and expanding its sensitivity

a una sola longitud de onda, conversión de espectro completo y conversión monocroma (Davies, 2018).

La conversión a una sola longitud de onda implica la retirada y sustitución del *hot mirror* por un filtro que deja pasar únicamente una sección específica de longitudes de onda. Por ejemplo, el *hot mirror* puede sustituirse por un filtro que transmita radiación infrarroja por encima de 700 nm, de modo que la cámara modificada solo pueda registrar imágenes reflejadas dentro del infrarrojo cercano (700–1000 nm, en este caso).

La conversión de espectro completo es la opción más habitual para aplicaciones en conservación. En este caso, el *hot mirror* se retira y se sustituye por un vidrio óptico transparente, permitiendo que la cámara sea sensible a todo el rango que el sensor de silicio puede registrar, desde el UV de onda larga hasta el IR cercano (Figura 1). Una cámara con esta modificación se denomina comúnmente cámara de espectro completo UV-VIS-IR. Con este tipo de conversión, puede adquirirse y generarse un conjunto completo de imágenes multibanda utilizando diferentes fuentes de radiación y filtros, incluyendo imágenes visibles en color "normales".

La conversión monocroma implica retirar el *hot mirror* y, además, eliminar la capa superior del sensor que contiene la matriz de filtros de color, es decir, los filtros rojo, verde y azul de cada píxel. Se trata de una modificación más invasiva y más costosa. La conversión monocroma no se utiliza tan ampliamente en aplicaciones de conservación, aunque incrementa la sensibilidad para registrar radiación UV reflejada (Crowther, 2019). Esta cámara monocroma UV-VIS-IR debería utilizarse junto con una cámara sin modificar (estándar) para obtener imágenes visibles en color y luminiscencia UV inducida por VIS.[2]

[2] Technically it is feasible, but more complex, to produce an RGB image with a monochrome modified camera by acquiring three images using red, green, and blue filters on the camera lens and then processing the images to create a final RGB image.

[2] Técnicamente es factible, aunque más complejo, producir una imagen RGB con una cámara monocroma modificada adquiriendo tres imágenes utilizando filtros rojos, verdes y azules en la lente de la cámara y procesando luego las imágenes para crear una imagen RGB final.

through modifications to use it for multiband imaging and the recording of images with UV, VIS and NIR wavelengths.

Radiation Sources

The next factor to consider in the multiband imaging workflow is the radiation source in the form of electrical light fixtures that need to be selected in accordance with the desired region of the electromagnetic spectrum for each imaging technique.

From the previous section, we understand that the camera sensor can record information and visualize the various interactions of the materials under different bands of light and radiation (e.g., UV, VIS, NIR). In other words, if we are expecting to record the interaction of IR with materials (e.g., absorption and reflection), then our task will be to match the camera sensor, in this case a modified camera properly filtered, with a radiation source that is rich with IR. This section will review different radiation sources that are commonly used and the benefits that they may have in targeting an area(s) or band(s) of interest.

Different types of light fixtures are used to photograph cultural heritage artifacts.[3] Five broad categories of electric lamps used are:

- *Incandescent*. A filament, usually of coiled tungsten wire, is heated to incandescence by the flow of current. It produces smooth, continuous spectra like natural daylight with

[3] For additional information about radiation sources see Saunders (2020) (focus on museum lighting and not photographic radiation sources but there is overlap in some of the types of lighting between the two), Myers (2000) (focus only on visible light imaging), Dyer et al. (2013, pp. 44–55), Warda et al. (2017) (lighting: pp. 38-42; infrared lamps: pp. 135-136; and ultraviolet lamps: pp. 152-153), and Davies (2018) (radiation sources for RUV: pp. 43-50; radiation sources for UVL: pp. 77-80; radiation sources for IR: pp. 114-115).

En conclusión, aunque tenemos poco control sobre la cámara como dispositivo de captura, podemos trabajar con ella entendiendo y ampliando su sensibilidad mediante modificaciones, para emplearla en imagen multibanda y en el registro de imágenes con longitudes de onda UV, VIS y NIR.

Fuentes de radiación

El siguiente factor a considerar en el flujo de trabajo de la imagen multibanda es la fuente de radiación en forma de luminarias eléctricas, que deben seleccionarse en función de la región del espectro electromagnético correspondiente a cada técnica de imagen.

Según lo expuesto en la sección anterior, entendemos que el sensor de la cámara puede registrar información y visualizar las distintas interacciones de los materiales bajo diferentes bandas de luz y radiación (p. ej., UV, VIS, NIR). En otras palabras, si nuestro objetivo es registrar la interacción del IR con los materiales (p. ej., absorción y reflexión), nuestra tarea consistirá en combinar el sensor de la cámara —en este caso una cámara modificada y filtrada adecuadamente— con una fuente de radiación rica en IR. Esta sección revisará diferentes fuentes de radiación utilizadas habitualmente y los beneficios que pueden aportar para dirigir la iluminación hacia determinadas áreas o bandas de interés.

Se utilizan distintos tipos de luces para fotografiar objetos del patrimonio cultural.[3] Existen cinco grandes categorías de lámparas eléctricas:

[3] Para obtener más información sobre las fuentes de radiación, véase Saunders (2020) (centrado en la iluminación de museos y no en las fuentes de radiación fotográfica, aunque hay solapamientos en algunos de los tipos de iluminación entre ambos), Myers (2000) (centrado únicamente en la imagen de luz visible), Dyer et al. (2013, pp. 44-55), Warda et al. (2017) (iluminación: pp. 38-42; lámparas infrarrojas: pp. 135-136; y lámparas ultravioletas: pp. 152-153), y Davies (2018) (fuentes de radiación para RUV: pp. 43-50; fuentes de radiación para UVL: pp. 77-80; fuentes de radiación para IR: pp. 114-115).

a large component of infrared radiation. The spectrum of light produced by an incandescent lamp closely approximates that of a black body radiator at the same temperature.

A modern variation of this lamp is the halogen lamp, known also as tungsten-halogen and quartz-halogen. This type of lamp has a filament of tungsten in an environment with a small amount of halogen. When current passes though the tungsten filament it reacts chemically with the halogen gas (halogen-cycle), having as a final consequence a brighter output and a higher color temperature. This last variation of bulbs was the most used for imaging, but now are not being produced any more following legislation phasing-out inefficient bulbs around the world.

- *Fluorescent (CFL).* Low-pressure mercury is ionized inside the lamp, producing primarily ultraviolet radiant energy, which causes phosphors to fluoresce. Produces a combined spectrum, continuous or broad spectra from the phosphor, plus the line spectra of the mercury discharge.

- *Flash or Strobes.* Strobe lights usually use flashtubes containing xenon gas and energy supplied from a capacitor, an energy storage device much like a battery, but capable of charging and releasing energy much faster. As with the HID lights described after, this stored high energy is used through a series of steps to ionize the xenon gas that is stored in the flash tube. An arc is created inside the tube, and the capacitor's energy rapidly heats the xenon gas, creating an extremely bright plasma discharge, which is seen as a flash.

- *Incandescentes.* Un filamento, normalmente de tungsteno enrollado, se calienta hasta la incandescencia mediante el paso de corriente. Produce un espectro suave y continuo, similar a la luz natural, con un componente importante de radiación infrarroja. El espectro producido por una lámpara incandescente se aproxima al de un cuerpo negro a la misma temperatura.

Una variación moderna es la lámpara halógena, también llamada tungsteno-halógena o cuarzo-halógena. Este tipo de lámpara contiene un filamento de tungsteno en un entorno con una pequeña cantidad de halógeno. Cuando la corriente pasa por el filamento, este reacciona químicamente con el gas halógeno (ciclo halógeno), lo que da como resultado una emisión más brillante y una temperatura de color más alta. Este último tipo de lámparas fue el más utilizado para imagen, pero ya no se fabrica debido a normativas globales que eliminan bombillas ineficientes.

- *Fluorescentes (CFL).* El mercurio a baja presión se ioniza dentro de la lámpara, produciendo energía radiante principalmente en el ultravioleta, que hace fluorescencia. El espectro resultante es una combinación de espectros continuos o amplios procedentes de los fósforos, junto con las líneas espectrales de la descarga de mercurio.

- *Flash o estroboscópicas.* Los flashes suelen utilizar tubos llenos de gas xenón y energía suministrada por un condensador, un dispositivo de almacenamiento de energía similar a una batería, pero capaz de cargarse y descargarse mucho más rápido. Al igual que ocurre con las lámparas HID, esta energía se emplea para ionizar el gas xenón del tubo. Se crea un arco dentro del tubo, y la energía del condensador calienta rápidamente el gas xenón, generando una descarga de plasma extremadamente brillante que percibimos como un destello.

- *High intensity discharge (HID).* Pressurized gases inside an arc tube are ionized by current flow between electrodes, emitting light. Produces light in discrete lines or bands. There are three types of HID sources, and for each of the three types of the gases in the arc tube are different:

  a. Mercury vapor sources include mercury plus small quantities of argon, neon, and krypton.

  b. Metal halide sources are the same as vapor lamps but also include iodides of sodium and scandium. Other metal halide lamps may have iodides of rare-earth elements.

  c. High pressure sodium sources include sodium, mercury amalgam, and xenon.

- *Light-Emitting Diodes (LEDs).* LEDs are semiconductor devices that produce visible light when an electrical current is passed through them. LEDs are a type of Solid-State Lighting (SSL), as are organic light–emitting diodes (OLEDs) and light–emitting polymers (LEPs). LEDs are "directional" light sources, which means they emit light in a narrower angle than other lamps, unlike incandescent and compact fluorescent bulbs that emit light – and heat – in all directions. For this reason, LED lighting requires sophisticated engineering to produce an LED light bulb that shines light all around like an incandescent bulb.

  For the past decade LEDs have been developed and commercialized exponentially to the degree that most available lights are LED based. Development has not been only in producing suitable stable and accurate visible lights but

- *Lámparas de descarga de alta intensidad (HID).* Gases presurizados en un tubo de arco se ionizan por el paso de corriente entre electrodos, emitiendo luz. Producen luz en líneas o bandas discretas. Existen tres tipos principales de fuentes HID, según los gases presentes en el tubo de arco:

  a. Las lámparas de vapor de mercurio contienen mercurio y pequeñas cantidades de argón, neón y criptón.

  b. Las lámparas de halogenuros metálicos contienen lo mismo que las de vapor más yoduros de sodio y escandio; algunas incluyen yoduros de tierras raras.

  c. Las lámparas de sodio a alta presión contienen sodio, amalgama de mercurio y xenón.

- *Diodos emisores de luz (LED).* Los LED son dispositivos semiconductores que producen luz visible cuando circula corriente eléctrica a través de ellos. Son un tipo de iluminación de estado sólido (*solid-state lighting*, SSL), igual que los OLED y los polímeros emisores de luz. Los LED son fuentes de luz direccionales, lo que significa que emiten luz en un ángulo más estrecho que otras lámparas, a diferencia de las incandescentes o fluorescentes compactas, que irradian luz —y calor— en todas direcciones. Por este motivo, la iluminación LED requiere una ingeniería sofisticada para producir bombillas que iluminen de forma más homogénea.

  En la última década, los LED se han desarrollado y comercializado de forma exponencial, hasta el punto de que la mayoría de lámparas disponibles actualmente son LED. El desarrollo no solo ha alcanzado iluminantes visibles estables y precisos, sino también fuentes en ultravioleta e infrarrojo.

also radiation sources in the ultraviolet and infrared. It is also important to mention that LEDs are more efficient and use less energy in the generation of photons or emitted radiation.

Traditionally selecting lights for conservation photography was a straightforward process. Two sets of lights were needed, the first was a set of incandescent lights to perform visible light and infrared photography, and the second was a source of ultraviolet radiation, either in the form of filtered-mercury vapor spotlights or UV fluorescent light bulbs. Currently, thanks to advancements in light production technology, the selection is much wider allowing for a better selection of radiation sources that fit our needs.

The development of lights and radiation sources has also advanced the education and information available regarding the physical characteristics of commercialized lights. Technical information including color temperature, power distribution or spectra graphs, lumens/lux as well as ratings and performance values like Color Rendering Index (CRI), and Fidelity Index (Rf), Gamut Index (Rg) and Color Vector Graphic (All part of TM-30) standards are accessible and even, with little effort, they can be measured and corroborated independently. This information allows for informed decision making at the time of imaging.

There are some physical characteristics that need to be known to increase our level of confidence when selecting a radiation source to perform the multiband imaging. For example, when generating color corrected images in the visible spectrum, the lights that we use need to have a continuous, full-line spectra power distribution across the visible spectrum. This would mean that the color captured will accurately represent the object photographed, since it was allowed to absorb, reflect, and transmit

Además, los LED son más eficientes y requieren menos energía para generar fotones o radiación emitida.

Seleccionar luces para fotografía de conservación era tradicionalmente un proceso sencillo. Se necesitaban dos tipos de iluminación: en primer lugar, un conjunto de luces incandescentes para realizar fotografía en luz visible e infrarroja; y en segundo lugar, una fuente de radiación ultravioleta, ya fuera en forma de focos de vapor de mercurio filtrados o tubos fluorescentes UV. En la actualidad, gracias a los avances en la tecnología de producción de luz, la gama disponible es mucho más amplia, lo que permite una selección más precisa de las fuentes de radiación que mejor se adapten a nuestras necesidades.

El desarrollo de luces y fuentes de radiación también ha impulsado la formación y la información disponible sobre las características físicas de las luces comercializadas. Datos técnicos como la temperatura de color, la distribución de potencia o gráficos espectrales, los valores de lúmenes/lux, así como índices y parámetros de rendimiento como el Índice de Reproducción Cromática (CRI), el *Fidelity Index* (Rf), el *Gamut Index* (Rg) y el *Color Vector Graphic* (todos ellos incluidos en la normativa TM-30), están disponibles y —con poco esfuerzo— pueden incluso medirse y verificarse de manera independiente. Esta información permite tomar decisiones fundamentadas en el momento de la captura.

Existen ciertas características físicas que deben conocerse para aumentar nuestro nivel de seguridad a la hora de seleccionar una fuente de radiación para realizar imagen multibanda. Por ejemplo, cuando generamos imágenes corregidas en color dentro del espectro visible, las luces utilizadas deben tener una distribución espectral de potencia continua y completa a lo largo de todo el espectro visible. Esto garantiza que el color capturado represente con precisión el objeto fotografiado, ya que se le ha permitido absorber, reflejar y transmitir energía fotónica (radiación) en todo el rango de longitudes de

photonic energy (radiation) across the full visible wavelength range. In a similar fashion if we are interested in generating UV induced visible luminescence images, we need to select a radiation source that has the desired UV excitation emission peak in its power distribution graph. A spectral power distribution (SPD) related to light describes how the power of light is distributed across different wavelengths. Essentially, it shows how much energy light carries at each specific color or frequency. When we measure the SPD of a light source, we gain insights into its color composition, intensity, and overall spectral characteristics.

Table 1 provides a summary of the different types of radiation sources used in conservation photo studios including the spectral power distribution (SPD) graphs.

From these SPD graphs in Table 1, we can immediately corroborate common knowledge like that incandescent lights (tungsten-halogen) are very rich in infrared radiation (above 700nm) followed closely by the strobes/flash units (xenon gas). In contrast other sources, such as LEDs and fluorescent fixtures are very poor in delivering infrared radiation. Of all the light sources shown, flash units have the most even and complete spectral output of all the lights. Notable is the fact that the fluorescent lights have a series of valleys and peaks across the visible spectrum, and we can see also how manufactures try to compensate for this shortcoming by formulating their fluorescent compounds differently to obtain a more even distribution. The newer lights in production are the LED's that have a characteristic blue peak (called blue pump) and a deep valley in the blue/green range (around 450nm). We can expect these lights to improve over time, as continuous development and innovation continues to take place in this industry.

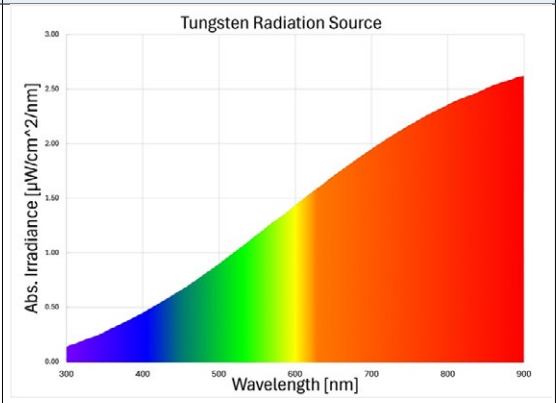
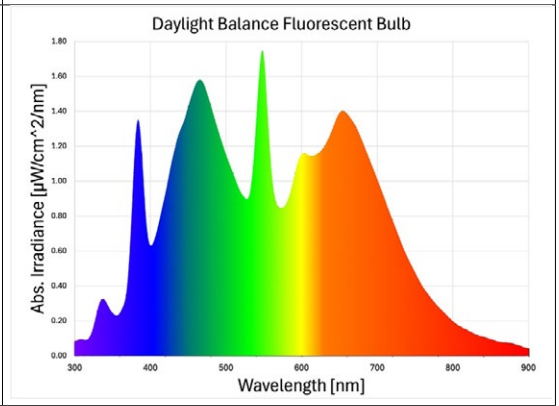
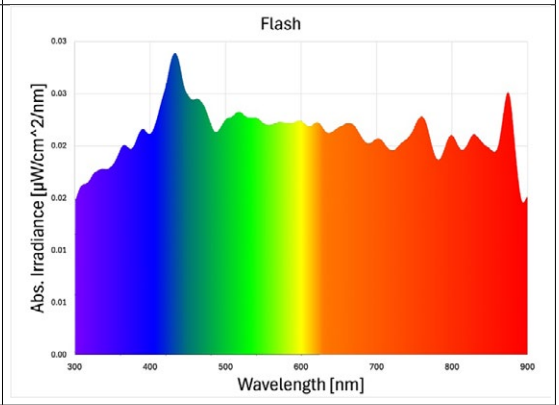
onda visibles. Del mismo modo, si nos interesa obtener imágenes de luminiscencia visible inducida por UV, debemos seleccionar una fuente de radiación que presente el pico de emisión UV deseado en su gráfico de distribución de potencia.

La distribución espectral de potencia (SPD) de una fuente luminosa describe cómo se distribuye la energía luminosa entre diferentes longitudes de onda. En esencia, muestra cuánta energía transporta la luz en cada color o frecuencia específicos. Al medir el SPD de una fuente lumínica obtenemos información sobre su composición cromática, su intensidad y sus características espectrales generales.

La Tabla 1 ofrece un resumen de los diferentes tipos de fuentes de radiación utilizadas en los estudios fotográficos de conservación, incluyendo sus gráficos de distribución espectral de potencia (SPD).

A partir de estos gráficos SPD en la Tabla 1, podemos corroborar de inmediato conocimientos bien establecidos, como que las luces incandescentes (tungsteno-halógeno) son muy ricas en radiación infrarroja (por encima de 700 nm), seguidas de cerca por los flashes o unidades de destello (gas xenón). En contraste, otras fuentes como los LED y las lámparas fluorescentes ofrecen niveles muy bajos de radiación infrarroja. De todas las fuentes de iluminación mostradas, las unidades de flash presentan la salida espectral más uniforme y completa. Es notable que las lámparas fluorescentes muestren una serie de valles y picos a lo largo del espectro visible, y también puede observarse cómo los fabricantes intentan compensar estas limitaciones formulando de manera distinta sus compuestos fluorescentes para lograr una distribución más uniforme. Las luces más recientes —los LED— presentan un pico característico en la región azul (conocido como *blue pump*) y un valle profundo en la zona azul-verde (alrededor de 450 nm). Es previsible que estas luces sigan mejorando con el tiempo, dado el continuo desarrollo e innovación en esta industria.

Table 1 | Radiation Sources for Multiband Imaging.

	Description	Advantages and Limitations	MBI Techniques	Example Spectral Power Distribution (SPD)
Incandescent	An incandescent lamp, also known as a tungsten lamp, makes light by heating a tungsten filament. It produces smooth, continuous spectra like natural daylight. Incandescent sources include tungsten-halogen lamps and quartz-halogen lamp.	Advantages: Continuous source Smooth spectral curve High color-rendering index Limititations: Produces considerable heat (Warda et al., 2017) Very small amount of UV radiation and blue light (Myers, 2000)	VIS IR	
Fluorescent	Low-pressure mercury is ionized inside the lamp, producing primarily ultraviolet radiant energy, which causes phosphors to fluoresce. Produces a combined spectrum, continuous or broad spectra from the phosphor, plus the line spectra of the mercury discharge.	Advantages: VIS lamps – high lumen output with most of the light are visible wavelengths Energy efficient Low heat output Limititations: Sharp spikes with SPD which can reduce the quality of the color properties (Saunders, 2020)	VIS	
Flash/Strobes	Strobe lights usually use flashtubes containing xenon gas and energy supplied from a capacitor, an energy storage device much like a battery, but capable of charging and releasing energy much faster. This stored high energy is used through a series of steps to ionize the xenon gas that is stored in the flash tube. An arc is created inside the tube, and the capacitor's energy rapidly heats the xenon gas, creating an extremely bright plasma discharge, which is seen as a flash.	Advantages: High lumen output without heat (Warda et al., 2017) Limititations: Not as useful for visual examination. Continuous sources allow user to see how the object is illuminatied/irradiated (if in the VIS range). Flash sources require acquiring an image to observe this.	VIS IR	
	Note: An illumination source contained only in the VIS (Flash or LED) spectrum can be used to generate luminescence in the IR. See Table 5.		VIL	

(Table 1, continued on next page)

(Table 1, continued from previous page)

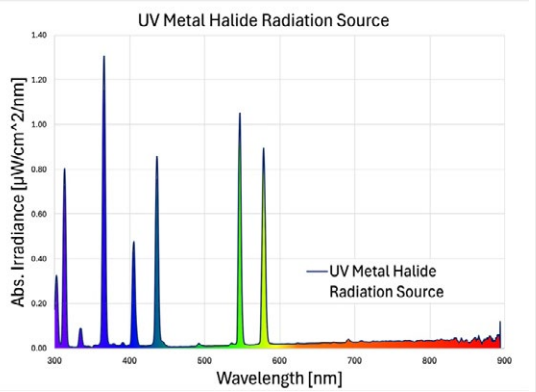
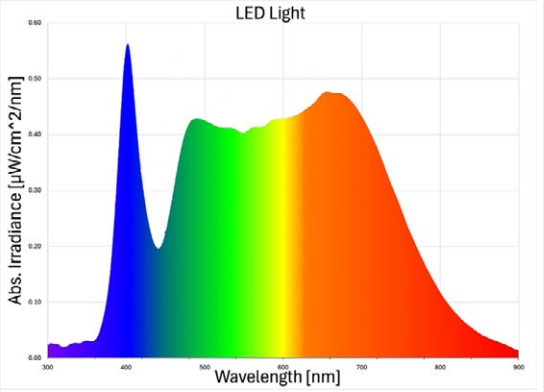
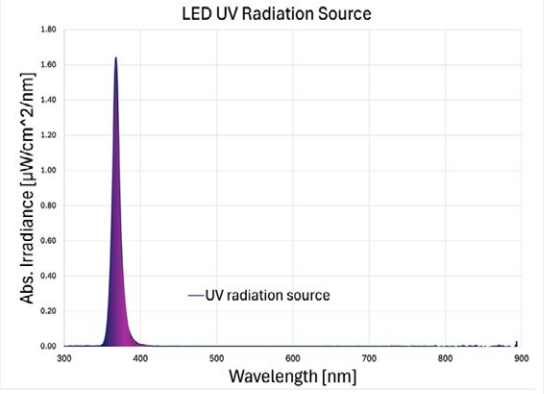
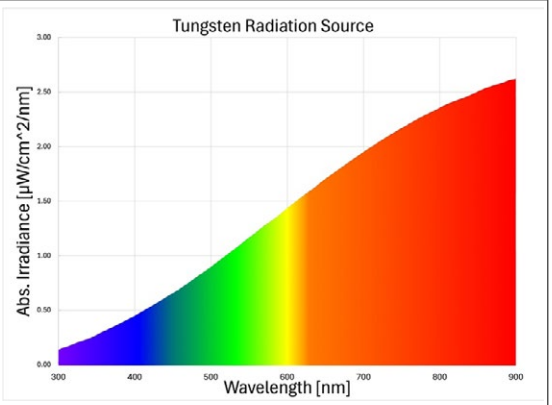
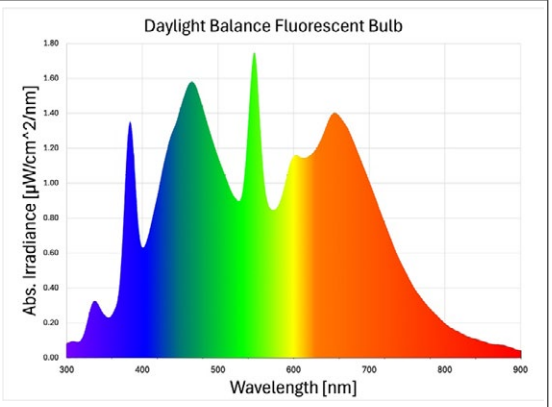
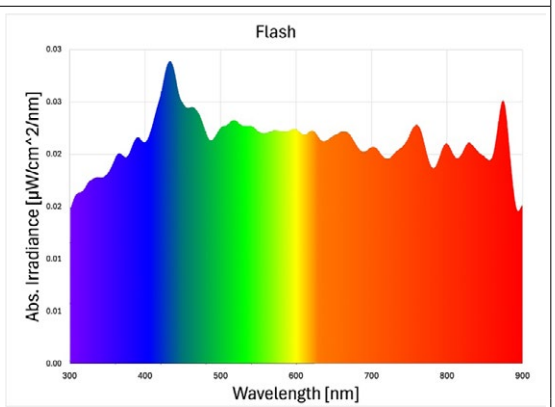
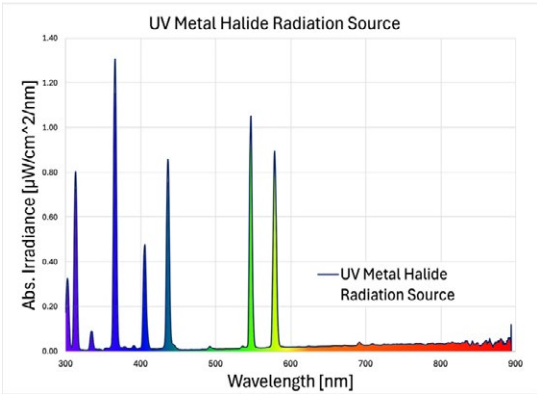
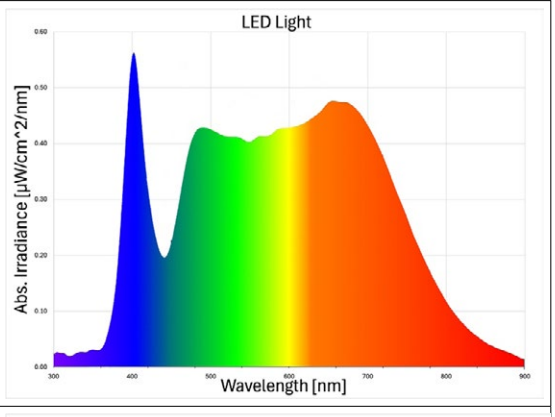
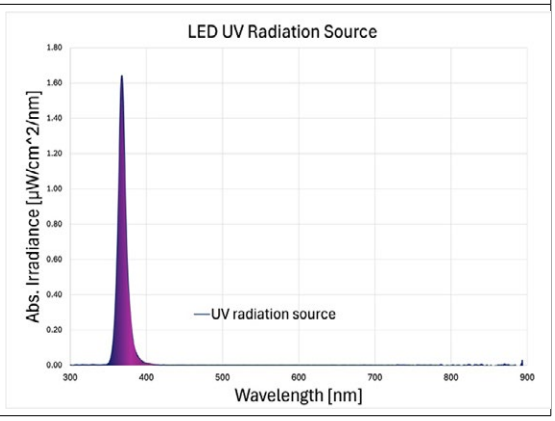
	Description	Advantages and Limitations	MBI Techniques	Example Spectral Power Distribution (SPD)
High Intensity Discharge (HID)	Pressurized gases inside an arc tube are ionized by current flow between electrodes, emitting light. Produces light in discrete lines or bands. There are three types of HID sources, and for each of the three types of the gases in the arc tube are different: Mercury vapor sources include mercury plus small quantities of argon, neon, and krypton. Metal halide sources are the same as vapor lamps but also include iodides of sodium and scandium. Other metal halide lamps may have iodides of rare-earth elements. High pressure sodium sources include sodium, mercury amalgam, and xenon.	Advantages: More energy efficient and higher lumen output than tungsten sources (Warda et al., 2017) Limititations: Require several minutes to come to full intensity (Warda et al., 2017) Generally large units with fans and more expensive (Warda et al., 2017))	UVL UVR	
Light-Emitting Diodes (LEDs)	LEDs, or light–emitting diodes, are semiconductor devices that produce visible light when an electrical current is passed through them. LEDs are a type of Solid-State Lighting (SSL), as are organic light–emitting diodes (OLEDs) and light–emitting polymers (LEPs). LEDs are "directional" light sources, which means they emit light in a small angle, unlike incandescent and compact fluorescent bulbs that emit light – and heat – in all directions. For this reason, LED lighting requires sophisticated engineering to produce an LED light bulb that shines light all around like an incandescent bulb. For the past decade LEDs have been developed and commercialized exponentially to the degree that most available lights are LED based. Development has not been only in producing suitable stable and accurate visible lights but also radiation sources in the Ultraviolet and Infrared. It is also important to mention that LEDs are more efficient and use less energy in the generation of photons or emitted radiation.	Advantages: More efficient and use less energy Limititations: "not all LEDs are created equal" with products varying widely in terms of SPD, color-rendering index, and correlated color temperature (Warda et al., 2017)	VIS	
			UVL UVR	

Tabla 1 | Fuentes de radiación para imágenes multibanda.

	Descripción	Ventajas y limitaciones	Técnicas MBI	Ejemplo: Distribución de potencia espectral
Incandescente	Una lámpara incandescente, también conocida como lámpara de tungsteno, produce luz mediante el calentamiento de un filamento de tungsteno. Genera espectros continuos y suaves, similares a la luz natural del día. Las fuentes incandescentes incluyen lámparas de tungsteno-halógeno y lámparas de cuarzo-halógeno.	Ventajas: · Fuente continua · Curva espectral suave · Índice de reproducción cromática elevado Limitaciones: · Produce una cantidad considerable de calor (Warda et al., 2017) · Emite una cantidad muy reducida de radiación UV y de luz azul (Myers, 2000)	VIS IR	
Fluorescente	Low-pressure mercury is ionized inside the lamp, producing primarily ultraviolet radiant energy, which causes phosphors to fluoresce. Produces a combined spectrum, continuous or broad spectra from the phosphor, plus the line spectra of the mercury discharge. En las lámparas de mercurio de baja presión, el mercurio se ioniza en el interior del bulbo, generando principalmente energía radiante en el ultravioleta, la cual provoca la fluorescencia de los fósforos. Este tipo de lámpara produce un espectro combinado, que incluye un espectro continuo o de banda ancha generado por el fósforo, junto con los espectros de líneas característicos de la descarga de mercurio.	Advantages: Ventajas: · Las lámparas VIS presentan un alto rendimiento lumínico, con la mayor parte de la emisión localizada en longitudes de onda visibles. · Alta eficiencia energética. · Baja emisión de calor. Limitaciones: · Picos pronunciados en la distribución espectral de potencia (SPD), lo que puede reducir la calidad de las propiedades cromáticas (Saunders, 2020).	VIS	
Flashes estroboscópicos	Los flashes estroboscópicos utilizan habitualmente tubos de descarga que contienen gas xenón y energía suministrada por un condensador, un dispositivo de almacenamiento de energía similar a una batería, pero capaz de cargarse y liberar energía de forma mucho más rápida. Esta energía almacenada se emplea, a través de una serie de etapas, para ionizar el gas xenón contenido en el tubo de destello. Se genera un arco en el interior del tubo, y la energía del condensador calienta rápidamente el gas xenón, creando una descarga de plasma extremadamente brillante que se percibe como un destello.	Ventajas: · Alto flujo lumínico sin generación de calor (Warda et al., 2017). Limitaciones: · Menor utilidad para el examen visual. Las fuentes continuas permiten al usuario ver cómo está siendo iluminado/irradiado el objeto (si se trabaja en el rango visible). Las fuentes de destello requieren obtener una imagen para poder observarlo.	VIS IR	
	Nota: Una fuente de iluminación cuya emisión se limita únicamente al espectro visible (flash o LED) puede utilizarse para generar luminescencia en el infrarrojo. Véase la Tabla 5.		VIL	

(Tabla 1, continúa en la página siguiente)

(Tabla 1, continúa de la página anterior)

	Descripción	Ventajas y limitaciones	Técnicas MBI	Ejemplo: Distribución de potencia espectral
Descarga de alta intensidad (HID)	Los gases presurizados dentro de un tubo de arco son ionizados por el flujo de corriente entre los electrodos, emitiendo luz. Producen luz en líneas o bandas discretas. Existen tres tipos de fuentes HID, y para cada uno de los tres tipos los gases presentes en el tubo de arco son diferentes: Las fuentes de vapor de mercurio incluyen mercurio más pequeñas cantidades de argón, neón y kriptón. Las fuentes de halogenuros metálicos son las mismas que las lámparas de vapor, pero también incluyen yoduros de sodio y escandio. Otras lámparas de halogenuros metálicos pueden contener yoduros de elementos de tierras raras. Las fuentes de sodio de alta presión incluyen sodio, amalgama de mercurio y xenón.	Ventajas: · Más eficientes energéticamente y con un mayor flujo luminoso que las fuentes de tungsteno (Warda et al., 2017). Limitaciones: · Requieren varios minutos para alcanzar la intensidad completa (Warda et al., 2017). · Suelen ser unidades grandes, con ventiladores, y más costosas (Warda et al., 2017).	UVL UVR	
Light-Emitting Diodes (LEDs)	Los LEDs, o diodos emisores de luz, son dispositivos semiconductores que producen luz visible cuando una corriente eléctrica pasa a través de ellos. Los LED forman parte de la denominada Iluminación de Estado Sólido (SSL), al igual que los diodos orgánicos emisores de luz (OLEDs) y los polímeros emisores de luz (LEPs). Los LED son fuentes de luz "direccionales", lo que significa que emiten luz dentro de un ángulo reducido, a diferencia de las lámparas incandescentes y las lámparas fluorescentes compactas, que emiten luz —y calor— en todas direcciones. Por esta razón, la iluminación LED requiere una ingeniería sofisticada para producir una bombilla LED que irradie luz en todas direcciones como lo hace una bombilla incandescente. Durante la última década, los LED se han desarrollado y comercializado de forma exponencial, hasta el punto de que la mayoría de las fuentes luminosas disponibles actualmente se basan en LED. El desarrollo no ha consistido únicamente en producir luces visibles estables, precisas y adecuadas, sino también en diseñar fuentes de radiación en el ultravioleta y en el infrarrojo. También es importante mencionar que los LED son más eficientes y consumen menos energía en la generación de fotones o radiación emitida.	Ventajas: • Mayor eficiencia y menor consumo energético. Limitaciones: • "No todos los LED son iguales", ya que los productos disponibles presentan grandes variaciones en términos de distribución espectral de potencia (SPD), índice de reproducción cromática y temperatura de color correlacionada (Warda et al., 2017).	VIS	
			UVL UVR	

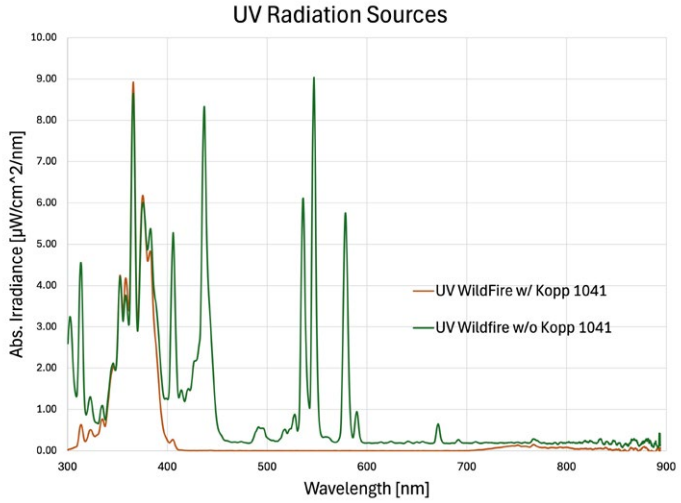


Figure 6 | SPD for a metal halide lamp, the UV WildFire without filtration, (green) and the same lamp with a Kopp 1041 filter (orange) to eliminate the visible light transmission.

Figura 6 | Distribución espectral de potencia (SPD) de una lámpara de halogenuros metálicos, el modelo UV WildFire sin filtración (verde), y de la misma lámpara equipada con un filtro Kopp 1041 (naranja) para eliminar la transmisión de luz visible.

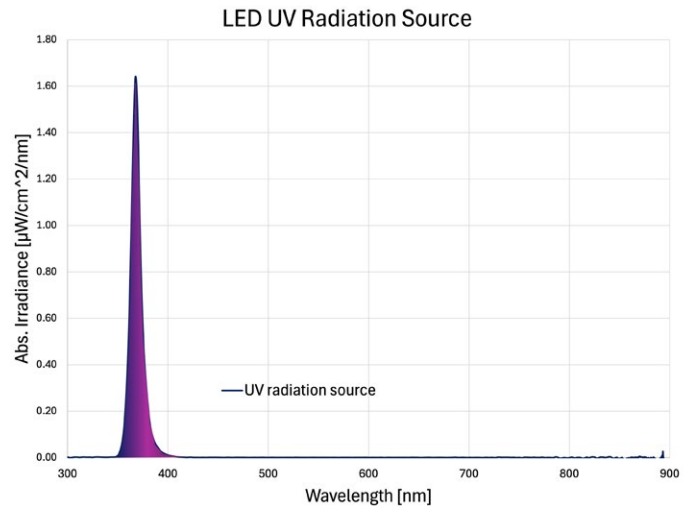


Figure 7 | SPD for the RealUV 365nm UV LED radiation source outfitted with a MidOpt BP365 filter.

Figura 7 | Distribución espectral de potencia (SPD) de la fuente de radiación LED RealUV 365 nm, equipada con un filtro MidOpt BP365.

A similar comparison can be made with UV radiation sources. Using a spectroradiometer, we are able to compare the power distribution graphs of a traditional metal halide HID bulb (Figure 6) against a newer UV-only LED fixture (Figure 7).

Puede realizarse una comparación similar con las fuentes de radiación UV. Utilizando un espectrorradiómetro es posible comparar los gráficos de distribución de potencia de una lámpara HID tradicional de halogenuros metálicos (Figura 6) con los de un dispositivo LED reciente diseñado exclusivamente para emitir UV (Figura 7).

In Figure 6, we can see the characteristic behavior of the emission of mercury with a series of peaks in the UV region as well as in the visible. In that same graph we can see the effect that the filter, provided by the manufacturer (Kopp 1041), has in the transmission of all these peaks, allowing only the long-wave UV (and a very small component of NIR) to pass through while blocking the visible wavelengths.

Figure 7 shows the absolute irradiance curve for the UV-only LED radiation source outfitted with a bandpass 365nm filter. It is clear that the emission is "cleaner" than the traditional metal halide one having a narrower peak that is more focused around the desired 365nm emission with no NIR component at all, making this radiation source a better choice for generating UV induced visible luminescence images. It is important to note that even though LED-UV radiation sources have an SPD very similar to the one shown in Figure 7 (in many cases provided by the manufacturer) when they are unfiltered, the use of the 365 nm bandpass filter is absolutely necessary to obtain luminescence images that are correct and properly generated (Pozeilov, 2023).

Filtration

Radiation sources by themselves are not enough to target and fine-tune spectral bands, either narrow or broad, to capture an image; filtration is crucial to achieve this differentiation and will be discuss next. Filters can be used either on the radiation source or the camera, and this section will discuss different types of filtration and provide examples of those being used for multiband imaging.

En la Figura 6, podemos observar el comportamiento característico de la emisión del mercurio, con una serie de picos en la región UV así como en la visible. En ese mismo gráfico puede verse el efecto que produce el filtro suministrado por el fabricante (Kopp 1041) sobre la transmisión de todos estos picos, permitiendo el paso únicamente de la radiación UV de onda larga (y un componente muy pequeño de NIR), mientras bloquea las longitudes de onda visibles.

La Figura 7 muestra la curva de irradiancia absoluta de una fuente de radiación LED UV de 365 nm equipada con un filtro de banda pasante de 365 nm. Es evidente que la emisión es "más limpia" que la del halógeno metálico tradicional, ya que presenta un pico más estrecho y más concentrado en torno a la emisión deseada de 365 nm, sin ningún componente NIR, lo que convierte a esta fuente de radiación en una opción más adecuada para generar imágenes de luminiscencia visible inducida por UV. Conviene señalar que, aunque las fuentes LED-UV presentan un SPD muy similar al mostrado en la Figura 7 (en muchos casos proporcionado por el fabricante), cuando se utilizan sin filtrar, el uso del filtro de banda pasante de 365 nm es absolutamente imprescindible para obtener imágenes de luminiscencia correctas y adecuadamente generadas (Pozeilov, 2023).

Filtración

Las fuentes de radiación por sí solas no son suficientes para seleccionar y afinar bandas espectrales —ya sean estrechas o amplias— con el fin de capturar una imagen; la filtración es esencial para lograr esta diferenciación, y será abordada a continuación. Los filtros pueden utilizarse tanto en la fuente de radiación como en la cámara, y en esta sección se analizarán los distintos tipos de filtros, proporcionando ejemplos de los empleados en imagen multibanda.

Several filter classifications are based on overall spectral properties and the type of radiation the filters transmit, or attenuate. Listed below are some of the classes of filters of interest for multiband imaging:

1. Sharp-cutting: filters which provide an abrupt transition between regions of high and low transmittance.

2. Short-wavelength or *Short-pass*: filters which transmit all wavelengths shorter than the specified cut off wavelength and reject the longer wavelengths. Shortpass filters include IR cutoff filters as an example.

3. Long-wavelength or *Long-pass*: filters which transmit all wavelengths longer than the specified cut on wavelength and reject the shorter wavelengths.

4. Band-pass or *Interferential*: filters which transmit or reject only a limited band of wavelengths they can be extremely narrow-band (<2 nm to 10 nm) or broad-band (50 nm and 80 nm) transmittance.

5. Monochromatic: filters which either singly or in combination isolate a single spectral line or a very small range of spectral lines, emitted by a line source.

6. Neutral density: filters which attenuate radiation in essentially the same manner for all wavelengths in the visible region of the spectrum.

When it comes to filters, there is no clear standardization in naming and marketing the different types offered commercially, other than providing spectrometric charts and graphs. Many

Existen varias clasificaciones de filtros basadas en sus propiedades espectrales generales y en el tipo de radiación que transmiten o atenúan. A continuación, se presentan algunas de las categorías relevantes para la imagen multibanda:

1. De corte abrupto (*sharp-cutting*): filtros que ofrecen una transición abrupta entre regiones de alta y baja transmitancia.

2. De onda corta o *short-pass*: filtros que transmiten todas las longitudes de onda más cortas que la longitud de corte especificada y bloquean las longitudes de onda mayores. Los filtros *short-pass* incluyen, por ejemplo, filtros de corte IR.

3. De onda larga o *long-pass*: filtros que transmiten todas las longitudes de onda más largas que la longitud de corte especificada y bloquean las más cortas.

4. De banda pasante o interferenciales (*band-pass*): filtros que transmiten o bloquean únicamente una banda limitada de longitudes de onda; pueden ser de banda extremadamente estrecha (2–10 nm) o de banda ancha (50–80 nm).

5. Monocromáticos: filtros que, solos o combinados, aíslan una única línea espectral o un rango muy reducido de líneas espectrales emitidas por una fuente de línea.

6. De densidad neutra: filtros que atenúan la radiación de manera esencialmente uniforme en todo el rango visible.

En lo referente a los filtros, no existe una estandarización clara en la nomenclatura o comercialización de los diferentes tipos, más allá de la entrega de

manufacturers just incorporate a wavelength "limit" and a made-up name to describe the different filters they offer.

For many years a *de facto* standard was the *Kodak Wratten Filter Handbook* (1992), and cross reference and comparison to these filters in this publication provided a common language in the characterization of filters in general. Although this handbook is still relevant, Kodak has limited its filter production and manufacturers do not provide this point of reference as readily anymore.

To simplify the selection of filters and making sense of them, the following tables are provided.

- Table 2 provides a comparable list of long-pass filters transmitting IR and blocking VIS.
- Table 3 is divided in two, on the left it offers comparable band-pass filter for the transmission of UV radiation and blocking VIS, and on the right is a list of long-pass filters that block or absorb UV energy and transmit VIS.
- Table 4 provides a comparable list of VIS only band-pass filters also known as hot mirror filters.

Note: These tables are provided as a guideline, other filters may exist in the marketplace, please consult the manufacturer for more precise transmission data. (A great source for filter comparison is the Midwest Optical Systems, Inc. website: https://midopt.com/tools/curve-compare/)

gráficas y datos espectrométricos. Muchos fabricantes simplemente incorporan un "límite" de longitud de onda junto con un nombre comercial arbitrario para describir los filtros que ofrecen.

Durante muchos años, el *Kodak Wratten Filter Handbook* (1992) fue un estándar de facto, y su utilización como referencia permitía un lenguaje común en la caracterización general de filtros. Aunque este manual sigue siendo relevante, Kodak ha reducido la producción de filtros y los fabricantes ya no lo proporcionan como referencia con la misma frecuencia.

Para simplificar la selección y comprensión de los filtros, se presentan las tablas siguientes.

- Tabla 2: lista comparable de filtros de onda larga utilizados en imagen IR que transmiten IR y bloquean VIS.
- Tabla 3: dividida en dos partes; a la izquierda, filtros *band-pass* comparables para transmitir UV y bloquear VIS; a la derecha, filtros *long-pass* que bloquean y absorben UV y transmiten VIS.
- Tabla 4: lista comparable de filtros *band-pass* exclusivamente VIS, también conocidos como filtros *hot mirror*.

Nota: Estas tablas se proporcionan a modo de guía; pueden existir otros filtros en el mercado. Para datos de transmisión más precisos, consulte al fabricante. Una excelente herramienta de comparación de filtros se encuentra en Midwest Optical Systems, Inc.: https://midopt.com/tools/curve-compare/

Table 2 | Examples of Filters Used for IR Imaging (from Pozeilov, 2015, p101).

Tabla 2 | Ejemplos de filtros utilizados para imagen IR (Pozeilov, 2015, p. 101).

Infrared (IR) Transmission Filters / Filtros de (IR) Transmisión infrarroja			
Approximate cut-on Wavelength, [nm] (50% transmittance) Corte aproximado, [nm] (50% transmitancia	Kodak Wratten Filters No.	Similar Filters by other manufactures / Filtros similares de otros fabricantes	
700	70	B+W (Schneider) Schott Hoya Peca MaxMax	092 RG 665 & RG 695 R 70 902 Xnite 630 & Xnite 665
720	89B	Schott Hoya Peca MaxMax	RG 715 R 72 914 Xnite 715
750	88A	Heliopan Hoya Peca	5715 R 76 912
795	87	Heliopan B+W (Schneider) Schott Hoya Peca MaxMax	5780 098 RG 780 R 80 904 Xnite 780
850	87C	Heliopan B+W (Schneider) Schott Hoya Peca MaxMax	5830 093 RG 830 & RG 850 R 83 , R 85 & RM 86 910 Xnite 830 & Xnite 850
930	87B	Heliopan Hoya Peca MaxMax	5850 RM 90 908 Xnite 1000 (1 mm)
1000	87A	Heliopan B+W (Schneider) Schott Hoya Peca MaxMax	5100 094 RG 1000 RM 100 906 Xnite 1000 (2 mm)

Table 3 | Examples of Filters (Transmitting and Absorbing) Used for UV Imaging (Updated from Pozeilov, 2015, p106).

Tabla 3 | Ejemplos de filtros (transmisores y absorbentes) utilizados para la obtención de imágenes UV (Actualizado a partir de Pozeilov, 2015, p. 106).

UV Transmitting Filters / Filtros transmisores de UV		UV Absorbing Filters / Filtros absorbentes de UV	
Useful Transmission range [nm] / Rango de transmisión útil [nm	Filter Designation / Designación del filtro	Absorption limit [nm] / Límite de absorción [nm]	Filter Designation / Nombre del filtro
320 - 385	B+W 403	390	Kodak Wratten 1A
270 - 375	MaxMax Xnite BPI + 330C	400	Chance OW 12
330 (85% Peak)	MaxMax Xnite 330C	450	Schott CG 8
300 - 400 (365 peak)	Kodak 18A		Kodak Wratten 2E Tiffen 2E MidOpt LP470
	Peca 900	500	Kodak Wratten 2B
	Schott UG1		Peca 702
	MidOpt BP365	520	Kodak Wratten 8
	Kopp 1041		Peca 708
250 - 380	Schott UG 5	540	Kodak Wratten 12 Peca 712

Table 4 | Examples of Hot Mirror Filters (Updated from Pozeilov, 2015, p106).

Tabla 4 | Ejemplos de filtros de *hot-mirror* (Actualizado a partir de Pozeilov, 2015, p. 106).

Hot Mirror Filters Transmitting Visible Light / Filtros de *hot-mirror* que transmiten luz visible	
Useful Transmission range [nm] / Rango de transmisión útil [nm]	Filter Designation / Nombre del filtro
400 - 725	Peca 916
390 - 680	Peca 918
380 - 730	Peca 700
325 - 645 (50% trans)	MaxMax Xnite CC1
390 - 700	Hoya UV-IR Cut
	Schott BG38, BG39, BG40

Reference Targets

Reference targets are placed alongside the object being imaged to inform us about the conditions and the results obtained during the imaging session. Conditions include the environment (e.g.,

Targets de referencia

Los targets de referencia se colocan junto al objeto que se está registrando para proporcionarnos información sobre las condiciones y los resultados obtenidos durante la sesión de captura. Estas condiciones

Figure 8 | Examples of commercially available color and grayscale reference targets. Top Row: Calibrite ColorChecker Classic, Calibrite ColorChecker Digital SG, DT Next Generation Target V.2; Bottom row: AIC PhD target (Discontinued), Munsell Linear Gray Scale.

Figura 8 | Ejemplos de cartas de referencia comerciales de color y de escala de grises. Fila superior: Calibrite ColorChecker Classic, Calibrite ColorChecker Digital SG, DT Next Generation Target v.2. Fila inferior: Carta AIC PhD (descatalogada), Escala de grises lineal Munsell.

stray light and room darkness), the way in which the light/radiation sources are being used and their physical qualities (e.g., evenness of illumination and color temperature), and interactions that take place at object-level at the time of image capture (e.g., absorption, reflection and transmission of radiation materials). These same targets and/or in addition to a grayscale target can be used to set proper exposure and accurate tonal distribution for the image obtained (Warda et al., 2017) (Figure 8). In addition, when coupled with profiling software, the color targets are used to create profiles that correct the color response of the capture device to reflect the values of a set of standard colors normally measured using the L*a*b* color space discussed at the beginning of this chapter.

Reference targets provide information about the effect that the filtration has on the final image. Most importantly reference targets provide a standardized method to corroborate that our images are trustworthy, comparable, and repeatable.

incluyen el entorno (por ejemplo, luz parásita y nivel de oscuridad de la sala), la forma en que se utilizan las fuentes de luz/radiación y sus cualidades físicas (por ejemplo, uniformidad de la iluminación y temperatura de color), así como las interacciones que tienen lugar a nivel del objeto en el momento de la captura de la imagen (por ejemplo, absorción, reflexión y transmisión de la radiación por parte de los materiales). Estas mismas tarjetas, o adicionalmente, una de escala de grises pueden emplearse para establecer la exposición adecuada y una distribución tonal precisa en la imagen obtenida (Warda *et al*., 2017) (Figura 8). Asimismo, cuando se utilizan junto con software de generación de perfiles, las tarjetas de color permiten crear perfiles que corrigen la respuesta cromática del dispositivo de captura para reflejar los valores de un conjunto de colores estándar, normalmente medidos mediante el espacio de color L*a*b* comentado al inicio de este capítulo.

Las tarjetas de referencia proporcionan información sobre el efecto que la filtración ejerce en la imagen final. Y, lo más importante, ofrecen un método estandarizado para corroborar que nuestras imágenes son fiables, comparables y reproducibles.

Figure 9 | Examples of the 99% Spectralon Diffuse Reflectance Standards. Photo by Yosi Pozeilov.

Figura 9 | Ejemplos de los estándares de reflectancia difusa Spectralon al 99%. Fotografía de Yosi Pozeilov.

The imaging technique will inform the type of reference targets that needs to be used. There are commercial reference targets used for visible images that help us profile our camera system in relation to its sensor and the radiation source being used, with or without filtration in front of them (Warda et al., 2017, pp. 42–47). These visible light reference targets in combination with specialized software allow us to obtain color calibrated images that closely resemble the real-life object under proper viewing conditions.

Although the use of color and grayscale reference targets is common and well understood for visible light photography with known L*a*b* values, when it comes to using targets to control and inform images captured using other areas of the spectrum there are fewer options. Warda et al. (2017) include recommendations for using visible light targets for reflectance images using UV and IR radiation.

La técnica de imagen empleada determinará el tipo de target de referencia que debe utilizarse. Existen tarjetas comerciales diseñadas para la captura en luz visible que nos ayudan a perfilar el sistema de cámara en relación con su sensor y con la fuente de radiación utilizada, con o sin filtración colocada frente a ellas (Warda *et al.*, 2017, pp. 42–47). Estas tarjetas de referencia para luz visible, combinadas con software especializado, permiten obtener imágenes calibradas en color que reproducen con gran fidelidad el objeto real bajo condiciones adecuadas de visualización.

Aunque el uso de cartas de color y de escala de grises es común y está bien establecido para la fotografía en luz visible —con valores L*a*b* conocidos—, cuando se trata de emplear tarjetas de referencia para controlar e informar sobre las imágenes capturadas en otras zonas del espectro, las opciones disponibles son más limitadas. Warda *et al.* (2017) incluyen recomendaciones para utilizar tarjetas concebidas para luz visible en imágenes de reflectancia obtenidas con radiación UV e IR.

Figure 10 | UV Innovations - Target UV. Under VIS illumination (Left) and under UV radiation luminescing (Right). Photos by Yosi Pozeilov.

Figura 10 | *UV Innovations – Target UV*. Bajo iluminación visible (izquierda) y bajo radiación UV mostrando luminiscencia (derecha). Fotografías de Yosi Pozeilov.

Figure 11 | CHSOS Technical Photography and MSI Calibration Card recorded with VIS (top), IR (middle), and UVL (bottom). Photos by E. Keats Webb.

Figura 11 | Tarjeta de Calibración para Fotografía Técnica y MSI de CHSOS registrada con VIS (arriba), IR (centro) y UVL (abajo). Fotografías: E. Keats Webb.

Reflectance targets like the Spectralon Diffuse Reflectance Targets by Labsphere (Figure 9) are reference targets that have the desired properties of Lambertian reflectance that allows it to be used for techniques from UV through VIS and into the IR (250-2500 nm). The Spectralon is a chemically inert standard that has a spectral response that is flat over the UVA, VIS, and NIR spectrum and is manufactured to have reflectance values ranging from 2% to 99%. Similar targets are made by other companies. These targets are being used for reflectance multiband imaging techniques both for exposure and calibration because of their consistent response in the UV, VIS and IR (Dyer et al. 2013). These can also be used to

Las tarjetas de reflectancia, como las *Spectralon Diffuse Reflectance Targets* de Labsphere (Figura 9), son patrones de referencia que presentan las propiedades deseadas de reflectancia lambertiana, lo que permite su uso en técnicas que abarcan desde el UV hasta el VIS e IR (250–2500 nm). El Spectralon es un patrón químicamente inerte que posee una respuesta espectral plana en el rango UVA, VIS y NIR, y se fabrica con valores de reflectancia que varían entre el 2 % y el 99 %. Otras empresas producen tarjetas similares. Estas tarjetas se emplean en técnicas de imagen multibanda en modo reflectancia tanto para la exposición como para la calibración, debido a su respuesta consistente en UV, VIS e IR (Dyer *et al*., 2013). También pueden utilizarse para

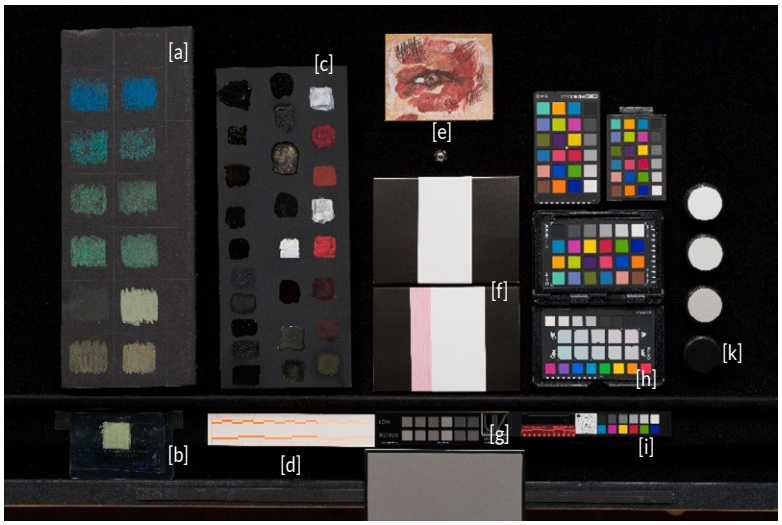


Figure 12 | Examples of bespoke and commercial reference targets. From left to right: bespoke copper and earth based pigments (a), Peca IR target (b), Bespoke with different pigments, glues and varnishes (c), Forensic scale (d), Eye mockup encaustic technique (e), two versions of bespoke simple UVL target (f), UV innovation targets (g), Two colorchecker mini classic and colorchecker Passport (h), AIC PhD target (i), four spectralon 99%, 75%, 50% and 2% (k). Photo by Yosi Pozeilov.

Figura 12 | Ejemplos de tarjetas de referencia tanto hechas a medida como comerciales. De izquierda a derecha: tarjeta artesanal con pigmentos a base de cobre y tierras (a); tarjeta Peca IR (b); tarjeta artesanal con distintos pigmentos, colas y barnices (c); escala forense (d); simulación de ojo realizada en técnica de encáustica (e); dos versiones de tarjeta simple artesanal para UVL (f); tarjetas UV Innovations (g); dos ColorChecker Mini Classic y ColorChecker Passport (h); tarjeta AIC PhD (i); cuatro estándares Spectralon del 99 %, 75 %, 50 % y 2 % (k). Fotografía de Yosi Pozeilov.

determine whether there is stray or parasitic radiation for luminescence techniques. These reference targets are pricey and can get soiled easily and are not easily cleaned making then less useful for luminescence imaging. Some options have been proposed that are more economical and involve using PTFE (Teflon) as an alternative for non-scientific purposes (Figure 12-f) (Pozeilov, 2023).

A purpose built reference target for UV induced visible luminescence is the UV Innovations - Target UV (McGlinchey Sexton et al., 2014; UV Innovations, 2017) (Figure 10). This target is used for both exposure estimation and white balance of UVL images.

determinar la presencia de radiación parásita o difusa en técnicas de luminiscencia. Estas tarjetas de referencia son costosas, tienden a ensuciarse con facilidad y no se limpian fácilmente, lo que las hace menos útiles para la imagen de luminiscencia. Se han propuesto alternativas más económicas que consisten en utilizar PTFE (teflón) con fines no científicos (Figura 12-f) (Pozeilov, 2023).

Un patrón de referencia específicamente diseñado para la luminiscencia visible inducida por UV es el UV Innovations – Target UV (McGlinchey Sexton *et al.*, 2014; UV Innovations, 2017) (Figura 10). Este patrón se utiliza tanto para estimar la exposición como para realizar el balance de blancos en las imágenes UVL.

The Cultural Heritage Science Open Source (CHSOS) Technical Photography (TP) and MSI Calibration Card has been developed to be used for reflectance and luminescence multiband imaging techniques including RUV, UVL, IR, and VIL (*TP-MSI Calibration Card*, 2024) (Figure 11). This is one of the few commercially available options that can be used for most of the multiband imaging techniques, both reflectance and luminescence.

Very few commercial options are available that are used for techniques beyond VIS, and commercial targets are not representative of the materials in heritage objects. Many conservators and studios resort to making their own reference targets that will cover their needs and area of interest and that will yield the desired results (Keller et al., 2019; Kriss et al., 2023; Verri & Saunders, 2014). As a profession cultural heritage professional photographers, conservators, and scientist to a certain degree, must rely on, and adapt products that are in the market that are not intended for their disciplines directly. These bespoke targets are then used in combination with one or more of the above mentioned commercially available reference targets. Examples of custom targets alongside commercial targets are included in Figure 12.

Multiband Imaging Practice

After reviewing the different aspects that make multiband imaging possible, such as capture devices, radiation sources, filtration, and reference targets, now it is time to put them all together to produce the desired images. A list of desired multiband images would be:

La tarjeta TP-MSI Calibration Card, desarrollada por *Cultural Heritage Science Open Source* (CHSOS), ha sido diseñada para su uso en técnicas de imagen multibanda tanto de reflectancia como de luminiscencia, incluyendo RUV, UVL, IR y VIL (*TP-MSI Calibration Card*, 2024) (Figura 11). Se trata de una de las pocas opciones disponibles comercialmente que puede emplearse en la mayoría de las técnicas de imagen multibanda, tanto de reflectancia como de luminiscencia.

Existen muy pocas opciones comerciales disponibles para las técnicas más allá del VIS, y las cartas de referencia comerciales no representan los materiales de los objetos patrimoniales. Muchos conservadores y estudios recurren a fabricar sus propias cartas de referencia que cubran sus necesidades y áreas de interés, y que proporcionen los resultados deseados (Keller *et al.*, 2019; Kriss *et al.*, 2023; Verri y Saunders, 2014). En la práctica profesional, los fotógrafos especializados en patrimonio cultural, los conservadores y, en cierto grado, los científicos deben confiar en productos disponibles en el mercado que no están directamente concebidos para sus disciplinas, adaptándolos a sus fines. Estas cartas fabricados *ad hoc* se utilizan en combinación con uno o varios de los modelos de referencia comerciales mencionados anteriormente. Ejemplos de cartas personalizadas junto a modelos comerciales se incluyen en la Figura 12.

Práctica de la imagen multibanda

Tras revisar los distintos aspectos que hacen posible la imagen multibanda —como los dispositivos de captura, las fuentes de radiación, los filtros y las tarjetas o cartas de referencia— es momento de integrarlos para producir las imágenes deseadas. La lista de imágenes multibanda que se suelen generar incluye:

Direct Capture

- VIS: Visible image, properly exposed color corrected and profiled image, captured in the 400 to 700nm range. This normal image must be color corrected by applying a color profile that will correct and standardize the output from the capture device.

- IR: Infrared reflected image captures the reflection of infrared radiation in the near infrared, 700 to 1100nm, range. It requires a modified camera.

- UVL: Ultraviolet-induced visible luminescence image captures emission generated by UVA (365 nm) excitation in the visible light, 400 to 700nm, range.

- UVR: Ultraviolet reflected image captures the reflection of UVA radiation in the 300 to 400nm range. It requires a modified camera.

- VIL: Visible induced infrared luminescence image captures emission in the near infrared, 700-1100nm, range generated by visible light, 400-700 nm, excitation. It requires a modified camera.

Post Processing

- FCIR: False color infrared image is a post processing that combines the IR and VIS images.

- FCUV: False color ultraviolet image is a post processing that combines the UVR and VIS images.

Captura directa

- VIS: Imagen en luz visible, correctamente expuesta, corregida cromáticamente y perfilada, capturada en el rango de 400 a 700 nm. Esta imagen "normal" debe estar calibrada mediante la aplicación de un perfil de color que corrija y estandarice la respuesta del dispositivo de captura.

- IR: Imagen de reflectancia infrarroja, que registra la reflexión de radiación en el infrarrojo cercano, en el rango de 700 a 1100 nm. Requiere una cámara modificada.

- UVL: Imagen de luminiscencia visible inducida por UV, que registra la emisión generada por excitación UVA (365 nm) en el rango de luz visible, 400 a 700 nm.

- UVR: Imagen de reflectancia ultravioleta, que registra la reflexión de radiación UVA en el rango de 300 a 400 nm. Requiere una cámara modificada.

- VIL: Imagen de luminiscencia infrarroja inducida por luz visible, que registra la emisión en el infrarrojo cercano (700–1100 nm) generada por la excitación de luz visible (400–700 nm). Requiere una cámara modificada.

Post-procesado

- FCIR: Imagen de falso color infrarrojo, generada mediante la combinación en post-procesado de las imágenes IR y VIS.

- FCUV: Imagen de falso color ultravioleta, combinando en post-procesado las imágenes UVR y VIS.

- MBR: Multiband reflectance image subtraction is a post processing that subtracts a reflected infrared image and a deep red VIS image (Kriss et al., 2023; Webb et al., 2014).

The generation of multiband images for a project starts by identifying the capture device, either a regular/unmodified camera or a modified full spectrum camera (UV-VIS-IR). Since the regular camera will allow for imaging strictly in the visible band of the spectrum, then VIS and UVL images are possible with this system. All other techniques (listed above) would not be possible since the camera has been made unsensitive (or non-responsive) by internal filtering to any other spectral band other than the visible one (Table 6). Conversely with the modified camera, the sensitivity and response has been extended necessitating external control, via filtration, of the spectral band(s) that would be allowed to reach the imaging sensor (Table 5).

The radiation sources must be considered next. Knowing the type of radiation emission and the spectral power distribution (Table 1) of the fixtures being used will inform how to control and filter them. For example, when capturing a VIS image with a normal camera and tungsten-halogen incandescent lights, as described before, this type of light/radiation source emits a large amount of infrared radiation, that doesn't need to be filtered out since the camera is already doing that internally with a "hot mirror" filter.

Using this same light/radiation sources with a modified camera requires applying filtration to obtain a color corrected VIS image. Without filtering the infrared radiation, it would be impossible to obtain a proper VIS image since the sensor will be overwhelmed with this radiation. As mentioned before, the silicon sensor is very sensitive to near IR creating a strong bias towards the red and beyond. To avoid this undesired

- MBR: Imagen de reflectancia multibanda por sustracción, que se obtiene restando una imagen de reflectancia infrarroja y una imagen VIS de rojo profundo (Kriss *et al*., 2023; Webb *et al*., 2014).

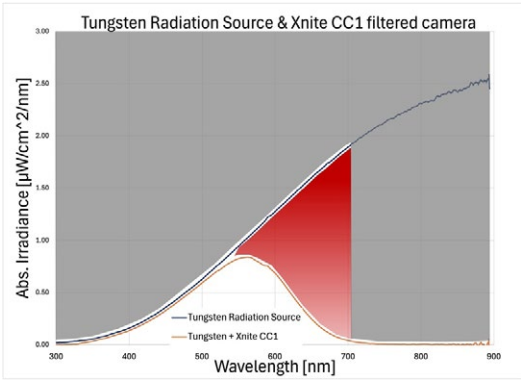
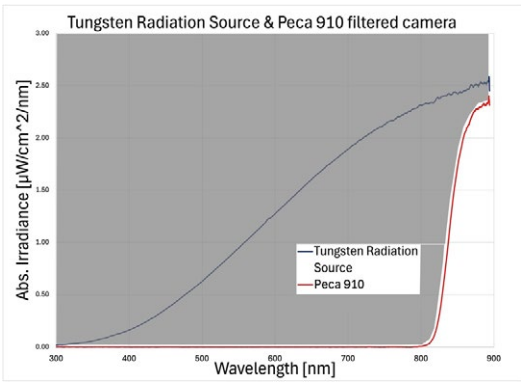
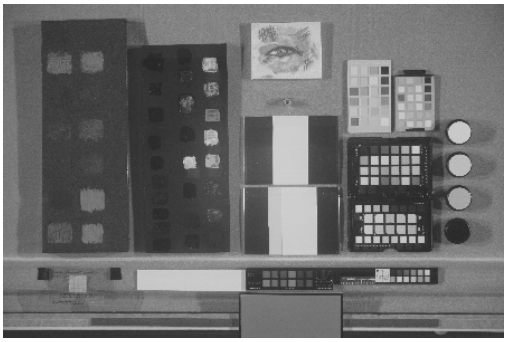
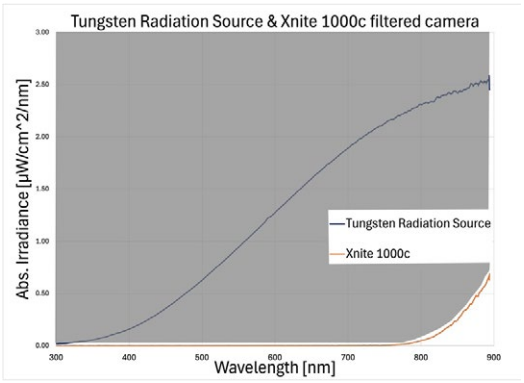
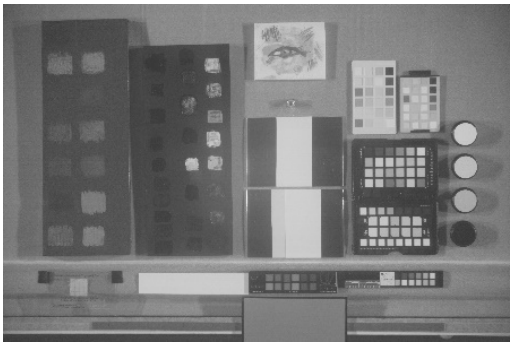
La generación de imágenes multibanda para un proyecto comienza identificando el tipo de dispositivo de captura, ya sea una cámara normal/no modificada o una cámara modificada de espectro completo (UV-VIS-IR). Dado que la cámara estándar permite únicamente la captura en el espectro visible, solo son posibles con este sistema las imágenes VIS y UVL. Todas las demás técnicas (listadas arriba) no serían posibles, ya que la cámara ha sido diseñada para ser insensible (o no responder) a cualquier otra banda espectral distinta de la visible debido a la filtración interna (Tabla 6). Por el contrario, con una cámara modificada, la sensibilidad y respuesta se amplían, lo que exige un control externo —mediante filtración— para seleccionar las bandas espectrales que llegarán al sensor (Tabla 5).

Las fuentes de radiación deben considerarse a continuación. Conociendo el tipo de emisión y el espectro de distribución de potencia (SPD) de las luminarias utilizadas (Tabla 1), se puede decidir cómo controlarlas y filtrarlas. Por ejemplo, al capturar una imagen VIS con una cámara normal y luces incandescentes tungsteno-halógeno, este tipo de fuente emite una gran cantidad de radiación infrarroja que no necesita filtrarse, puesto que la cámara ya la bloquea internamente con un *hot mirror*.

Si utilizamos esa misma fuente lumínica con una cámara modificada, será necesario aplicar filtración para obtener una imagen VIS correctamente calibrada. Sin filtrar la radiación infrarroja, sería imposible obtener una imagen visible adecuada, ya que el sensor quedaría saturado por dicha radiación. Como se ha mencionado, el sensor de silicio es muy sensible al infrarrojo cercano, generando un fuerte sesgo hacia

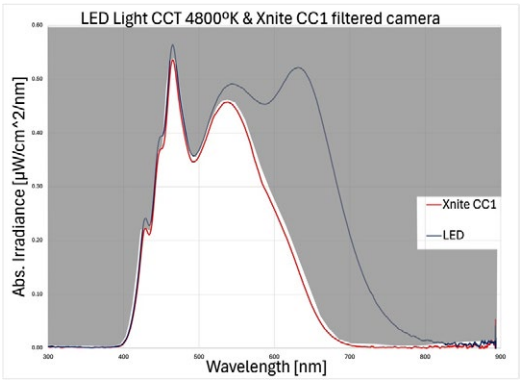
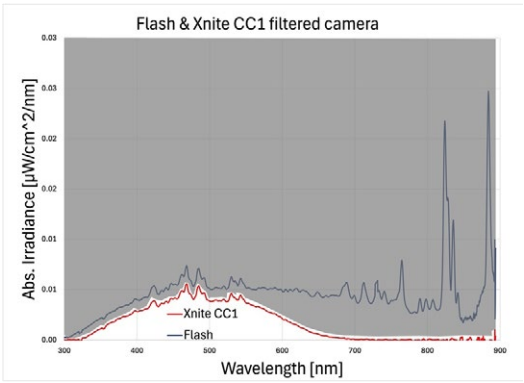
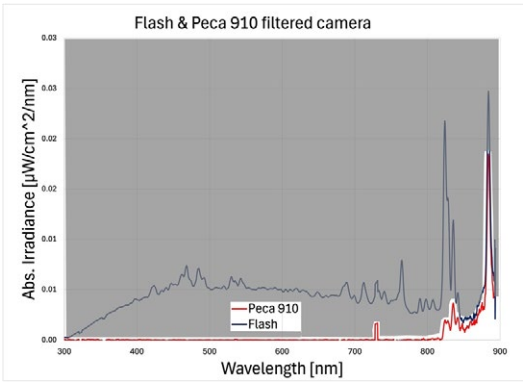
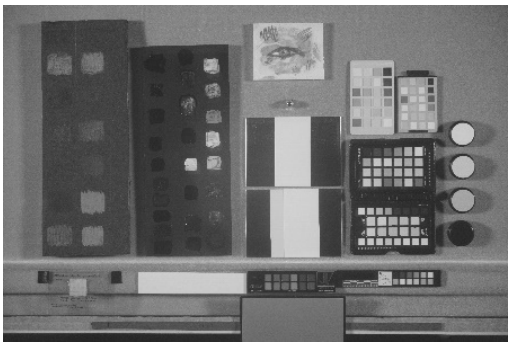
Table 5 | Multiband Imaging with Full Spectrum Modified Camera and Voigtlander 65mm Macro Lens.

Tabla 5 | Imágenes multibanda con una cámara modificada de espectro completo y el objetivo macro Voigtlander de 65 mm.

Full Spectrum (UV-VIS-IR) Modified Camera with 65mm Macro Voigtlander lens / Cámara modificada de espectro completo y el objetivo macro Voigtlander de 65 mm			
Radiation Source Spectral Power Distribution (SPD) Distribución especial de potencia espectral (SPD)	Imaging Technique Técnica de Imagen	Filters Filtros	Resulting Image Imagen Resultante
	VIS	Xnite CC1	
	IR reflected	Peca 910	
	IR reflected	Xnite 1000C 1mm	

(Table 5, continued in next page / Tabla 5, continúa en la página siguiente)

(Table 5, continued from previous page / Tabla 5 continúa de la página anterior)

Full Spectrum (UV-VIS-IR) Modified Camera with 65mm Macro Voigtlander lens / Cámara modificada de espectro completo y el objetivo macro Voigtlander de 65 mm			
Radiation Source Spectral Power Distribution (SPD) Distribución especial de potencia espectral (SPD)	Imaging Technique Técnica de Imagen	Filters Filtros	Resulting Image Imagen Resultante
	VIS	Xnite CC1	
	VIS	Xnite CC1	
	IR reflected	Peca 910	

(Table 5, continued in next page / Tabla 5, continúa en la página siguiente)

(Table 5, continued from previous page / Tabla 5 continúa de la página anterior)

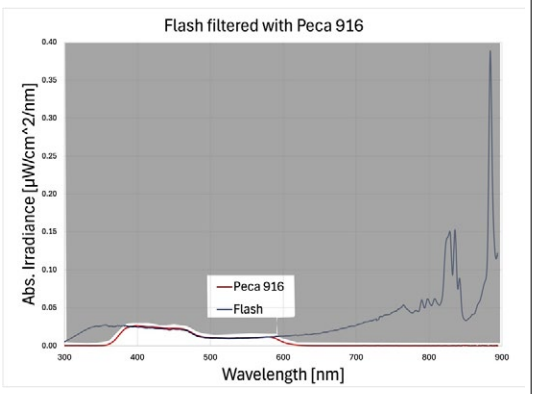
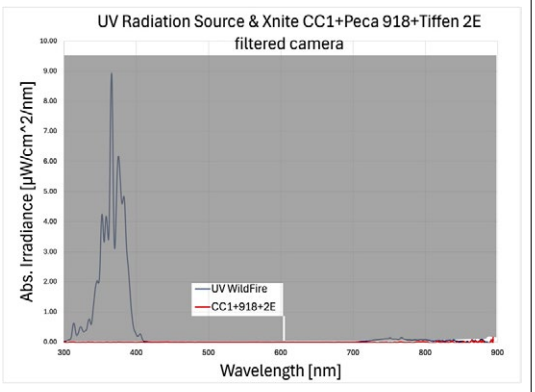
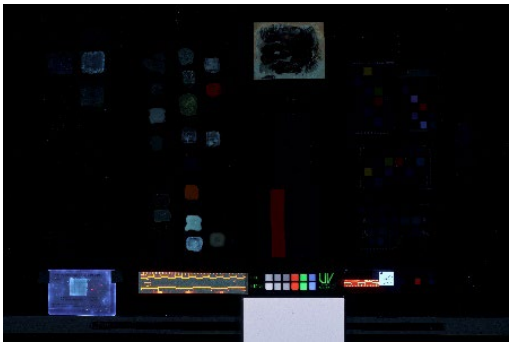
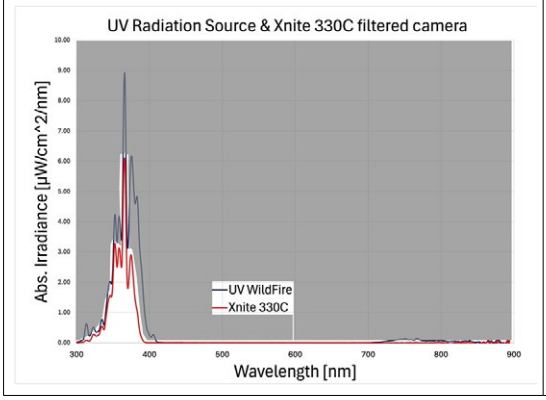
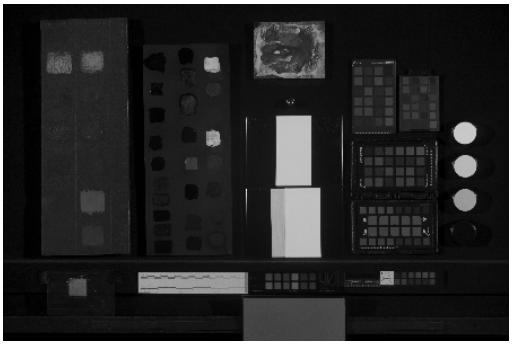
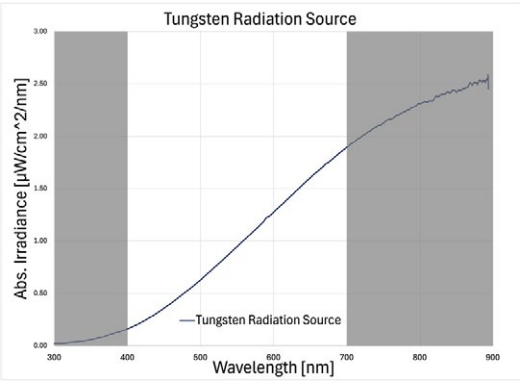
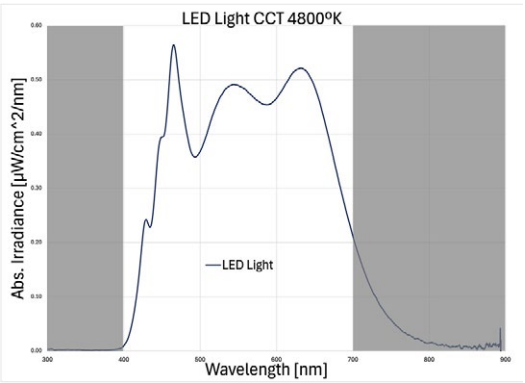
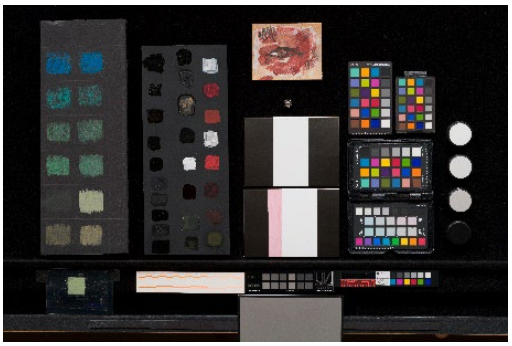
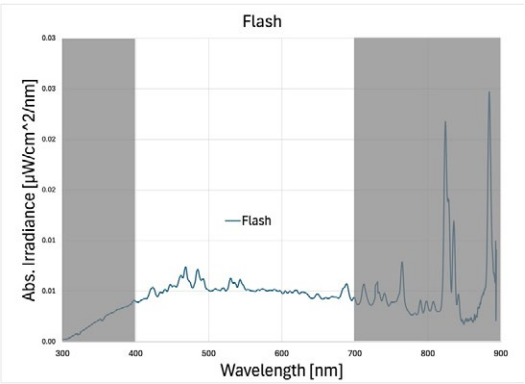
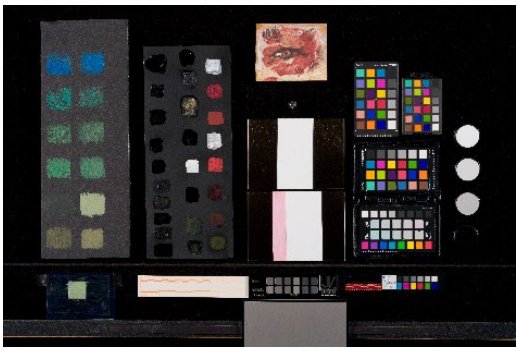
Full Spectrum (UV-VIS-IR) Modified Camera with 65mm Macro Voigtlander lens / Cámara modificada de espectro completo y el objetivo macro Voigtlander de 65 mm			
Radiation Source Spectral Power Distribution (SPD) Distribución especial de potencia espectral (SPD)	Imaging Technique Técnica de Imagen	Filters Filtros	Resulting Image Imagen Resultante
	VIL	Peca 916 (Camera filtered with Xnite CC1)	
	UVL	Camera filtered with XNite CC1+ Peca 918+ Wratten/ Tiffen 2E	
	UVR	Camera filtered with XNite 330C	

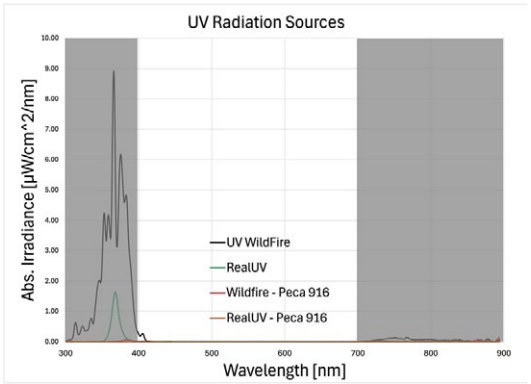
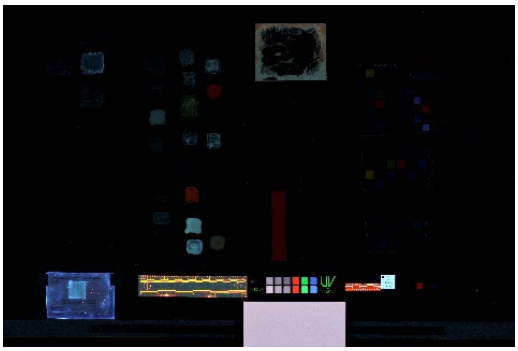
Table 6 | Multiband Imaging with Unmodified Camera and Voigtlander 65 mm macro lens.

Tabla 6 | Imagen multibanda con cámara no modificada y objetivo macro Voigtlander de 65 mm.

Unmodified Camera with 65mm Macro Voigtlander lens / Cámara no modificada y objetivo macro Voigtlander de 65 mm			
Radiation Source Spectral Power Distribution (SPD) Distribución especial de potencia espectral (SPD)	Imaging Technique Técnica de imagen	Filters Filtros	Resulting Image Imagen Resultante
	VIS	None	
	VIS	None	
	VIS	None	

(Table 6, continued in next page / Tabla 6, continúa en la página siguiente)

(Table 6, continued from previous page / Tabla 6 continúa de la página anterior)

Unmodified Camera with 65mm Macro Voigtlander lens / Cámara no modificada y objetivo macro Voigtlander de 65 mm			
Radiation Source Spectral Power Distribution (SPD) Distribución especial de potencia espectral (SPD)	Imaging Technique Técnica de imagen	Filters Filtros	Resulting Image Imagen Resultante
	UVL	Peca 916	

effect, it is necessary to apply a filter, one that is a visible band pass filter (400-700nm) like the Xnite CC1 or the Schott BG40 in front of the capture device's lens, to yield the desired color corrected image.

Following with this example, if our light/radiation source is an LED with a spectral power distribution emitting only in the visible spectrum, in theory the modified camera should be able to yield a color corrected image without any filtration if we are imaging in a completely controlled environment where no other light or radiation source are present. In other words, a completely dark and temperature controlled (on the cool side) environment.

Table 5 and Table 6 illustrate the considerations and combinations that have been discussed by including the spectral power distribution graphs (SPD) of the radiation source, the camera filtration, and the resulting images for the different multiband imaging techniques. Table 5 is the most comprehensive one

el rojo. Para evitar este efecto, es necesario utilizar un filtro paso-banda del visible (400–700 nm), como los Xnite CC1 o Schott BG40, colocado frente al objetivo para obtener la imagen color corregida.

Siguiendo este mismo ejemplo, si nuestra fuente es un LED con un SPD restringido estrictamente al espectro visible, en teoría la cámara modificada podría generar una imagen VIS calibrada sin filtración adicional, siempre que trabajemos en un entorno completamente controlado donde no haya otras fuentes de luz o radiación presentes; es decir, un entorno totalmente oscuro y de temperatura estable (preferiblemente fría).

Las Tablas 5 y 6 ilustran estas combinaciones, incorporando los SPD de las fuentes de radiación, la filtración utilizada en la cámara y las imágenes resultantes para cada técnica. La Tabla 5 es la más completa, ya que utiliza una cámara modificada de espectro completo (UV-VIS-IR) y un objetivo macro

of both, since it uses as an example a full spectrum (UV-VIS-IR) modified camera and high-quality apochromatic lens, hence allowing for the whole suite of multiband images discussed in this publication.

The "Radiation Spectral Power Distribution" column (A) shows the energy graphs for each radiation source used in each imaging technique (column B) and the effect that the filter being used (column C) has in its transmission/capture. The shaded gray area in each SPD denotes wavelengths in the spectra that are being blocked and not "observed" by our imaging capture device. The "Resulting Image" column (D) uses the array of targets introduced in Figure 12 and is used to illustrate the practical effect that the radiation source and filter combinations have in the resulting image for that specific multiband imaging technique.

Table 6 shows the same results in a more limited way since a regular unmodified (off-the-shelf) camera and the same apochromatic lens are used. In this case, the shaded gray area in all the SPD graphs represents the internal camera filtration (the hot mirror) which makes it sensitive only to the VIS wavelengths limiting its use for other multiband imaging techniques beyond VIS and UVL.

There is one consideration that has not yet been addressed, selection of the lens. In general, high quality macro lenses manufactured by the main photographic brands are more than suitable when paired with an unmodified camera for VIS or UVL imaging. These lenses are designed to transmit visible light wavelengths very accurately and precisely and project them onto the imaging sensor. Distinctions are apparent when capturing images outside of the visible band. Pairing the lenses with the modified camera can influence the quality of the final image captured. Specialty lenses that transmit radiation wavelengths in the infrared and ultraviolet, as well as the visible are made with special optics, in most cases made of

apocromático de alta calidad, permitiendo generar el conjunto completo de técnicas multibanda tratadas en esta publicación.

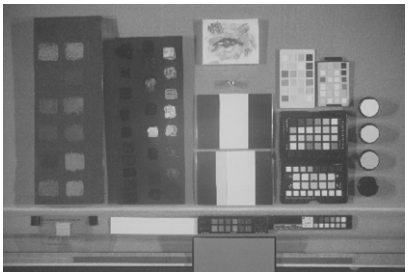
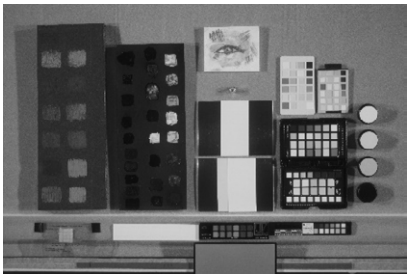
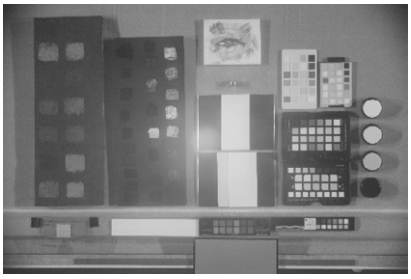
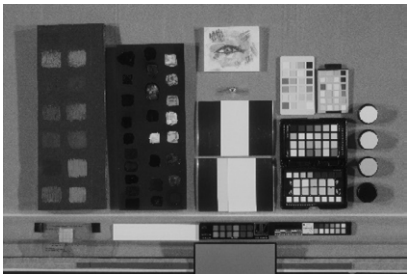
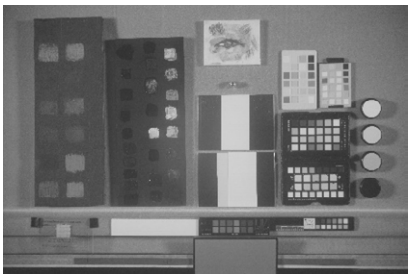
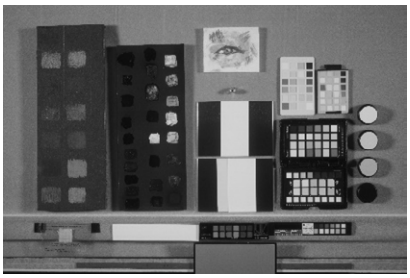
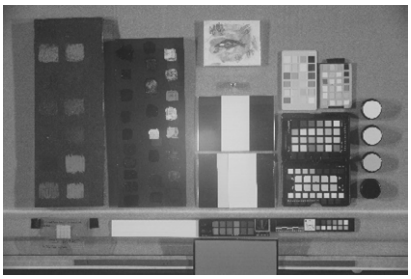
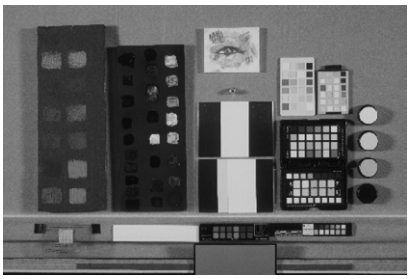
La columna "Distribución espectral de potencia" (A) muestra los gráficos de energía para cada fuente utilizada en cada técnica (columna B) y el efecto del filtro empleado (columna C). Las áreas grises sombreadas en cada SPD indican las longitudes de onda que quedan bloqueadas y, por tanto, no "observadas" por el dispositivo. La columna "Imagen resultante" (D) utiliza la serie de *targets* introducidos en la Figura 12 para ilustrar el efecto práctico de la combinación entre fuente de radiación y filtración en la imagen final.

La Tabla 6 muestra los mismos resultados de manera más limitada, ya que utiliza una cámara normal/no modificada junto al mismo objetivo apocromático. En este caso, el área gris en todos los SPD representa la filtración interna del *hot mirror*, que restringe la sensibilidad únicamente al espectro visible, limitando el uso de esta cámara a técnicas VIS y UVL.

Hay una consideración que aún no se ha tratado: la selección del objetivo. En general, los objetivos macro de alta calidad fabricados por las principales marcas fotográficas son más que adecuados cuando se utilizan con una cámara no modificada para la obtención de imágenes VIS o UVL. Estos objetivos están diseñados para transmitir con gran exactitud y precisión las longitudes de onda del espectro visible y proyectarlas sobre el sensor. Las diferencias se hacen evidentes cuando se capturan imágenes fuera del espectro visible. La combinación de estos objetivos con una cámara modificada puede influir en la calidad final de la imagen obtenida. Los objetivos especializados capaces de transmitir radiación en el infrarrojo y el ultravioleta, además del visible, están fabricados con ópticas especiales, por lo general de cuarzo, en lugar del vidrio óptico tradicional utilizado en los objetivos convencionales. La mejora en la calidad puede

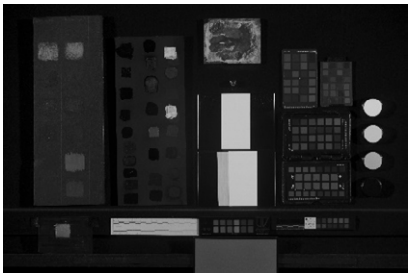
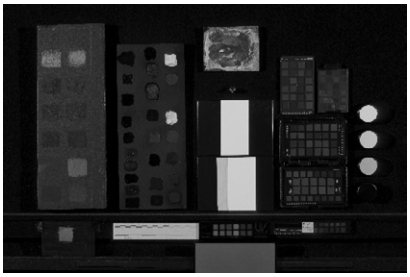
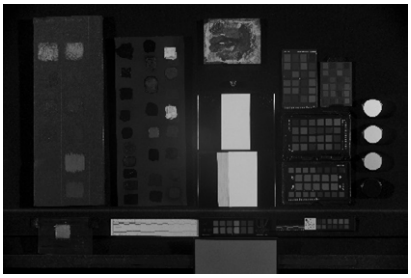
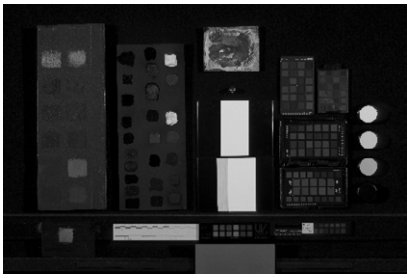
Table 7 | Comparison Between Consumer Lens (Voigtlander 65mm Macro) and a Specialty Lens (CoastalOpt 60 mm UV-VIS-IR APO macro) Looking at Contrast/Sharpness and Resulting Hotspots. Photos by Yosi Pozeilov.

Tabla 7 | Comparación entre un objetivo de consumo (Voigtlander 65 mm macro) y un objetivo especializado (CoastalOpt 60 mm UV-VIS-IR APO macro) en cuanto a contraste/nitidez y puntos calientes resultantes. Fotografías de Yosi Pozeilov.

Imaging Modalidad de imagen	Effect Efecto	Voigtlander lens Objetivo Voigtlander	CoastalOpt Lens Objetivo CoastalOpt
IR reflected /Tungsten IR reflejadao /Tungsteno 1000A	Contrast/ Sharpness Contraste/ Nitidez	 f/2	 f/4
	Hotspot Destello	 f/8	 f/11
IR reflected /Flash IR reflejadao /Flash 1000A	Contrast/ Sharpness Contraste/ Nitidez	 f/2	 f/4
	Hotspot Destello	 f/8	 f/11

(Table 7, continued in next page / Tabla 7, continúa en la página siguiente)

(Table 7, continued from previous page / Tabla 7 continúa de la página anterior)

Imaging Modalidad de imagen	Effect Efecto	Voigtlander lens Objetivo Voigtlander	CoastalOpt Lens Objetivo CoastalOpt
UV-R WildFire 330C	Contrast/ Sharpness Contraste/ Nitidez	 f/2	 f/8
	Hotspot Destello	 f/8	 f/11

quartz instead of the traditional optical glass used in mainstream lenses. The gain in quality can be measured by several parameters, like reduced exposure times, higher contrast images, sharper more defined images, and reduction of IR hotspot, to mention a few. These gains don't come cheap, quartz lenses and other specialize lenses of this type carry a premium price that is substantially higher. A benefit-to-cost analysis would have to be performed in order to justify this type of expenditure.

Table 7 provides a comparison between a lower cost, consumer lens (Voigtlander 65mm macro) and an expensive, specialty lens (CoastalOpt 60mm macro UV-VIS-IR APO) focusing on contrast, sharpness, and hot spots. This table shows a clear distinction between the widely available commercial lens

medirse a través de varios parámetros: reducción de los tiempos de exposición, mayor contraste, imágenes más nítidas y definidas, y disminución del *hotspot* IR, entre otros. Estos beneficios no son económicos: los objetivos de cuarzo y otros objetivos especializados de este tipo tienen un precio muy superior. Para justificar este gasto, sería necesario realizar un análisis de relación coste-beneficio.

La Tabla 7 ofrece una comparación entre un objetivo de consumo de menor coste (Voigtländer 65 mm macro) y un objetivo especializado de alto precio (CoastalOpt 60 mm macro UV-VIS-IR APO), centrándose en el contraste, la nitidez y los hotspots. La tabla muestra una diferencia clara entre el objetivo comercial ampliamente disponible (Voigtländer) y el objetivo de cuarzo específicamente diseñado (CoastalOpt).

Figure 13 | FCIR image of custom and commercial targets. Photo by Yosi Pozeilov.

Figura 13 | Imagen FCIR de tarjetas de referencia personalizadas y comerciales. Fotografía de Yosi Pozeilov.

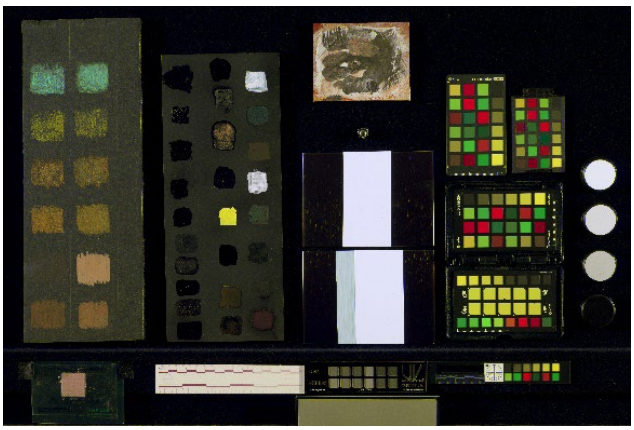


Figure 14 | FCUV image of custom and commercial targets. Photo by Yosi Pozeilov.

Figura 14 | FCUV de tarjetas personalizadas y comerciales. Foto: Yosi Pozeilov.

(Voigtlander) against the specially designed quartz lens (CoastalOpt). When acquiring IR images, it is clear that the quartz lens has higher contrast and sharpness as well as no "hot spot" especially at higher f/ stops (closed apertures). The difference between both lenses is less marked when comparing the UVR images, but a slight edge can still be seen on the images made with the quartz lens. These differences are even less noticeable when comparing UVL and VIS images.

En la adquisición de imágenes IR, el comportamiento del objetivo de cuarzo es claramente superior: presenta mayor contraste, mayor nitidez y ausencia de hotspot, especialmente con diafragmas cerrados (f-stops altos). La diferencia entre ambos objetivos es menos marcada al comparar imágenes UVR, aunque sigue apreciándose una ligera ventaja en las obtenidas con el objetivo de cuarzo. Estas diferencias son todavía menos perceptibles en las imágenes UVL y VIS.

Another useful set of images that can be produced during the post processing of the already acquired images are false color generated images and multiband reflectance image subtraction (MBR). False color images are created by combining a registered VIS image with either a registered IR or UVR image. In the case of the false color IR (FCIR), the IR takes the place of the red channel, while the red and green information are shifted to the green and blue channels respectively (Warda et al., 2017, pp. 143–146). When making a false color UV (FCUV) image, the UVR replaces the blue channel information, while the blue and the green information are shifted to the green and red channels respectively (Warda et al., 2017, pp. 162–164). Examples of FCIR and FCUV images of imaging targets are included in Figure 13 and Figure 14.

Lastly, MBR is the combination of images that results from subtracting a registered deep red VIS reflectance image from a registered NIR image (Kriss et al., 2023, Webb et al., 2014).

This section provides a simple yet comprehensive approach to multiband imaging based on an understanding of all the components of a multiband imaging system enabling informed decisions regarding equipment selection and setup. Having a full spectrum modified camera, high-quality lenses, proper well characterized radiation sources and corresponding filtration are crucial and the foundation for successful multiband imaging results.

Conclusions

In conclusion, when performing multiband imaging (MBI), it is important to have a solid understanding of the available equipment and how to achieve the desired images. A full spectrum modified UV-VIS-IR

Otro conjunto útil de imágenes que pueden generarse durante el posprocesado de las imágenes ya adquiridas son las imágenes en falso color y las imágenes obtenidas mediante sustracción multibanda de reflectancia (MBR). Las imágenes en falso color se crean combinando una imagen VIS registrada con una imagen IR o UVR registrada. En el caso del falso color infrarrojo (FCIR), la imagen IR ocupa el canal rojo, mientras que la información correspondiente al rojo y al verde se desplaza a los canales verde y azul, respectivamente (Warda *et al.*, 2017, pp. 143–146). Cuando se genera una imagen en falso color ultravioleta (FCUV), la UVR sustituye la información del canal azul, mientras que los valores azul y verde se desplazan a los canales verde y rojo, respectivamente (Warda *et al.*, 2017, pp. 162–164). En las Figuras 13 y 14 se incluyen ejemplos de imágenes FCIR y FCUV obtenidas a partir de cartas de calibración.

Por último, MBR es la combinación de imágenes obtenida al restar una imagen VIS de reflectancia en rojo profundo debidamente registrada de una imagen NIR igualmente registrada (Kriss *et al.*, 2023; Webb *et al.*, 2014).

Esta sección ofrece una descripción sencilla pero completa de la práctica de la imagen multibanda, basada en la comprensión de todos los componentes de un sistema de adquisición multibanda que permiten tomar decisiones fundamentadas sobre la selección y configuración del equipamiento. Contar con una cámara modificada de espectro completo, objetivos de alta calidad, fuentes de radiación bien caracterizadas y filtración adecuada constituye la base fundamental para obtener resultados satisfactorios en MBI.

Conclusiones

En conclusión, para realizar imagen multibanda (MBI) es fundamental comprender bien el equipamiento disponible y cómo obtener las imágenes deseadas. Una cámara

camera, sensitive from long-wave UV (UVA) to NIR, provides the ability to perform the full suite of multiband imaging techniques. An understanding of the types of radiation sources available and their characteristic spectral power distribution (SPD) emission will help inform the selection and filtration of radiation devices and the capture device. Lastly, having the right set of filters that will either transmit or block the desired wavelength is paramount to obtain the desired results. All of this is corroborated with the use of reference targets, either commercially available and/or bespoke. Once the images are processed, we can be confident that we have looked beyond the visible spectrum, expanding our perception of the object increasing our understanding of it and supporting the technical/analytical study and conservation of cultural heritage artifacts now and for the future.

Acknowledgments

I would like to thank deeply the following people that have been instrumental in my ability to produce this chapter: Laura Maccarelli, Terry Shaffer, and my ever-supporting wife Marie Svoboda. Thank you!

modificada de espectro completo UV-VIS-IR, sensible desde el UV de onda larga (UVA) hasta el NIR, permite aplicar el conjunto completo de técnicas de imagen multibanda. Conocer los tipos de fuentes de radiación disponibles y su distribución espectral de potencia (SPD) ayudará a seleccionar y filtrar correctamente tanto las fuentes de radiación como el dispositivo de captura. Finalmente, disponer del conjunto adecuado de filtros que transmitan o bloqueen las longitudes de onda deseadas es esencial para obtener los resultados buscados. Todo ello se corrobora mediante el uso de tarjetas de referencia, sean comerciales o de fabricación propia. Una vez procesadas, podemos tener la certeza de haber mirado más allá del espectro visible, ampliando nuestra percepción del objeto, incrementando nuestra comprensión del mismo y apoyando el estudio técnico-analítico y la conservación de los bienes culturales, ahora y en el futuro.

Agradecimientos

Deseo expresar mi profundo agradecimiento a las siguientes personas, cuya ayuda ha sido fundamental para poder realizar este capítulo: Laura Maccarelli, Terry Shaffer y mi siempre incondicional esposa Marie Svoboda. ¡Gracias!

References | Bibliografía

Berns, R. S. (2000). *Principles of Color Technology* (3rd ed). John Wiley & Sons, Inc.

Berns, R. S. (2016). *Color Science and the Visual Arts: A Guide for Conservators, Curators, and the Curious*. Getty Conservation Institute.

Crowther, J. M. (2019). Understanding colour reproduction in multispectral imaging: Measuring camera sensor response in the ultraviolet, visible and infrared. *The Imaging Science Journal*, *67*(5), 268–276. https://doi.org/10.1080/13682199.2019.1638664

Davies, A. (2018). *Digital Ultraviolet and Infrared Photography*. Routledge. https://doi.org/10.4324/9781315515090

Dyer, J., Verri, G., & Cupitt, J. (2013). *Multispectral Imaging in Reflectance and Photo-induced Luminescence modes: A User Manual*. The British Museum.

Jenkin, R. (2011). Image sensors. In E. Allen & S. Triantaphillidou (Eds.), *The Manual of Photography* (10th Ed., pp. 155–173). Focal Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-240-52037-7.10009-2

Keller, A. T., Lenz, R., Artesani, A., Mosca, S., & Nevin, A. (2019). Exploring the Ultraviolet Induced Infrared Luminescence of Titanium White Pigments. In M. Picollo, M. Stols-Witlox, & L. Fuster López (Eds.), *UV-Vis Luminescence Imaging techniques* (Vol. 1, pp. 201–232). Editorial Universitat Politècnica de València.

KODAK Photographic Filters Handbook. (1992). Kodak Eastman House Company.

Kriss, D., Schussler, V., Driscoll, E., Bradley, L., Ford, J., Pozzi, F., & Basso, E. (2023). Materials Characterization with Multiband Reflectance Imaging at the Brooklyn Museum: A New Tool for the Multiband Imaging Kit. *Journal of the American Institute for Conservation*, 1–18. https://doi.org/10.1080/01971360.2023.2168430

Lang, J., Tum, J., & Middleton, A. (Eds.). (2005). *Radiography of Cultural Heritage* (2nd edition). Routledge.

McGlinchey Sexton, J., Messier, P., & Chen, J. J. (2014, May). *Development and Testing of a Fluorescence Standard for Documenting Ultraviolet Induced Visible Fluorescence*. 42nd AIC Annual Meeting, San Francisco, CA. https://www.uvinnovations.com/_files/ugd/750e25_2229d56051c44368b9e1125744ee5d1e.pdf

Myers, R. D. (2000). *Color Accurate Digital Photography of Artworks* [White Paper]. Better Light Inc. https://www.betterlight.com/downloads/whitePaper/wp_color_accurate_photo.pdf

Pozeilov, Y (2015). Digital Photography for Art Conservation, 4th edition, Self published. https://www.lulu.com/shop/yosi-pozeilov/digital-photography-for-art-conservation/paperback/product-1nwk9zzr.html?q=Pozeilov&page=1&pageSize=4

Pozeilov, Y. (2023). A Simple Ultraviolet-induced Visible Fluorescence Target or a Low Cost Alternative to a Spectralon. *Archiving 2023: Final Program and Proceedings*, *20*, 116–120. https://doi.org/10.2352/issn.2168-3204.2023.20.1.25

Saunders, D. (2020). *Museum Lighting: A Guide for Conservators and Curators*. The Getty Conservation Institute. https://doi.org/10.2307/jj.4908204

Technical Photography and MSI Calibration Card. (2024). Cultural Heritage Science Open Source (CHSOS). https://chsopensource.org/technical-photography-msi-calibration-card/

UV Innovations: Ultraviolet Photography Standards. (2017). UV Innovations: Ultraviolet Photography Standards. https://www.uvinnovations.com/

Verhoeven, G. (2008). Imaging the invisible using modified digital still cameras for straightforward and low-cost archaeological near-infrared photography. *Journal of Archaeological Science*, *35*(12), 3087–3100. https://doi.org/10.1016/j.jas.2008.06.012

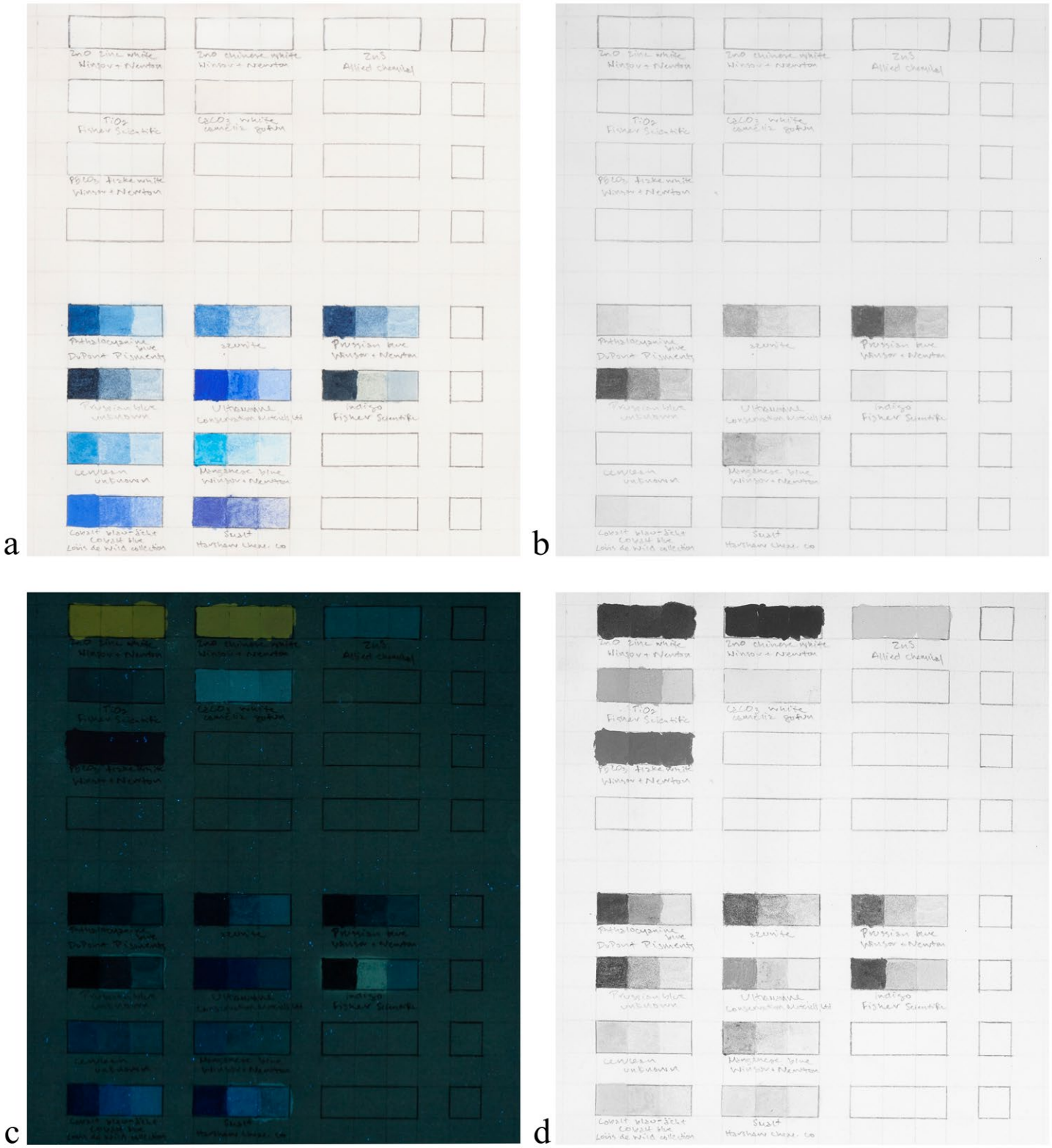
Verri, G. (2008). The Use and Distribution of Egyptian Blue: A Study by Visible-Induced Luminescence Imaging. In A. Middleton & K. Uprichard (Eds.), *The Nebamun Wall Paintings: Conservation, Scientific Analysis and Display at the British Museum* (pp. 41–50). Archaeopress Publishing Ltd.

Verri, G. (2009). The application of visible-induced luminescence imaging to the examination of museum objects. In L. Pezzati & R. Salimbeni (Eds.), *SPIE 7391, O3A: Optics for Arts, Architecture, and Archaeology II* (Vol. 7391, pp. 739105-1–12). SPIE. https://doi.org/10.1117/12.827331

Verri, G., & Saunders, D. (2014). Xenon flash for reflectance and luminescence (multispectral) imaging in cultural heritage applications. *Technical Research Bulletin*, *8*, 83–92.

Warda, J., Frey, F., Heller, D., Kushel, D., Vitale, T., & Weaver, G. (2017). *The AIC Guide to Digital Photography and Conservation Documentation* (J. Warda, Ed.; 3rd ed.). American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works.

Webb, E. K., Summerour, R., & Giaccai, J. (2014). A Case Study Using Multiband and Hyperspectral Imaging for the Identification and Characterization of Materials on Archaeological Andean Painted Textiles. In R. Summerour & C. Zaret (Eds.), *The Textile Specialty Group Postprints* (Vol. 24, pp. 23–36). American Institute of Conservation.



Detail view of pigment reference chart showing white pigments (top) and blue pigments (bottom) using multiband imaging techniques (a) visible light, (b) reflected IR, (c) UV-induced visible luminescence, (d) reflected UV imaging.

Vista de detalle de la carta de referencia de pigmentos que muestra pigmentos blancos (arriba) y azules (abajo) mediante técnicas de imagen multibanda: (a) luz visible, (b) infrarrojo reflejado, (c) luminiscencia visible inducida por ultravioleta y (d) imagen ultravioleta reflejada.

Terminology in multiband imaging is essential to accurately describe acquisition modes and avoid interpretative ambiguity, as similar terms are used inconsistently across disciplines and technical traditions.

La terminología en multiband imaging *es clave para describir con precisión los modos de adquisición y evitar ambigüedades interpretativas, ya que términos similares se emplean de forma desigual según disciplinas y tradiciones técnicas.*

NOTES ON TERMINOLOGY

CONSIDERACIONES TERMINOLÓGICAS

E. Keats Webb [a*], Miquel Àngel Herrero-Cortell [b], Marcello Picollo [c]
[a] *Museum Conservation Institute, Smithsonian Institution, United States*
[b] *Universitat Politècnica de València, Spain*
[c] *"Nello Carrara" Institute for Applied Physics of the Italian National Research Council (IFAC-CNR), Italy*

[*] *webbekeats@si.edu*

Introduction

The imaging techniques described in this volume are being widely used to support research and conservation of cultural heritage objects and materials around the globe. As described in Chapter 3 (Herrero-Cortell, Hirsch, & Webb, 2025), many of these techniques are not new and some have been used in conservation or to document cultural materials since UV sources became commercially available around 1925 (de la Rie, 1982) or film sensitive to near IR became available in the 1930s (Kushel, 2017, p. 130). Digital capabilities and advances have continued to further develop these techniques and aided in the introduction of new ones. While some techniques are old and some are new, an ongoing challenge is the lack of standardization of terminology used to reference these techniques and related phenomena. There is a range of terminology that is being used for similar techniques within conservation applications, which can present challenges to understanding what is being discussed or presented. This chapter aims to discuss and define this terminology encouraging shared terms by documenting the terminology that have been used

Introducción

Las técnicas de imagen descritas en este volumen se utilizan ampliamente para apoyar la investigación y la conservación de objetos y materiales del patrimonio cultural en todo el mundo. Tal como se expone en el Capítulo 3 (Herrero-Cortell, Hirsch, y Webb, 2025), muchas de estas técnicas no son nuevas, y algunas llevan empleándose en conservación o en la documentación de materiales culturales desde que las fuentes UV comenzaron a comercializarse hacia 1925 (de la Rie, 1982), o desde que la película sensible al infrarrojo cercano estuvo disponible en la década de 1930 (Kushel, 2017, p. 130). Las capacidades y avances digitales no han dejado de desarrollar estas técnicas y han favorecido la introducción de otras nuevas. Aunque algunas técnicas son antiguas y otras recientes, un desafío persistente es la falta de estandarización en la terminología empleada para referirse a ellas y a los fenómenos relacionados. En el ámbito de la conservación se utiliza un espectro amplio de términos para técnicas similares, lo que puede dificultar la comprensión de aquello que se discute o presenta. Este capítulo tiene como objetivo

in the past and are in use currently and offer a set of common terms both for the clarity of this volume and a reference for the community.

In the first volume of the Conservation 360° series, *UV-Vis Luminescence Imaging Techniques*, the guest editors referenced an Editorial from 1963 in *Studies in Conservation*, titled "The Terminology of Technical Photography" highlighting the call for standardized terminology six decades ago ("Editorial", 1963; Picollo et al., 2019). The 1963 Editorial made an attempt to raise awareness about the challenges around terminology, and Picollo et al. offered terms specific to UV-induced visible luminescence. However, shared terms around multiband imaging remain elusive with the development of this fourth volume of the Conservation 360° series. As a continuation of this effort to find common terms, we focus our attention on the challenges of terminology around broadband images taken within the ultraviolet (UV), visible, and infrared (IR) ranges using mostly modified consumer digital cameras with silicon-based sensors (CCD and CMOS).

Photography and Imaging

Photography and imaging are often used interchangeably although they are not necessarily the same, so it is worth exploring these two terms to better understand which each means. Allen (2011, p. 2) differentiates photography and imaging with traditional silver halide photography and modern electronic imaging:

> The word 'photography' is etymologically derived from the phrase 'to draw with light'. Modern electronic imaging techniques are commonly classed under the umbrella term 'digital imaging' to distinguish between them and more traditional silver halide photography; however, both encompass the same core principle: the

analizar y definir esta terminología, fomentando el uso de términos compartidos mediante la documentación de los términos empleados en el pasado y en el presente, y ofreciendo un conjunto común tanto para aportar claridad a este volumen como para servir de referencia a la comunidad.

En el primer volumen de la serie *Conservation 360°*, *UV-Vis Luminescence Imaging Techniques*, los editores invitados se remitieron a un Editorial de 1963 en *Studies in Conservation*, titulado "The Terminology of Technical Photography", que ya entonces subrayaba la necesidad de estandarizar la terminología ("Editorial", 1963; Picollo *et al.*, 2019). El Editorial de 1963 intentó concienciar acerca de los problemas vinculados a la terminología, y Picollo *et al.* propusieron términos específicos para la luminescencia visible inducida por UV. Sin embargo, los términos compartidos en torno a la imagen multibanda siguen siendo esquivos seis décadas después, incluso durante el desarrollo de este cuarto volumen de la serie *Conservation 360°*. Como continuación de este esfuerzo por encontrar términos comunes, centramos nuestra atención en los desafíos terminológicos relativos a imágenes de banda ancha adquiridas en los rangos UV, visible e IR, utilizando mayoritariamente cámaras digitales de consumo modificadas con sensores basados en silicio (CCD y CMOS).

Fotografía e imagen

Con frecuencia, los términos fotografía e imagen se emplean de manera intercambiable, aunque no son necesariamente equivalentes, por lo que resulta pertinente explorar ambos conceptos para comprender mejor su significado. Allen (2011, p. 2) distingue entre fotografía e imagen en relación con la fotografía tradicional de haluros de plata y la imagen electrónica moderna:

> use of light to produce a response in a light-sensitive material, which may then be rendered permanent and viewed as an image of the original scene.

Similarly, Ray differentiated photography and traditional techniques with imaging and "the extended capabilities of solid state imaging devices and digital systems" (Ray, 1999, p. xiv).

Verri contextualizes considerations of *photography* and *imaging* within the realm of cultural heritage pointing to the origin of the term *imaging* and extending its meaning beyond camera-based techniques to nearly any noninvasive[1] technique that records spatial information beyond one dimension (Verri, 2017, pp. 4–6):

> One normally thinks about the imaging of cultural heritage in terms of photography—whether film or digital. But the word imaging derives from the Latin term imago, which can be translated as phantom, statue, or likeness. In this broad sense, imaging of cultural heritage occurred long before cameras. Drawings or sculptural replicas, which captured the likeness of their original objects, are precursors of camera imaging…In modern terms, imaging may be defined as the recording and representation of the spatial distribution of information over a surface (in 2-D or

> La palabra 'fotografía' deriva etimológicamente de la expresión 'dibujar con luz'. Las técnicas modernas de imagen electrónica se suelen agrupar bajo el término paraguas 'imagen digital' para diferenciarlas de la fotografía tradicional de haluros de plata; sin embargo, ambas comparten el mismo principio esencial: el uso de la luz para producir una respuesta en un material fotosensible, que puede fijarse de forma permanente y visualizarse como una imagen de la escena original.

De forma similar, Ray distingue entre fotografía y técnicas tradicionales frente a la imagen y "las capacidades ampliadas de los dispositivos de imagen de estado sólido y los sistemas digitales" (Ray, 1999, p. xiv).

Verri contextualiza las consideraciones en torno a fotografía e imagen dentro del ámbito del patrimonio cultural, señalando el origen del término *imaging* y ampliando su significado más allá de las técnicas basadas en cámara, hasta prácticamente cualquier técnica no invasiva[1] que registre información espacial más allá de una dimensión (Verri, 2017, pp. 4–6):

[1] A note on *noninvasive* vs. *non-destructive* and differentiating these terms. Analytical Techniques are divided into two main groups: invasive and noninvasive techniques. Invasive Analyses need to have samples (micro-samples) from the artwork being studied and can be divided into three subsets as follows:

- *Non-destructive techniques*: (samples) neither destruction nor modification during preparation or in the course of analysis. One can reuse the sample for further analysis or recover and relocate it.
- *Modifying techniques*: (samples) physical or chemical nature may be modified during preparation or during analysis. One can reuse the sample for further analysis.
- *Destructive techniques*: (samples) destruction during preparation or in the course of the analysis itself.

Noninvasive analysis are analytical techniques that can be performed without the taking of samples. They refer to all investigative techniques that do not cause damage (instantaneous, in the medium- and/or long-term) to the work of art and, strictly speaking, that should not touch the surface of the object in order to be performed.

[1] Una nota sobre *no invasivo* vs. *no destructivo* y la diferenciación de estos términos. Las técnicas analíticas se dividen en dos grupos principales: técnicas invasivas y técnicas no invasivas. Los análisis invasivos necesitan disponer de muestras (micro-muestras) de la obra que está siendo estudiada y pueden dividirse en los siguientes tres subconjuntos:

- *Técnicas no destructivas*: (muestras) ni destrucción ni modificación durante la preparación o en el transcurso del análisis. La muestra puede reutilizarse para análisis posteriores o recuperarse y recolocarse.
- *Técnicas modificadoras*: (muestras) la naturaleza física o química puede modificarse durante la preparación o durante el análisis. La muestra puede reutilizarse para análisis posteriores.
- *Técnicas destructivas*: (muestras) destrucción durante la preparación o en el transcurso del propio análisis.

Los análisis *no invasivos* son técnicas analíticas que pueden realizarse sin la toma de muestras. Se refieren a todas las técnicas de investigación que no causan daño (instantáneo, a medio y/o a largo plazo) a la obra de arte y que, estrictamente hablando, no deberían tocar la superficie del objeto para poder llevarse a cabo.

> 3-D) and across time (video or time-lapse)…The most intuitive and common imaging techniques capture the interaction between light and the matter of which an assembly is composed. However, virtually any nondestructive investigative technique can be considered imaging if it involves more than point analysis and records spatial distribution in more than one dimension. This expands the definition of imaging to encompass a vast range of methods.

Also, reflecting a broader categorization of imaging beyond photography is the name change of the professional imaging science society in 1992 from the Society of Photographic Scientists and Engineers (SPSE) to the Society of Imaging Science and Technology in 1992 (IS&T History, 2023).

We recommend using *photography* to reference silver halide photographic processes, *digital photography* to differentiate from the analog process, and *imaging* for a larger umbrella of techniques. As noted by Verri, imaging can extend beyond camera-based techniques and can include other noninvasive investigative techniques. We recognize that both *imaging* and *digital photography* will be used to reference the multiband techniques described in this volume.

Conservation, Technical, Forensic, and Analytical Imaging

There are many terms to describe the broad range of imaging techniques that are used to support the conservation and research of heritage objects. These include conservation documentation/photograph/imaging (Chen & Smith, 2020; Kushel, 2017), technical photography/imaging (Cosentino, 2015; "Editorial", 1963; MacDonald-Korth, 2023), forensic photography/imaging (Kakoulli et al., 2017; Radpour et al., 2021), and analytical imaging (Trentelman, 2017). All of these encompass a range of imaging techniques that

> Normalmente se piensa en la obtención de imágenes del patrimonio cultural en términos de fotografía—ya sea analógica o digital. Pero la palabra *imaging* proviene del término latino *imago*, que puede traducirse como fantasma, estatua o semejanza. En este sentido amplio, la obtención de imágenes del patrimonio cultural comenzó mucho antes de la existencia de las cámaras. Dibujos o réplicas escultóricas que capturan la semejanza del objeto original son precursores de la obtención de imágenes mediante cámara… En términos modernos, *imaging* puede definirse como el registro y la representación de la distribución espacial de la información sobre una superficie (en 2D o 3D) y a través del tiempo (vídeo o time-lapse)… Las técnicas de imagen más intuitivas y comunes capturan la interacción entre la luz y la materia de la que está compuesto un conjunto. Sin embargo, prácticamente cualquier técnica de investigación no destructiva puede considerarse imagen si implica más que un análisis puntual y registra distribución espacial en más de una dimensión. Esto amplía la definición de imagen para abarcar un vasto conjunto de métodos".

También reflejo de esta ampliación conceptual es el cambio de nombre, en 1992, de la sociedad profesional SPSE (*Society of Photographic Scientists and Engineers*) a *Society of Imaging Science and Technology* (IS&T History, 2023).

Recomendamos emplear *fotografía* para referirse a los procesos fotográficos de haluros de plata, *fotografía digital* para diferenciarlos del proceso analógico, e *imagen* como un paraguas más amplio que engloba más técnicas. Tal como señala Verri, *imaging* puede abarcar procedimientos no basados en cámaras y otras técnicas no invasivas. Reconocemos que tanto *imaging* como *fotografía digital* pueden emplearse para referirse a las técnicas multibanda descritas en este volumen.

can be used to support the research and conservation of cultural heritage objects and materials, but they have different purposes or applications.

Conservation imaging is the recording of the characteristics and condition of a heritage object at a particular point in its history and the details associated with the study, treatment, and care of the object with the intention that these images will serve as permanent records for future consultation and comparison.[2] Conservation imaging can record the condition, inform the care and treatment, and increase the understanding of the materials and manufacture of an object.

Technical imaging: Despite *technical photography/ imaging* being somewhat common terminology that has included visible, infrared, and ultraviolet photography/imaging and X- radiography for conservation applications ("Editorial", 1963), it is hard to find a formal definition. Cosentino et al. offered the definition of *technical photography* as "a collection of broadband spectral images realized with a modified full spectrum digital camera and using different lighting sources and filters to acquire images useful for art diagnostics, such as ultraviolet luminiscence and infrared false color photos" (Cosentino et al., 2014, p. 24). However, technical photography/imaging extends beyond broadband spectral images and the use of a modified consumer digital camera.

The conservation field's implied definition of *technical imaging* seems to align with *applied photography/ imaging*, which is defined as "...a means of extending imagery beyond the limits of human visual perception, producing permanent records for analysis and evaluation of the subject and process involved" (Ray, 1999, p. 2). Applied imaging can include different types of image capture, measurement, and interpretation; is used to

[2] This definition is building off the definition provided by Saunders et al. (2006, p. 541) for conservation documentation with "documentation" extending beyond imaging to include written details.

Imagen de conservación, técnica, forense y analítica

Existen numerosos términos para describir el amplio conjunto de técnicas de imagen empleadas en la investigación y conservación de objetos patrimoniales. Entre ellas se encuentran *conservation documentation / photography / imaging* (Chen y Smith, 2020; Kushel, 2017), *technical photography / imaging* (Cosentino, 2015; "Editorial," 1963; MacDonald-Korth, 2023), *forensic photography / imaging* (Kakoulli *et al.*, 2017; Radpour *et al.*, 2021) e *analytical imaging* (Trentelman, 2017). Todas abarcan una diversidad de técnicas que pueden apoyar la investigación y conservación de materiales patrimoniales, pero difieren en propósito o aplicación.

Imagen de conservación: Registro de las características y el estado de un objeto patrimonial en un momento determinado de su historia, incluyendo los detalles asociados al estudio, tratamiento y cuidado del mismo. Estas imágenes sirven como registro permanente para futuras consultas y comparaciones,[2] pueden documentar el estado, informar sobre cuidados y tratamientos, y aumentar la comprensión de los materiales y la manufactura del objeto.

Imagen técnica: Aunque *technical photography/ imaging* es una terminología relativamente común que ha incluido fotografía visible, infrarroja y ultravioleta, así como radiografía para aplicaciones de conservación ("Editorial", 1963), es difícil encontrar una definición formal. Cosentino *et al.* definieron la fotografía técnica como "una colección de imágenes espectrales de banda ancha realizadas con una cámara digital modificada de espectro completo utilizando diferentes fuentes de iluminación y filtros para adquirir imágenes útiles para el diagnóstico del arte, como

[2] Esta definición se construye a partir de la definición proporcionada por Saunders et al. (2006, p. 541) para la documentación en conservación, con "documentación" extendiéndose más allá de la imagen para incluir detalles escritos.

find out information about the subject or the process affecting the subject; and is a scientific tool (Ray, 1999, pp. xiv, 2). Applied imaging is not a term that is routinely used to reference imaging techniques used for conservation applications, but its definition can help us to think about a definition for technical imaging.

Another consideration is the relationship of technical imaging and technical studies. The term 'technical studies,' as it relates to conservation, originates from the Fogg Museum's department and its journal "Technical Studies in the Field of Fine Arts" (1932-1942) (Faries, 2003). The department, originally the Department for Technical Studies, changed its name in 1931 to the Department for Conservation and Technical Research and to the Straus Center for Conservation and Technical Studies in 1996. The department and journal focused on the technical examination of art with the main objectives of technical studies being "investigations into authenticity, physical conditional, and the quality of the applied materials" (Spronk, 2003, p. 45). Early modes of this examination included imaging techniques like x-radiography, infrared and UV photography, and later infrared reflectography. Technical imaging relates to technical studies and technical examination.

Forensic imaging is described by Kakoulli et al. as techniques aimed "to support non-invasive on site investigations in art and archaeology necessitating unbiased characterization arising from concerns of authenticity and cultural context of archaeological polychrome artifacts without having to move the objects or take any samples" (2017, p. 105). Imaging techniques used for forensic science are intended "to provide objective records in legal proceedings and for subsequent analysis" (Allen, 2011, p. 1). While techniques used for conservation may be similar, forensic imaging implies the involvement of law enforcement or criminologist and is not necessarily conservation imaging.

fotografías de fluorescencia ultravioleta o infrarrojo falso color" (2014, p. 24). Sin embargo, esta definición se queda corta, pues la imagen técnica abarca también técnicas más allá de las imágenes de banda ancha y del uso de cámaras de consumo modificadas.

La definición implícita en conservación parece alinearse con la de *applied photography/imaging*, entendida como "un medio para extender la imagen más allá de los límites de la percepción visual humana, produciendo registros permanentes para el análisis y la evaluación del sujeto y del proceso implicado" (Ray, 1999, p. 2). Aunque este término no se usa habitualmente en conservación, su definición ayuda a pensar en qué podría considerarse imagen técnica.

La relación entre *imagen técnica* y *estudios técnicos* es también relevante. El término *technical studies* procede del departamento homónimo del Fogg Museum y de su revista *Technical Studies in the Field of Fine Arts* (1932–1942) (Faries, 2003), centrados en el examen técnico del arte con objetivos como autenticidad, estado físico y calidad de los materiales empleados (Spronk, 2003, p. 45). Las técnicas de imagen, como radiografía, fotografía IR o UV y posteriormente reflectografía IR, formaban parte fundamental de estos estudios. Por tanto, la imagen técnica se relaciona estrechamente con el examen técnico.

Imagen forense: Según Kakoulli *et al.*, engloba técnicas dirigidas "a apoyar investigaciones no invasivas in situ en arte y arqueología, que requieren caracterizaciones objetivas por motivos de autenticidad y contexto cultural de objetos policromos sin desplazar los objetos ni tomar muestras" (2017, p. 105). Las técnicas forenses buscan registros objetivos para procedimientos legales y análisis posteriores (Allen, 2011, p. 1). Aunque puedan emplear técnicas comunes con la conservación, implican un contexto institucional distinto.

Analytical imaging is imaging used for analysis and resulting in analytical data, and these techniques are combining spatial and analytical data to support the research of objects, materials, and processes.[3] These techniques can include X-radiography, IR and UV imaging, reflectance transformation imaging (RTI), multi- and hyperspectral imaging, and microscopy but also extend to XRF, SEM, FTIR and Raman mapping (Trentelman, 2017).

These four different terms, or categories, overlap and can include similar techniques, but different applications and purposes differentiate and define these. Conservation, technical, forensic, and analytical imaging can all be used as overarching categories that include multiband imaging techniques, but the appropriate one for the project or study depends on how and why the techniques are used.

Imaging Spectroscopy: Multispectral and Hyperspectral Imaging

Within the realm of cultural heritage and conservation imaging, *multispectral* imaging is used to reference several different types of images and image sets. At its simplest *multispectral* is more than one spectral band, so this technically could include a standard color image. A color image acquired using a consumer digital camera has three color filters (red, green, and blue) on the sensor surface, so it has more than one spectral band and some might consider it a *multispectral* image. However, issues are encountered if the term *multispectral* is used for color, visible

[3] The "Integrating Imaging and Analytical Technologies" report included broad terms for data in the field of heritage science, "description (generally text-based), spatial (generally presented as an image), or analytical in nature (generally presented as a spectrum or other graph, stemming from material analysis" (2013, p. 11). This definition pulls from these general terms.

Imagen analítica: Aquella que combina imagen y datos analíticos, generando información espacial y espectral para apoyar el estudio de materiales, objetos y procesos.[3] Incluye radiografía, imagen IR y UV, RTI, imagen multispectral e hiperespectral, microscopía, así como técnicas de mapeo como XRF, SEM, FTIR o Raman (Trentelman, 2017).

Estas cuatro categorías se solapan y pueden compartir técnicas, pero se diferencian por sus propósitos. Las cuatro pueden englobar técnicas de imagen multibanda, pero la categoría adecuada depende del objetivo de cada proyecto.

Imágenes espectroscópicas: imagen multiespectral e hiperespectral

En conservación y patrimonio, el término *imagen multiespectral* se usa para referirse a varios tipos distintos de imágenes y conjuntos de imágenes. En su sentido más simple, multiespectral significa "más de una banda espectral", lo que incluiría una imagen en color. Una cámara digital registra tres bandas (rojo, verde y azul), por lo que podría considerarse multiespectral. Sin embargo, surgen problemas cuando el término *multiespectral* se emplea simultáneamente para imágenes visibles, para cubos espectrales calibrados y para todo lo que se sitúa entre ambos.

En el primer volumen de la serie *Conservation 360°*, los editores observaron que el término se había vuelto común para describir UVL, IRR, luz visible normal y rasante, pero decidieron—siguiendo la bibliografía especializada—que *multiespectral* debía reservarse para conjuntos calibrados de imágenes

[3] El informe *Integrating Imaging and Analytical Technologies* incluía términos amplios para los datos en el campo de la ciencia del patrimonio: "descripción (generalmente basada en texto), espacial (generalmente presentada como una imagen), o de naturaleza analítica (generalmente presentada como un espectro u otro gráfico, derivado del análisis material)" (2013, p. 11). Esta definición se basa en estos términos generales.

light images, the calibrated image-cubes from which spectral measurements can be extracted, and anything in between.

As noted by the editors in the first volume of the *Conservation 360°* series, *multispectral* has become common to describe the acquisition ultraviolet-induced visible luminescence, reflected infrared, normal and raking visible light. However, they decided in accordance with the wider literature, that the term *multispectral* was better suited for calibrated image sets, or image-cubes, where spectral measurements could be extracted, and that the term *multiband* included broadband, spectrally un-calibrated imaging techniques that would not allow for reconstruction of a usable spectrum (Picollo et al., 2019, pp. 14–15). Multispectral and hyperspectral imaging, as imaging spectroscopy techniques, extend beyond the scope of this volume, but these techniques are important to include when discussing terminology.

Imaging spectroscopy, initially developed for remote sensing and now widely used for cultural heritage imaging, provides high-quality digital images that contain spectral information for each pixel (Cucci et al., 2016, 2019; Jones et al., 2020). The resulting dataset is often called an image-cube where the spatial dimensions of the scene are two of the dimensions (x and y) and the third dimension (z) is wavelength. The image-cubes can aid in identifying artists' materials and mapping the spatial distribution of these materials across the surface of the object, identifying past conservation treatments, and extracting processed images at different wavebands or combining wavebands to document the objects' characteristics (Cucci et al., 2019). The umbrella term *imaging spectroscopy* can include multispectral and hyperspectral imaging which are often differentiated by the number of wavebands included in the resulting image-cube. Multispectral imaging tends to include tens of bands whereas hyperspectral imaging

(image-cubes), es decir, aquellos de los que puede extraerse información espectral, mientras que *multibanda* debía usarse para técnicas de banda ancha, no calibradas, que no permiten reconstruir espectros utilizables (Picollo *et al*., 2019, pp. 14–15).

La imagen espectroscópica, inicialmente desarrollada para teledetección y hoy ampliamente empleada en patrimonio, proporciona imágenes digitales de alta calidad con información espectral para cada píxel (Cucci *et al*., 2016, 2019; Jones *et al*., 2020). Los resultados suelen presentarse como cubos de imagen, donde dos dimensiones corresponden al espacio (x–y) y la tercera a la longitud de onda. Estos cubos permiten identificar materiales, mapear su distribución espacial, reconocer tratamientos de conservación previos o generar imágenes procesadas en diferentes bandas.

El término paraguas *imaging spectroscopy* abarca imagen multiespectral e hiperespectral, diferenciadas principalmente por el número de bandas. La multiespectral suele incluir decenas de bandas; la hiperespectral, cientos o miles de bandas continuas estrechas. Generalmente, la multiespectral se basa en cámaras (con filtros o iluminación sintonizable), mientras que la hiperespectral emplea principalmente redes de difracción o prismas para adquirir datos.

Imagen multibanda y multimodal

Los términos *multibanda*[4] y *multimodal* permiten diferenciar las técnicas multiespectrales de banda ancha—objeto principal de este volumen—de la multiespectral estrecha que forma parte de la imagen espectroscópica. El término *multiespectral* puede

[4] Multiband también puede encontrarse como multiband.

will include hundreds to thousands of continuous narrow bands (Cucci et al., 2016; Jones et al., 2020). Multispectral tends to be camera-based using either filters or tunable illumination, while hyperspectral systems mainly use diffraction grating or prisms for acquiring data (Jones et al., 2020).

Multiband and Multimodal Imaging

Multiband[4] and *multimodal* are terms that allow us to differentiate between broadband multispectral techniques, that this volume will be focusing on, and the narrower band multispectral imaging that falls under imaging spectroscopy and can provide the capability of extracting spectral information. The term *multispectral* can be used to describe the techniques but needs to be further modified by using additional descriptors like "broadband multispectral imaging" (Dyer et al., 2022).

Multiband imaging[5] references a set of techniques used to record an object with broadband wavelength ranges from longwave UV to near infrared, including visible light. These techniques provide the visualization and spatial distribution of materials under different illumination. The systems used generally include a silicon-based sensor recording a wavelength range between about 350 – 1100 nm and different radiation sources and filters to select the wavelength range of interest.

There are three modes of imaging that are used: reflectance, transmittance, and luminescence. An image set that includes both reflectance and photoluminescence would be considered multimodal. As defined

usarse para describir estas técnicas, pero requiere calificativos adicionales como "banda ancha" (*broadband multispectral imaging*) (Dyer *et al.*, 2022).

La *imagen multibanda*[5] designa un conjunto de técnicas destinadas a registrar un objeto en rangos amplios de longitud de onda, desde el UV de onda larga hasta el IR cercano, incluyendo la luz visible. Estas técnicas permiten visualizar la distribución espacial de materiales bajo diferentes iluminaciones. Los sistemas empleados incluyen sensores basados en silicio que registran aproximadamente entre 350 y 1100 nm, diferentes fuentes de radiación y filtros para seleccionar el rango deseado.

Se emplean tres modos de imagen: reflectancia, transmitancia y luminiscencia. Un conjunto de imágenes que incluya reflectancia y fotoluminiscencia se considera *multimodal*. Según Chen y Smith (2020):

> El término 'imagen multimodal' destaca la combinación de modos de imagen y técnicas de iluminación empleadas (p. ej., reflectancia, transmitancia y luminiscencia). La compilación de imágenes multimodales registra las formas en que un material refleja, absorbe, transmite y/o emite luz visible y longitudes de onda invisibles.

El término puede extenderse más allá del multibanda: *imagen multimodal* puede englobar modalidades ópticas, de rayos X y de terahercios (Gibson *et al.*, 2018). Por ejemplo, Gibson *et al.* aplicaron un enfoque multimodal que combinaba MSI en reflectancia y transmitancia, técnicas de luminiscencia, OCT, XRF

[4] Multiband can also be found as multiband.

[5] This definition of multiband imaging is building off the definition provided by Dyer & Newman (2020). However, Dyer & Newman are using the terminology of "multispectral imaging" for these datasets, and in this volume, we are recommending the terminology "multiband" and "multimodal."

[5] Esta definición de imagen multibanda se construye a partir de la definición proporcionada por Dyer & Newman (2020). Sin embargo, Dyer & Newman utilizan la terminología de "imagen multiespectral" para estos conjuntos de datos, y en este volumen se recomienda la terminología "multiband" y "multimodal".

Table 1 | Proposed Technique Terminology and Abbreviations with Associated Wavelength Ranges for the Radiation Source and Camera.

Tabla 1 | Terminología y abreviaturas propuestas para las técnicas, con los rangos de longitud de onda asociados tanto a la fuente de radiación como a la cámara.

Mode / *Modo*	Technique/ *Técnica*	Abbreviations/ *Abreviatura*	Wavelength range emitted by radiation source / *Longitud de onda emitida por la fuente de radiación*	Wavelength range recorded by camera[a] / *Longitud de onda registrada por la cámara*[a]
Reflectance Mode / *Reflectancia*	Visible Light Imaging/ *Imagen con luz visible reflejada*	VIS	400 – 700 nm	400 – 700 nm
	Reflected Infrared Imaging/ *Imagen infrarroja reflejada*	RIR or/o IR	700 – 1100 nm	700 – 1100 nm
	Infrared Reflectography/ *Reflectografía infrarroja*	IRR	1000 – 2500 nm	1000 – 2500 nm
	Reflected Ultraviolet Imaging/ *Ultravioleta reflejado*	RUV or/o UVR	200 – 400 nm	200 – 400 nm
	Multiband Reflectance Imaging Subtraction/ *Imagen de substracción de reflectancia multibanda*	MBR		
Transmittance Mode/ *Trasnmitancia*	Transmitted Visible Light Imaging/ *Imagen de transiluminación*	TL or/o VT	400 – 700 nm	400 – 700 nm
	Transmitted Infrared Imaging/ *Transirradiación infrarroja*	IRT or/o TIR	700 – 1100 nm	700 – 1100 nm
	Infrared Transmittography/ *Transmitografía infrarroja*	IRRT	1000 – 2500 nm	1000 – 2500 nm
Luminescence Mode/ *Lumiscencia*	Ultraviolet-Induced Visible Luminescence / *Luminiscencia visible inducida por radiación ultravioleta*	UVL or UV-VL[b]	200 – 400 nm (depending on radiation source / *dependiendo de la fuente de radiación* – UVA, UVB, UVC)	400 – 700 nm
	Ultraviolet-Induced Infrared Luminescence / *Luminiscencia infrarroja inducida por radiación ultravioleta*	UVIL or UV-IL[c]	200 – 400 nm (depending on radiation source / *dependiendo de la fuente de radiación* – UVA, UVB, UVC)	700 – 1100 nm
	Visible-Induced Infrared Luminescence / Luminiscencia infrarroja inducida por radiación visible	VIL or V-IL	Red light / *Luz roja* λmax = 630 nm (Dyer & Sotiropoulou, 2017) λex max = 600 nm (Kakoulli et al., 2017) blue-green light / *Luz azul-verde* (Bridgeman & Gibson, 1963)	700 – 1100 nm
	Visible-Induced Visible Luminescence / *Luminiscencia visible inducida por radiación visible*	VIVL or VIS-VL	Blue light / *Luz azul* λmax =465 nm (Dyer et al., 2018; Dyer & Sotiropoulou, 2017; Tamburini & Dyer, 2019) λex max = 535 nm (Kakoulli et al., 2017), 400-500 nm (Dyer et al., 2013; Dyer & Newman, 2020) λex max = 535 nm and 555 nm (Mayberger et al., 2020)	500 – 700 nm (Dyer & Newman, 2020)
False Color Processing / *Procesado de falso color*	False Color Infrared or Infrared False Color / *Imagen infrarroja de falso color*	FCIR or IRFC	R: RIR image / *Imagen RIR* G: VIS red channel / *VIS canal rojo* B: VIS green channel / *VIS canal verde* (Aldrovandi et al., 2005; Dyer et al., 2013; Kushel, 2017)	
	False Color UV or UV False Color / *Imagen ultravioleta de falso color*	FCUV or UVFC	R: VIS green channel / *VIS canal verde* G: VIS blue channel / *VIS canal azul* B: RUV image / *Imagen RUV* (Aldrovandi et al., 2005; Dyer et al., 2013; Kushel, 2017)	

[a] The wavelength range recorded by the camera will be dependent on the radiation source, camera, and lens used and may not cover the full range included in this column. / *El rango de longitud de onda registrado por la cámara dependerá de la fuente de radiación, la cámara y la lente utilizadas, y es posible que no cubra todo el rango incluido en esta columna.*

[b] A/B/C (for UVA, UVB, UVC radiation sources) can be added to the abbreviation (e.g., UVC-VL) to be more specific especially when UVC is being used. Whether or not the A/B/C are used in the abbreviation, the specifics about the radiation sources emission needs to be included in the report, publication, and presentation. / *A/B/C (para Fuentes de radiación UVA, UVB, UVC) pueden añadirse a la abreviatura (por ejemplo, UVC-VL) para aportar una mayor especificidad, especialmente cuando se utiliza UVC. Independientemente de si se emplean o no las designaciones A/B/C en la abreviatura, es necesario incluir la información específica sobre la emisión de las fuentes de radiación en el informe, la publicación y la presentación.*

[c] Similar to note for UVL, A/B/C can be added to the abbreviation to be more specific. / *De forma similar a lo indicado para UVL, las letras A/B/C pueden añadirse a la abreviatura para aportar una mayor especificidad.*

by Chen & Smith (2020), "The term 'multimodal imaging' highlights the combination of imaging modes and lighting techniques employed (i.e., reflectance, transmittance, and luminescence modes). Compiling multimodal images captures the ways a material reflects, absorbs, transmits, and/or emits visible light and invisible wavelengths."

Even beyond multiband imaging, *multimodal imaging* references the use of different imaging modalities such as optical, X-ray, and terahertz-based techniques (Gibson et al., 2018). For example, Gibson et al. (2018) used a multimodal imaging approach that includes optical techniques (MSI both reflectance and transmittance, luminescence techniques and optical coherence tomography), X-ray techniques (X-ray fluorescence imaging and spectroscopy, X-ray micro computed tomography, and phase contrast X-ray) and terahertz-based techniques for the potential study of mummy cartonnage. Another example, Delaney et al. (2017) combined hyperspectral diffuse reflectance and luminescence with scanning macro X-ray fluorescence for macroscale multimodal imaging of a Fayum portrait.

Proposed Technique Terminology and Abbreviations

The following sections will further define the techniques that make up these three modalities of imaging (reflectance, transmittance, and luminescence) along with the corresponding table with the proposed terminology and abbreviations (Table 1). This information was compiled from a review of the published literature of multiband imaging of cultural heritage. While a priority in pulling together proposed terminology was consistency, there is also a need for balance of consistency with what is already established and practical.[6]

[6] The authors want to acknowledge the efforts made by Keller et al. (2019) and Rahrig et al. (2023) to propose terminology and abbreviations that offer consistency in referencing reflectance and luminesce images and include reference to

y tomografía micro-CT para estudiar cartonnage de momias. Delaney *et al*. (2017) combinaron reflectancia y luminiscencia hiperespectrales con macro–XRF escaneado para un estudio multimodal de un retrato Fayum.

Propuesta de terminología y abreviaturas

Las secciones siguientes definirán con mayor precisión las técnicas que conforman estos tres modos —reflectancia, transmitancia y luminiscencia— junto con tablas de terminología propuesta y abreviaturas (Tabla 1). Esta información se compiló tras revisar la bibliografía disponible sobre imagen multibanda aplicada al patrimonio cultural. Aunque se priorizó la coherencia, también se buscó un equilibrio con lo ya establecido y lo práctico.[6] La Tabla 2 incluye referencias que respaldan las propuestas terminológicas y otras referencias alternativas. Ni la revisión ni las tablas pretenden ser exhaustivas, pero ofrecen un panorama general de los términos y abreviaturas actualmente en uso.

Este capítulo se centra en la definición terminológica de las técnicas, mientras que el Capítulo 4 (Webb, 2025) proporcionará ejemplos adicionales de aplicaciones y estudios, y el Capítulo 3 (Herrero-Cortell, Hirsch, y Webb, 2025) ofrecerá una visión general histórica de estas técnicas, incluyendo su introducción y evolución. Las referencias incluidas en el texto se concentran en la definición de cada técnica, no necesariamente en su introducción histórica. La

[6] Los autores desean reconocer los esfuerzos realizados por Keller et al. (2019) y Rahrig et al. (2023) para proponer una terminología y abreviaturas que ofrezcan coherencia al referirse a imágenes de reflectancia y de luminiscencia e incluyan la referencia al rango de longitudes de onda emitido y registrado. Las abreviaturas se basan en abreviaturas largas con guiones y guiones bajos y con formato en subíndices. La coherencia es notable e importante, pero el sistema de abreviaturas sería problemático para el nombrado de archivos y los metadatos.

Table 2 includes references that support the proposed technique terminology and abbreviations along with references for other terminology and abbreviations. The review and tables are not comprehensive or exhaustive but should provide an overview of the terminology and abbreviations being used. This chapter is focused on defining the technique terminology, while Chapter 4 (Webb, 2025) will provide more examples of applications and studies associated with the different techniques and Chapter 3 (Herrero-Cortell, Hirsch, & Webb, 2025) will provide an overview of the history of the techniques which will include their introduction and development. The references included in the text of this section are focused on the definition of the technique and not necessarily the introduction of the technique or term. The proposed terminology and abbreviations will not be a perfect or final solution that works for everyone and everything, but this is intended as a reference and resource for the community and something that can be further developed to work towards a common shared terminology.

Reflectance Imaging Techniques

Images acquired in reflectance mode are defined as images where the wavelength range emitted from the radiation source is the same as the wavelength range being recorded by the camera.[7] These techniques include visible light (VIS) imaging, reflected infrared (IR or RIR) imaging, infrared reflectography (IRR), reflected UV (RUV or UVR) imaging, and multiband reflectance imaging (MBR).

the wavelength range emitted and recorded. The abbreviations rely on lengthy abbreviations with dashes and underscores and subscript formatting. The consistency is notable and important, but the abbreviation convention would be problematic for file naming and metadata.

[7] These definitions and organization of reflectance and luminescence modes with the listing of techniques is following the example of Dyer & Newman (2020).

terminología y abreviaturas propuestas no son una solución definitiva, pero pretenden servir como referencia útil y base para lograr una terminología compartida en el futuro.

Imágenes de reflectancia

Las imágenes adquiridas en modo de reflectancia se definen como aquellas en las que el intervalo de longitudes de onda emitido por la fuente de radiación es el mismo que el intervalo de longitudes de onda registrado por la cámara.[7] Estas técnicas incluyen la imagen en luz visible (VIS), la imagen en infrarrojo reflejado (IR o RIR), la reflectografía infrarroja (IRR), la imagen en ultravioleta reflejado (RUV o UVR) y la imagen de reflectancia multibanda (MBR).

- *Imagen Visible* (VIS): registra la apariencia de un objeto tal como se ve bajo condiciones estándar de observación (luz reflejada en la región visible, 400–700 nm) cuando el objeto se ilumina con luz visible (Dyer & Newman, 2020; Kushel, 2017, p. 113). Esta definición describe la luz visible con iluminación normal, pero la imagen en luz visible reflejada también puede incluir iluminación rasante y especular (axial y oblicua) (Chen & Smith, 2020; Kushel, 2017, pp. 116–121).
- *Imagen infrarroja reflejada* (IR or RIR): registra la radiación reflejada[8] en la región del infrarrojo cercano (NIR, 700–1100 nm) bajo radiación infrarroja (Dyer & Newman, 2020). Siguiendo la terminología propuesta por Kushel et al.

[7] Estas definiciones y la organización de los modos de reflectancia y luminiscencia con la enumeración de técnicas siguen el ejemplo de Dyer & Newman (2020).

[8] Una nota sobre luz vs. radiación: solo la radiación de luz visible (400–700 nm) se denomina propiamente "luz", y la ultravioleta e infrarroja se denominan propiamente "radiación" (Kushel, 2017, p. 152). Para fines de discusión formal y publicación, Kushel ha sugerido el uso de radiación infrarroja o ultravioleta en lugar de luz infrarroja o ultravioleta, e irradiación infrarroja o ultravioleta en lugar de iluminación infrarroja o ultravioleta.

Table 2 | References for the Usage of Terms and Abbreviations That Are Similar and Different to Those Proposed in Table 1.

Tabla 2 | Referencias sobre el uso de términos y abreviaturas similares y diferentes a los propuestos en la Tabla 1.

Mode / *Modo*	Proposed Technique Name and Abbreviations / *Propuestas de nombres y abreviaturas de las técnicas*	Aligned Terminology and Abbreviations/ *Terminología alineada y abreviaturas*	Other Terminology and Abbreviations / *Otra terminología y abreviaturas*
Reflectance Mode / *Reflectancia*	Visible Light Imaging / *Imagen visible reflejada* (VIS)	VIS (Bradley et al., 2020; Cosentino, 2013; Dyer et al., 2013; Keller et al., 2019; Tamburini & Dyer, 2019)	Visible-reflected (Dyer et al., 2013; Keller et al., 2019; Tamburini & Dyer, 2019) Visible-reflected (VISR) (Verri & Saunders, 2014) Visible reflected (Vis) (Gargano et al., 2022) VIS-induced VIS reflectography (VIS-R_{-VIS}) (Rahrig et al., 2023)
	Reflected Infrared Imaging / *Imagen infrarroja reflejada* (RIR or IR)	Reflected infrared digital photography (Kushel, 2011, 2017) Reflected IR (Chen & Smith, 2020) IR (Cosentino, 2013)	IR-induced IR reflectography (IR-R_{-IR}) (Keller et al., 2019; Rahrig et al., 2023) Infrared-reflected (IRR) imaging (Dyer & Newman, 2020; Tamburini & Dyer, 2019) Infrared reflectance (IRR) (Bläuer & Keller, 2020; Bradley et al., 2020; Dyer et al., 2013; Roberts, 2020) Near Infrared reflected images (NIR) (Gargano et al., 2022) Infrared (Cosentino, 2013) Infrared Photography (IRP) (Deleu et al., 2024) Infrared photography (Moon et al., 1992) Infra-red photography (van Asperen de Boer, 1969)
	Infrared Reflectography Reflectografía infrarroja (IRR)	Infra-red reflectography (van Asperen de Boer, 1969) Infrared reflectography (or an infrared reflectogram) (Kushel, 2011, 2017) IR reflectography (Cosentino, 2013) IRR (Cosentino, 2013)	
	Reflected Ultraviolet Imaging / *Imagen ultravioleta reflejada* (RUV or UVR)	Reflected ultraviolet photography (Kushel, 2011, 2017) UVR (Bradley et al., 2020; Cosentino, 2013; Dyer et al., 2013; Dyer & Newman, 2020; Gargano et al., 2022; Roberts, 2020; Tamburini & Dyer, 2019)	UV-induced UV reflectography (UV-R_{-UV}) (Rahrig et al., 2023) UV-reflected (UV-$R_{-UV\ 365}$) (Keller et al., 2019) UV reflected (Cosentino, 2013) Ultraviolet-reflected (Dyer & Newman, 2020; Gargano et al., 2022; Tamburini & Dyer, 2019) Ultraviolet reflectance (Bradley et al., 2020; Dyer et al., 2013; Roberts, 2020)
	Multiband Reflectance Imaging Subtraction / *Imagen de substracción de reflectancia multibanda* (MBR)	Multiband reflectance image subtraction (Bradley et al., 2020) Multiband reflectance (Dyer & Newman, 2020; Kriss et al., 2023) MBR (Bradley et al., 2020; Dyer & Newman, 2020; Kriss et al., 2023; Tamburini & Dyer, 2019)	Image subtraction (Webb et al., 2014) Multiband-reflected (Tamburini & Dyer, 2019)
Transmittance Mode / *Transmitancia*	Transmitted Visible Light Imaging / *Imagen de transiluminación* (TL or VT)	TL (Cosentino, 2013; Herrero-Cortell et al., 2020)	Trans-illumination (TI) (Cucci et al., 2012) Transmitted light (Cosentino, 2013; Herrero-Cortell et al., 2020) Transmitted illumination (Kushel, 2011, 2017)
	Transmitted Infrared Imaging / *Transirradiación infrarroja* (IRT or TIR)	Transmitted infrared photography (Kushel, 1985) Transmitted infrared digital photography (Kushel, 2011, 2017) IRT (Cucci et al., 2012; Herrero-Cortell et al., 2018, 2020)	Trans-irradiation (Cucci et al., 2012) Infrared transmitted (Herrero-Cortell et al., 2018, 2020) IR transmitted (IRTR) (Cosentino, 2013)
	Infrared Transmittography / *Transmitografía infrarroja* (IRRT)	Infrared transmittography (or transmitogram) (Kushel, 1985, 2011, 2017)	

(Table/*Tabla 2*, Continued in next page / *Continúa en la página siguiente*)

(Table/*Tabla 2*, Continued from previous page / *Continúa de la página anterior*)

Mode / *Modo*	Proposed Technique Name and Abbreviations / *Propuestas de nombres y abreviaturas de las técnicas*	Aligned Terminology and Abbreviations/ *Terminología alineada y abreviaturas*	Other Terminology and Abbreviations / *Otra terminología y abreviaturas*
Luminescence Mode Luminiscencia	Ultraviolet-Induced Visible Luminescence / *Luminiscencia visible inducida por radiación ultravioleta* (UVL or UV-VL)	Ultraviolet-induced visible luminescence (Dyer & Newman, 2020; Tamburini & Dyer, 2019) UVL (Dyer et al., 2013; Dyer & Newman, 2020; Tamburini & Dyer, 2019)	VIS-L_{-UV} (Rahrig et al., 2023) VIS-L_{-UV_365} (Keller et al., 2019) UV-induced visible fluorescence (UVF) (Chen & Smith, 2020; Kushel, 2011, 2017) Ultraviolet-induced visible fluorescence (UV–Vis) (Beckett & Shugar, 2022) Ultraviolet induced visible-fluorescence (Grant, 2000) UV-F (Pozeilov, 2023) Ultraviolet-induced luminescence (Dyer et al., 2013) Ultraviolet-induced visible (UVF) luminescence (Bradley et al., 2020) UV fluorescence (UVF) (Cosentino, 2013) Ultraviolet-induced luminescence (UIL) (Verri & Saunders, 2014) UVIVF (Pearlstein et al., 2015) Ultraviolet-excited visible fluorescence (UV/fluorescence) (Bridgeman & Gibson, 1963)
	Ultraviolet-Induced Infrared Luminescence / *Luminiscencia infrarroja inducida por radiación ultravioleta* (UVIL or UV-IL)	UV-induced IR luminescence (Keller et al., 2019)	IR-L_{-UV_365} (Keller et al., 2019)
	Visible-Induced Infrared Luminescence / *Luminiscencia infrarroja por radiación visible* (VIL or V-IL)	Visible-Induced infrared luminescence (Bradley et al., 2020; Chen & Smith, 2020; Dyer et al., 2013; Dyer & Newman, 2020; Kushel, 2011, 2017; Roberts, 2020) VIL (Bradley et al., 2020; Dyer et al., 2013; Dyer & Newman, 2020; Roberts, 2020)	IR-L_{-VIS} (Keller et al., 2019; Rahrig et al., 2023) Infrared luminescence (Kushel, 2017) Infrared fluorescence (IRF) (Bläuer & Keller, 2020; Cosentino, 2013; Herrero-Cortell et al., 2018) Visible-induced near-infrared luminescence (IRLUM) (Beckett & Shugar, 2022) IR-luminescence and blue-green-excited infrared fluorescence (Bridgeman & Gibson, 1963)
	Visible-Induced Visible Luminescence/ *Luminiscencia visible inducida por radiación visible* (VIVL or VIS-VL)	Visible-induced visible luminescence (VIVL) (Dyer et al., 2013; Dyer & Newman, 2020; Mayberger et al., 2020; Tamburini & Dyer, 2019)	Visible fluorescence induced by visible radiation (VIVF) (Gargano et al., 2022) VIS-L_{-VIS_430} [a] (Keller et al., 2019)
False Color Processing Procesado de falso color	False Color Infrared or Infrared False Color/ *Imagen ultravioleta de falso color* (FCIR or IRFC)	False-color infrared digital photography (Kushel, 2011, 2017) False-color infrared photography (Moon et al., 1992) Infrared false color (Gargano et al., 2022) Infrared false-colour (Bläuer & Keller, 2020) IR false color (Cosentino, 2013) IRFC (Bläuer & Keller, 2020; Cosentino, 2013; Gargano et al., 2022) FCIR (Bradley et al., 2020; Kushel, 2011, 2017)	Infrared-reflected false color (IRRFC) (Dyer et al., 2013, 2022; Roberts, 2020; Tamburini & Dyer, 2019) False-color infrared reflectance (Bradley et al., 2020)
	False Color UV or UV False Color / *Imagen ultravioleta de falso color* (FCUV or UVFC)	UV false color (Gargano et al., 2022) UV false-colour (Bläuer & Keller, 2020) FCUV (Bradley et al., 2020) UVFC (Bläuer & Keller, 2020; Gargano et al., 2022)	Reflected UV false color (no abbreviation) (Aldrovandi et al., 2005) Ultraviolet-reflected false-color (UVRFC) (Dyer et al., 2013, 2018; Dyer & Newman, 2020; Tamburini & Dyer, 2019) False-color reflected ultraviolet (Kushel, 2011, 2017) False-color ultraviolet reflectance (Bradley et al., 2020)

[a] Wavelength corresponding to emission spectral range of radiation source. *Longitud de onda correspondiente al rango espectral de emisión de la fuente de radiación.*

- *Visible light* (VIS) imaging records the appearance of an object as seen under standard viewing conditions (reflected light in the visible region, 400-700 nm) when the object is illuminated with visible light (Dyer & Newman, 2020; Kushel, 2017, p. 113). This describes visible light with normal illumination, but reflected visible light imaging can also include raking illumination and specular illumination (axial and oblique) (Chen & Smith, 2020; Kushel, 2017, pp. 116–121).

- *Reflected infrared* (IR or RIR) imaging records the reflected radiation[8] in the near infrared region (NIR, 700-1100 nm) under infrared radiation (Dyer & Newman, 2020). Following the terminology outlined by Kushel et al. (2017, pp. 131–132) *reflected infrared imaging* corresponds with imaging in the near infrared range (700-1100 nm) and the abilities of silicon-based sensors (CMOS and CCDs found in many consumer digital cameras), while *infrared reflectography* (IRR) corresponds to imaging further into the infrared region (see below for definition of IRR).

- *Infrared reflectography* (IRR) records the reflected radiation in the shortwave infrared region (SWIR, 1000-2500 nm) and requires the use of different solid state sensors (e.g., InGaAs, InSb, PbS, PtSi) (Kushel, 2017, p. 132). While infrared reflectography extends beyond the scope of this volume, it is important to include the terminology with this set of imaging techniques and differentiate it from reflected infrared imaging.

(2017, pp. 131–132), la imagen en infrarrojo reflejado se corresponde con la obtención de imágenes en el intervalo del infrarrojo cercano (700–1100 nm) y con las capacidades de los sensores de silicio (CMOS y CCD presentes en muchas cámaras digitales de consumo), mientras que la reflectografía infrarroja (IRR) se corresponde con la obtención de imágenes más allá en la región infrarroja (véase más abajo la definición de IRR).

- *Reflectografía infrarroja* (IRR): registra la radiación reflejada en la región del infrarrojo de onda corta (SWIR, 1000–2500 nm) y requiere el uso de distintos sensores de estado sólido (por ejemplo, InGaAs, InSb, PbS, PtSi) (Kushel, 2017, p. 132). Aunque la reflectografía infrarroja queda fuera del alcance de este volumen, es importante incluir su terminología junto con este conjunto de técnicas de imagen y diferenciarla de la imagen en infrarrojo reflejado.
- *Imagen Ultravioleta reflejada* (RUV or UVR): registra la radiación reflejada en la región ultravioleta bajo radiación ultravioleta (Dyer & Newman, 2020). Aún más que en el caso de la imagen en visible reflejado y en infrarrojo reflejado, la región o intervalo de la imagen en UV reflejado depende de la cámara y del objetivo utilizados. La obtención de imágenes en reflectancia en la región UVA puede realizarse con una cámara modificada y un objetivo estándar, pero las lentes suelen tener recubrimientos que limitan la transmisión del UV. Para las regiones UVB o UVC se necesitaría una cámara y un objetivo más especializados. Existen cuatro regiones de ultravioleta: UVA, UVB, UVC y UVD (Tabla 3). El UVA puede ser transmitido por algunos vidrios. Por ejemplo, el vidrio de ventana puede transmitir hasta aproximadamente 360 nm y algunos vidrios ópticos transmiten hasta 320 nm, de modo que para UVB o UVC sería necesaria una lente

[8] A note on light vs. radiation: Only visible light radiation (400-700 nm) is properly called "light", and ultraviolet and infrared are properly called "radiation" (Kushel, 2017, p. 152). For the purposes of formal discussion and publication, Kushel has suggested the use infrared or ultraviolet radiation instead of infrared or ultraviolet light and infrared or ultraviolet irradiation instead of infrared or ultraviolet illumination.

- *Reflected UV* (RUV or UVR) imaging records the reflected radiation in the ultraviolet region under ultraviolet radiation (Dyer & Newman, 2020). More so than reflected visible light and reflected infrared imaging, the region or range of reflected UV imaging is dependent on the camera and lens used. Reflected imaging in the UVA range can be done with a modified camera and standard lens, but lenses often have coatings that limit the transmission of UV. A more specialized camera and lens would be needed for the UVB or UVC ranges. There are four ultraviolet regions: UVA, UVB, UVC, and UVD (Table 3). UVA can be transmitted by some glasses. For example, window glass can transmit to about 360 nm and some optical glasses transmit down to 320 nm, so a quartz lens would be required for UVB or UVC (Kushel, 2017, p. 150). UVD is absorbed by air and is not used for conservation applications (Kushel, 2017, p. 150).

Table 3 | Ultraviolet Regions (Kushel, 2017, p. 150).

UV Region	Wavelength range	Other terminology
UVA	320-400 nm	Longwave, near ultraviolet, black lamp, Wood's lamp
UVB	280-320 nm	mid ultraviolet, middle wave ultraviolet)
UVC	185-280 nm	shortwave ultraviolet and germicidal ultraviolet
UVD	10-185 nm	vacuum ultraviolet

- *Multiband reflectance imaging subtraction* (MBR) records the difference of two reflectance images taken in two different wavelength ranges resulting in a map of the reflectance of a specific colorant (Dyer & Newman, 2020; Kriss et al., 2023). As clearly described by Kriss et al., the technique "visualizes materials that have a difference in reflectance across defined spectral bands, creating a map of these materials on an object's surface" (2023, p. 2).

de cuarzo (Kushel, 2017, p. 150). El UVD es absorbido por el aire y no se utiliza para aplicaciones de conservación (Kushel, 2017, p. 150).

Tabla 3 | Regiones Ultravioleta (Kushel, 2017, p. 150).

UV Region	*Rango de longitud de onda*	*Otra terminología*
UVA	*320-400 nm*	*Ultravioleta de onda larga, ultravioleta cercano, lámpara de luz negra, lámpara*
UVB	*280-320 nm*	*Ultravioleta medio, ultravioleta de onda media*
UVC	*185-280 nm*	*Ultravioleta de onda corta y ultravioleta germicida*
UVD	*10-185 nm*	*Ultravioleta de vacío*

- *Imagen de substracción de reflectancia multibanda* (MBR): registra la diferencia entre dos imágenes de reflectancia tomadas en dos intervalos de longitud de onda distintos, dando como resultado un mapa de la reflectancia de un colorante específico (Dyer & Newman, 2020; Kriss et al., 2023). Tal como describen con claridad Kriss et al., la técnica "visualiza materiales que presentan una diferencia en la reflectancia entre bandas espectrales definidas, creando un mapa de estos materiales sobre la superficie de un objeto" (2023, p. 2). La técnica se ha utilizado para el mapeo del índigo, ya que este material presenta una diferencia significativa en la reflectancia en el intervalo visible y en el infrarrojo cercano.[9]

Imágenes de transmitancia

Las imágenes adquiridas en modo de transmitancia se definen como aquellas en las que el objeto es iluminado o irradiado desde el lado opuesto a la posición de observación, y la imagen registra la luz o radiación que es capaz de atravesar el objeto (Kushel,

[9] Aunque MBR se utiliza para mapear índigo, otros materiales azules (por ejemplo, lapislázuli y ultramar, azules que contienen cobalto y azul egipcio, en menor medida) responden de manera similar, así que existen limitaciones para la técnica (Bradley et al., 2020). Bradley et al. enfatizan la importancia del conocimiento del contexto histórico del objeto y la corroboración con otras técnicas de imagen y análisis.

The technique has been used for mapping indigo because the material has a significant difference in the reflectance in the visible and near-infrared range.[9]

Transmittance Imaging Techniques

Images acquired in transmittance mode are defined as images where the object is illuminated or irradiated from the side opposite the viewing position, and the image records the light or radiation that is able to pass through the object (Kushel, 2017, p. 121). Similar to reflectance imaging the wavelength range emitted from the radiation source is the same as the wavelength range being recorded by the camera. These techniques include transmitted visible light (TL or VT) imaging, transmitted infrared (IRT or TIR) imaging, and infrared transmittography (IRRT).[10]

- *Transmitted visible light imaging* (TL or VT) records the visible light that is able to pass through the object (transmitted light in the visible region, 400-700 nm) when the object is illuminated with visible light, or visible light trans-illumination.

- *Transmitted infrared imaging* (IRT or TIR) records the transmitted radiation that is able to pass through the object in the near infrared region (700-1100 nm) when an object is irradiated with infrared radiation, or infrared trans-irradiation. Similar to *reflected infrared imaging*, *transmitted infrared imaging* corresponds imaging in the near infrared range (NIR, 700-1100 nm) and the abilities of

[9] While MBR is used for mapping indigo, other blue materials (e.g., lapis lazuli and ultramarine, cobalt-containing blues, and Egyptian blue, to a lesser extend) respond similarly, so there are limitations to the technique (Bradley et al., 2020). Bradley et al. emphasize the importance of knowledge about the object's historical context and corroboration by other imaging and analysis.

[10] TI has been used as the abbreviation for transillumination (Cucci et al., 2012), but this can lead to confusion since TI could stand for transmitted imaging, trans-illumination or trans-irradiation.

2017, p. 121). De forma análoga a la imagen en reflectancia, el intervalo de longitudes de onda emitido por la fuente de radiación es el mismo que el intervalo de longitudes de onda registrado por la cámara. Estas técnicas incluyen la imagen en luz visible transmitida (TL o VT), la imagen en infrarrojo transmitido (IRT o TIR) y la transmitografía infrarroja (IRRT).[10]

- *Transiluminación o imagen visible transmitida* (TL or VT): registra la luz visible que es capaz de atravesar el objeto (luz transmitida en la región visible, 400–700 nm) cuando el objeto se ilumina con luz visible, es decir, iluminación por luz visible transmitida.
- *Transirradiación infrarroja o imagen infrarroja transmitida* (IRT or TIR): registra la radiación transmitida que es capaz de atravesar el objeto en la región del infrarrojo cercano (700–1100 nm) cuando el objeto es irradiado con radiación infrarroja, es decir, transirradiación infrarroja. De forma similar a la imagen en infrarrojo reflejado, la imagen en infrarrojo transmitido se corresponde con la obtención de imágenes en el intervalo del infrarrojo cercano (NIR, 700–1100 nm) y con las capacidades de los sensores de silicio (CMOS y CCD presentes en muchas cámaras digitales de consumo) (Kushel, 2017, p. 132).[11]
- Transmitografía infrarroja (IRRT) registra la radiación infrarroja transmitida que es capaz de atravesar el objeto más allá de la región del infrarrojo cercano (1000–2500 nm) (Kushel, 2017). De forma similar a la reflectografía

[10] TI se ha utilizado como abreviatura de transiluminación (Cucci et al., 2012), pero esto puede llevar a confusión, ya que TI podría significar imagen transmitida, trans-iluminación o trans-irradiación.

[11] Trans-irradiation se ha utilizado para referirse a imagen IR transmitida (Cucci et al., 2012); sin embargo, trans-irradiation podría usarse técnicamente para cualquier tipo de radiación, incluida la imagen de luz visible transmitida, por lo que no es específica de la radiación infrarroja. Aunque trans-irradiation puede emplearse para describir la fuente de radiación en la imagen IR transmitida, se recomienda no usar trans-irradiation como nombre de la técnica.

silicon-based sensors (CMOS and CCDs found in many consumer digital cameras) (Kushel, 2017, p. 132).[11]

- *Infrared transmittography* (IRRT) records the transmitted infrared radiation that is able to pass through the object beyond the near infrared region (1000 – 2500 nm) (Kushel, 2017). Similar to infrared reflectography, infrared transmittography requires specialized sensors with sensitivity in the SWIR.

Luminescence Imaging Techniques

Images acquired in luminescence mode are defined as images where the wavelength range emitted from the radiation source differs from the wavelength range recorded by the camera. Following with the terminology outlined in the first volume of the *Conservation 360°* series 'luminescence' will also be the term of choice for this publication instead of 'fluorescence' (Picollo et al., 2019, p. 14).[12] These techniques include ultraviolet-induced visible luminescence (UVL or UV-VL) imaging, ultraviolet-induced infrared luminescence (UVIL or UV-IL), visible-induced infrared luminescence (VIL or V-IL) imaging, and visible-induced visible luminescence (VIVL or VIS-VL) imaging.

infrarroja, la transmitografía infrarroja requiere sensores especializados con sensibilidad en el SWIR.

Imágenes de luminiscencia

Las imágenes adquiridas en modo de luminiscencia se definen como aquellas en las que el intervalo de longitudes de onda emitido por la fuente de radiación difiere del intervalo de longitudes de onda registrado por la cámara. Siguiendo la terminología expuesta en el primer volumen de la serie Conservation 360°, en esta publicación también se utilizará el término "luminiscencia" en lugar de "fluorescencia" (Picollo *et al.*, 2019, p. 14).[12] Estas técnicas incluyen la imagen de luminiscencia visible inducida por ultravioleta (UVL o UV-VL), la luminiscencia infrarroja inducida por ultravioleta (UVIL o UV-IL), la luminiscencia infrarroja inducida por visible (VIL o V-IL) y la luminiscencia visible inducida por visible (VIVL o VIS-VL).

- *Luminiscencia visible inducida por radiación ultravioleta* (UVL or UV-VL): registra la emisión de luz en la región visible (400–700 nm) cuando el objeto es irradiado con radiación ultravioleta (Dyer & Newman, 2020). Algunos materiales absorben la radiación UV y la reemiten en forma de longitudes de onda más largas que pueden observarse en la región visible como luminiscencia. El color de la luminiscencia puede ayudar en la visualización, localización espacial y diferenciación de materiales.[13] Entre los materiales luminiscentes se

[11] Trans-irradiation has been used to reference transmitted IR imaging (Cucci et al., 2012); however, trans-irradiation could technically be used for any type of radiation including transmitted visible light imaging, so it is not specific to infrared radiation. While trans-irradiation can be used for describing the radiation source for the transmitted IR imaging, we would recommend not using trans-irradiation for the technique name.

[12] Fluorescence has historically been used in cultural heritage to reference the emission of visible radiation by a material irradiated by ultraviolet radiation. However, as detailed by Bacci (2019) luminescence is the more general term of which fluorescence and phosphorescence are subsets. Additionally, Verri et al. (2008) indicated that in most instances the lifetime of the emission is unknown, therefore, luminescence is the most appropriate term for what is being referenced in this publication.

[12] Fluorescencia se ha utilizado históricamente en patrimonio cultural para referirse a la emisión de radiación visible por un material irradiado con radiación ultravioleta. Sin embargo, como detalla Bacci (2019), luminiscencia es el término más general, del cual fluorescencia y fosforescencia son subconjuntos. Además, Verri et al. (2008) indicaron que en la mayoría de los casos se desconoce la duración temporal de la emisión; por lo tanto, luminiscencia es el término más apropiado para lo que se está describiendo en esta publicación.

[13] Una nota sobre diferenciar, identificar y caracterizar, dado que el uso y definición de estos términos no son consistentes entre las aplicaciones de imagen en conservación y la espectroscopía y campos científicos relacionados.

- *Ultraviolet-induced visible luminescence* (UVL or UV-VL) imaging records the emission of light in the visible region (400-700 nm) when the object is irradiated with ultraviolet radiation (Dyer & Newman, 2020). Some materials absorb UV radiation and reemit it as longer wavelengths that can be observed in the visible region as luminescence. The color of the luminescence can aid in the visualization, spatial localization, and differentiation[13] of materials. Examples of luminescent materials include some organic binders and colorants, varnishes, coatings, and adhesives. Different UV regions can be used to irradiate objects and materials (UVA, UVB, and UVC) providing different opportunities for visualizing and differentiating materials.

- *Ultraviolet-induced infrared luminescence* (UVIL or UV-IL) imaging records the emission of radiation in the infrared region (700-1100 nm) when the object is irradiated with ultraviolet radiation. This technique can be used to map the distribution of cadmium pigments and to differentiate rutile and anatase titanium white (Keller et al., 2019).

- *Luminiscencia infrarroja inducida por radiación ultravioleta* (UVIL or UV-IL): registra la emisión de radiación en la región infrarroja (700–1100 nm) cuando el objeto es irradiado con radiación ultravioleta. Esta técnica puede emplearse para mapear la distribución de pigmentos de cadmio y para diferenciar el blanco de titanio en sus formas rutilo y anatasa (Keller et al., 2019).

- *Luminiscencia infrarroja inducida por radiación visible* (VIL or V-IL): registra la emisión de radiación en la región infrarroja (700–1100 nm) cuando el objeto se ilumina con luz visible (Dyer & Newman, 2020). Esta técnica se utiliza para mapear la distribución de algunos materiales que se sabe que presentan encuentran algunos aglutinantes y colorantes orgánicos, barnices, recubrimientos y adhesivos. Pueden utilizarse diferentes regiones del UV para irradiar objetos y materiales (UVA, UVB y UVC), ofreciendo distintas posibilidades para visualizar y diferenciar materiales.

[13] A note on differentiate, identify, and characterize as the use and definition of these are not consistent between conservation imaging applications and spectroscopy and related scientific fields.

- Differentiate: to distinguish (discrimination) between two materials that appear similar but have different characteristics, e.g., compositional or textural characteristics (thus at the chemical or physical level, respectively).
- Identify: to define the material analyzed with analytical techniques. For example, identify the unknown pigment as azurite by typical spectroscopic features (near- and/or mid-infrared absorption bands; typical signals of a crystalline substance in X diffractograms, Raman peaks, etc.).
- Characterize: to deepen the knowledge of the material beyond its identification. Define the chemical and physical characteristics of the material to have information for its characterization. For example, for a pigment, in addition to knowing that it is azurite, characterization is done to have information on trace elements present, morphological characteristics, etc. that can define its origin or the type of processing it has had.

While MBI can be used for differentiating materials, it cannot be used for material identification and characterization based on these definitions. Materials may have characteristic appearance using some MBI techniques or characteristic behaviors responding to different wavelengths. MBI results may provide information about a material's identification, but this would need to be confirmed with analytical techniques.

- Diferenciar: distinguir (discriminación) entre dos materiales que parecen similares pero tienen características diferentes, por ejemplo, características compositivas o texturales (por tanto, a nivel químico o físico, respectivamente).
- Identificar: definir el material analizado mediante técnicas analíticas. Por ejemplo, identificar un pigmento desconocido como azurita mediante características espectroscópicas típicas (bandas de absorción en el infrarrojo cercano y/o medio; señales típicas de una sustancia cristalina en difractogramas de rayos X, picos Raman, etc.).
- Caracterizar: profundizar en el conocimiento del material más allá de su identificación. Definir las características químicas y físicas del material para disponer de información para su caracterización. Por ejemplo, para un pigmento, además de saber que es azurita, la caracterización se realiza para obtener información sobre elementos traza presentes, características morfológicas, etc., que puedan definir su origen o el tipo de procesado que ha tenido.

Aunque MBI puede usarse para diferenciar materiales, no puede usarse para la identificación y caracterización de materiales según estas definiciones. Los materiales pueden tener una apariencia característica mediante algunas técnicas MBI o comportamientos característicos al responder a distintas longitudes de onda. Los resultados de MBI pueden proporcionar información sobre la identificación de un material, pero esto debería confirmarse mediante técnicas analíticas.

- *Visible-induced infrared luminescence* (VIL or V-IL) imaging records the emission of radiation in the infrared region (700-1100 nm) when the object is illuminated with visible light (Dyer & Newman, 2020). This technique is used to map the distribution of a few materials known to display this property, Egyptian blue (Dyer & Sotiropoulou, 2017; Verri, 2008, 2009a), Han blue and purple (Verri, 2009b), and red and yellow cadmium pigments (Bridgeman & Gibson, 1963; Cosentino, 2016; Kushel, 2017). It has also been used to detect condition issues on paper support (Chen & Smith, 2020) and faded ink (Davidhazy, 2008).

- *Visible-induced visible luminescence* (VIVL or VIS-VL) imaging records the emission of radiation in a portion of the visible region when the object is illuminated with visible light. As noted by Dyer & Newman (2020), a VIVL image corresponds in many ways to a UVL, but restricting the emission range makes VIVL useful for the mapping of certain yellow and red lake pigments (Dyer et al., 2018; Dyer & Sotiropoulou, 2017; Radpour et al., 2021).

False Color Image Processing

False color images are created by combining greyscale images into different color channels and this allows the viewing of features from each of the individual images as a single, combined image (Jones et al., 2020). The most common false color processing techniques are false color infrared (FCIR or IRFC) and false color UV (FCUV or UVFC).[14]

- *False color infrared* (FCIR or IRFC) images are created by combining reflected IR images with reflected VIS images. Some colorants

[14] This volume includes the introduction of new false color techniques (Raïch et al., 2025; Sharma, 2025). Since these are new techniques and not widely used, they are not included in this list of false color techniques.

esta propiedad, como el azul egipcio (Dyer & Sotiropoulou, 2017; Verri, 2008, 2009a), los azules y morados Han (Verri, 2009b) y los pigmentos de cadmio rojos y amarillos (Bridgeman & Gibson, 1963; Cosentino, 2016; Kushel, 2017). También se ha utilizado para detectar problemas de conservación en soportes de papel (Chen & Smith, 2020) y tinta desvanecida (Davidhazy, 2008).

- *Luminiscencia visible inducida por radiación visible* (VIVL or VIS-VL):registra la emisión de radiación en una parte de la región visible cuando el objeto se ilumina con luz visible. Como señalan Dyer & Newman (2020), una imagen VIVL se corresponde en muchos aspectos con una UVL, pero la restricción del intervalo de emisión hace que la VIVL sea útil para el mapeo de ciertos pigmentos lacados amarillos y rojos (Dyer et al., 2018; Dyer & Sotiropoulou, 2017; Radpour et al., 2021).

Imágenes procesadas de Falso Color

Las imágenes en falso color se crean combinando imágenes en escala de grises en distintos canales de color, lo que permite visualizar en una sola imagen combinada las características procedentes de cada una de las imágenes individuales (Jones *et al.*, 2020). Las técnicas de procesado en falso color más habituales son el infrarrojo en falso color (FCIR o IRFC) y el ultravioleta en falso color (FCUV o UVFC).[14]

- *Imágenes infrarrojas de falso color* (FCIR or IRFC): se generan combinando imágenes de infrarrojo reflejado con imágenes de visible reflejado. Algunos colorantes y pigmentos presentan apariencias características en falso

[14] Este volumen incluye la introducción de nuevas técnicas de falso color (Raïch *et al.*, 2025; Sharma, 2025). Puesto que son técnicas nuevas y no ampliamente utilizadas, no se incluyen en esta lista de técnicas de falso color.

and pigments have characteristic appearances in false color, so these images can be useful for tentative identification that would need to be confirmed by another analytical technique (Dyer & Newman, 2020). FCIR can be used to visualize, spatially locate, and differentiate materials and material characteristics (Kecskeméti & Seppälä 2006; Aguilar-Téllez et al., 2014; Kushel, 2017; Moon et al., 1992) and reveal past conservation treatments (Dyer et al., 2018).

- *False color ultraviolet* (FCUV or UVFC) images are created by combining reflected UV images with reflected VIS images. FCUV can be used to visualize, spatially locate, and differentiate materials and material characteristics (Aldrovandi et al., 2005; Kushel, 2017), distinguish pigments (Cosentino, 2016), and reveal past conservation treatments (Dyer et al., 2018).

Conclusions

Multiband imaging techniques are being widely used and there is a range of terminology that is being used for similar techniques within conservation applications. This can present challenges to understanding what is being discussed or presented. Terminology has long been a challenge and the call to have shared terms and more standardized terminology is nothing new. This chapter aimed to discuss and define terminology around multiband imaging including presenting past and current terms and suggesting shared terms.

Acknowledging the complexities and challenges of establishing and adopting shared terminology and abbreviations, it is strongly recommended to clearly define terminology and abbreviations at the

color, de modo que estas imágenes pueden resultar útiles para una identificación tentativa que deberá confirmarse mediante otra técnica analítica (Dyer & Newman, 2020). El FCIR puede utilizarse para visualizar, localizar espacialmente y diferenciar materiales y características materiales (Kecskeméti & Seppälä 2006; Aguilar-Téllez et al., 2014; Kushel, 2017; Moon et al., 1992), así como para revelar intervenciones de conservación anteriores (Dyer et al., 2018).

- *Imágenes ultravioletas de falso color* (FCUV or UVFC): se generan combinando imágenes de UV reflejado con imágenes de visible reflejado. El FCUV puede utilizarse para visualizar, localizar espacialmente y diferenciar materiales y características materiales (Aldrovandi et al., 2005; Kushel, 2017), distinguir pigmentos (Cosentino, 2016) y revelar intervenciones de conservación anteriores (Dyer et al., 2018).

Conclusiones

Las técnicas de imagen multibanda se utilizan de forma muy amplia y existe una variedad de terminología que se emplea para técnicas similares dentro de las aplicaciones de conservación. Esto puede suponer un reto a la hora de comprender qué se está discutiendo o presentando. La terminología ha constituido un problema desde hace tiempo, y la llamada a disponer de términos compartidos y una terminología más estandarizada no es en absoluto nueva. Este capítulo ha tenido como objetivo discutir y definir la terminología en torno a la imagen multibanda, incluyendo la presentación de términos pasados y actuales y la propuesta de términos compartidos.

start of a paper or presentation to ensure the clarity of the techniques being presented. Including specific information like wavelength range emitted by the radiation sources and the wavelength range recorded by the camera will further define and clarify the techniques. Tables offer a quick way to present this information both as a record of the work being presented and as a reference to the community.

While we would like to encourage the use of this terminology, it is recognized that this is not a final or perfect solution for everyone and everything, but it is hoped that this offers a resource for the community and that this can be used for the continued efforts to work towards shared terminology. There is going to be continued development within conservation and cultural heritage imaging which means the introduction of new techniques, so the list of terms and abbreviations will continue to grow and evolve.

Reconociendo la complejidad y las dificultades que implica establecer y adoptar una terminología y unas abreviaturas compartidas, se recomienda encarecidamente definir con claridad la terminología y las abreviaturas al inicio de un artículo o de una presentación, para garantizar la claridad de las técnicas que se presentan. La inclusión de información específica, como el intervalo de longitudes de onda emitido por las fuentes de radiación y el intervalo de longitudes de onda registrado por la cámara, contribuirá a definir y clarificar aún más las técnicas. Las tablas ofrecen un modo rápido de presentar esta información, tanto como registro del trabajo que se expone como referencia para la comunidad.

Si bien nos gustaría fomentar el uso de esta terminología, se reconoce que no se trata de una solución definitiva o perfecta para todas las personas y todos los casos, pero se espera que ofrezca un recurso para la comunidad y que pueda emplearse en los esfuerzos continuados por trabajar hacia una terminología compartida. Es previsible que continúe habiendo desarrollos en el ámbito de la imagen aplicada a la conservación y al patrimonio cultural, lo que implica la introducción de nuevas técnicas, de modo que la lista de términos y abreviaturas seguirá creciendo y evolucionando.

References | Bibliografía

Aguilar-Téllez, D. M., Ruvalcaba-Sil, J. L., Claes, P., & González-González, D. (2014). False Color and Infrared Imaging for the Identification of Pigments in Paintings. *MRS Proceedings*, *1618*, 3–15. https://doi.org/10.1557/opl.2014.451

Aldrovandi, A., Buzzegoli, E., Keller, A., & Kunzelman, D. (2005). Investigation of Painted Surfaces with a Reflected UV False Color Technique. *Art '05 - 8th International Conference on "Non Destructive Investigations and Microanalysis for the Diagnostics and Conservation of the Cultural and Environmental Heritage*, 1–19.

Allen, E. (2011). Introduction to the imaging process. In E. Allen & S. Triantaphillidou (Eds.), *The Manual of Photography* (10th Ed., pp. 1–18). Focal Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-240-52037-7.10001-8

Bacci, M. (2019). Hints on the Luminescence Phenomena Theory. In M. Picollo, M. Stols-Witlox, & L. Fuster López (Eds.), *CONSERVATION 360°, UV-Vis Luminescence: Imaging Techniques* (Vol. 1, pp. 29–34). Universitat Politècnica de València. https://doi.org/10.4995/360.2019.110002

Beckett, F., & Shugar, A. (2022). Following the Light: Use of Multimodal Imaging and Fiber Optic Spectroscopy to Evaluate Aging in Daylight Fluorescent Artists' Pigments. *Colorants*, *1*(2), 208–225. https://doi.org/10.3390/colorants1020013

Bläuer, C., & Keller, A. T. (2020). Mainly red and a hidden blue – Laboratory and MSI investigations on the Carolingian wall paintings in the Chapel of the Holy Cross of Müstair (Switzerland). *Journal of Cultural Heritage*, *42*, 72–80. https://doi.org/10.1016/j.culher.2019.07.024

Bradley, L., Ford, J., Kriss, D., Schussler, V., Pozzi, F., Basso, E., & Bruno, L. (2020). Evaluating Multiband Reflectance Image Subtraction for the Characterization of Indigo in Romano-Egyptian Funerary Portraits. In M. Svoboda & C. R. Cartwright (Eds.), *Mummy Portraits of Roman Egypt: Emerging Research from the APPEAR Project* (1st ed.). Getty Publications. https://doi.org/10.2307/jj.6142266.12

Bridgeman, C. F., & Gibson, H. L. (1963). Infrared Luminescence in the Photographic Examination of Paintings and Other Art Objects. *Studies in Conservation*, *8*(3), 77–83. https://doi.org/10.1179/sic.1963.012

Chen, J. J., & Smith, T. J. (2020). Documentation of Salted Paper Prints with a Modified Digital Camera. *Journal of the American Institute for Conservation*, *59*(3–4), 271–285. https://doi.org/10.1080/01971360.2019.1643527

Cosentino, A. (2013). A Practical Guide to Panoramic Multispectral Imaging. *E-Conservation*, *25*, 76–85.

Cosentino, A. (2015). Effects of Different Binders on Technical Photography and Infrared Reflectography of 54 Historcal Pigments. *International Journal of Conservation Science*, *6*(3), 287–298.

Cosentino, A. (2016). Infrared Technical Photography for Art Examination. *E-Preservation Science*, *13*, 1–6.

Cosentino, A., Gil, M., Ribeiro, M., & Mauro, R. D. (2014). Technical photography for mural paintings: The newly discovered frescoes in Aci Sant'Antonio (Sicily, Italy). *Conservar Património*, *20*, 23–33. https://doi.org/10.14568/cp2015001

Cucci, C., Delaney, J. K., & Picollo, M. (2016). Reflectance Hyperspectral Imaging for Investigation of Works of Art: Old Master Paintings and Illuminated Manuscripts. *Accounts of Chemical Research*, *49*(10), 2070–2079. https://doi.org/10.1021/acs.accounts.6b00048

Cucci, C., Picollo, M., & Vervat, M. (2012). Trans-illumination and trans-irradiation with digital cameras: Potentials and limits of two imaging techniques used for the diagnostic investigation of paintings. *Journal of Cultural Heritage*, *13*(1), 83–88. https://doi.org/10.1016/j.culher.2011.07.002

Cucci, C., Webb, E. K., Casini, A., Ginanni, M., Prandi, E., Stefani, L., Vitorino, T., & Picollo, M. (2019). Short-wave infrared reflectance hyperspectral imaging for painting investigations: A methodological study. *Journal of the American Institute for Conservation*, *58*(1–2), 16–36. https://doi.org/10.1080/01971360.2018.1543102

Davidhazy, A. (2008). *The infrared luminescence technique for document examination and forgery analysis*. https://repository.rit.edu/article/484

de la Rie, E. R. (1982). Fluorescence of paint and varnish layers (Part 1). *Studies in Conservation*, *27*(1), 1–7. https://doi.org/10.1179/sic.1982.27.1.1

Delaney, J. K., Dooley, K. A., Radpour, R., & Kakoulli, I. (2017). Macroscale multimodal imaging reveals ancient painting production technology and the vogue in Greco-Roman Egypt. *Scientific Reports*, *7*(1), 15509. https://doi.org/10.1038/s41598-017-15743-5

Deleu, N., Hillen, M., Steenackers, G., Borms, G., Janssens, K., Van Der Stighelen, K., & Van Der Snickt, G. (2024). Combined macro X-ray fluorescence (MA-XRF) and pulse phase thermography (PPT) imaging for the technical study of panel paintings. *Talanta*, *270*, 125533. https://doi.org/10.1016/j.talanta.2023.125533

Dyer, J., Verri, G., & Cupitt, J. (2013). *Multispectral Imaging in Reflectance and Photo-induced Luminescence modes: A User Manual*. The British Museum.

Dyer, J., & Sotiropoulou, S. (2017). A technical step forward in the integration of visible-induced luminescence imaging methods for the study of ancient polychromy. *Heritage Science*, *5*(1), 24. https://doi.org/10.1186/s40494-017-0137-2

Dyer, J., Tamburini, D., O'Connell, E. R., & Harrison, A. (2018). A multispectral imaging approach integrated into the study of Late Antique textiles from Egypt. *PLOS ONE*, *13*(10), e0204699. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0204699

Dyer, J., & Newman, N. (2020). Multispectral Imaging Techniques Applied to the Study of Romano-Egyptian Funerary Portraits at the British Museum. In M. Svoboda & C. R. Cartwright (Eds.), *Mummy Portraits of Roman Egypt: Emerging Research from the APPEAR Project* (1st ed.). Getty Publications. https://doi.org/10.2307/jj.6142266.11

Dyer, J., Derham, A., O'Flynn, D., Tamburini, D., Heady, T., & Ramos, I. (2022). Studying Saraha: Technical and Multi-Analytical Investigation of the Painting Materials and Techniques in an 18th Century Tibetan Thangka. *Heritage*, *5*(4), 2851–2880. https://doi.org/10.3390/heritage5040148

Editorial. (1963). *Studies in Conservation*, *8*(3), iii–iv. https://doi.org/10.1179/sic.1963.011

Faries, M. (2003). Technical Studies of Early Netherlandish Painting: A Critical Overview of Recent Developments. In M. Faries & R. Spronk (Eds.), *Recent developments in the technical examination of early Netherlandish painting: Methodology, limitations & perspectives* (pp. 1–37). Harvard University Art Museums. https://doi.org/10.1484/M.MAC-EB.3.1800

Gargano, M., Longoni, M., Pesce, V., Palandri, M. C., Canepari, A., Ludwig, N., & Bruni, S. (2022). From Materials to Technique: A Complete Non-Invasive Investigation of a Group of Six Ukiyo-E Japanese Woodblock Prints of the Oriental Art Museum E. Chiossone (Genoa, Italy). *Sensors*, *22*(22), 8772. https://doi.org/10.3390/s22228772

Gibson, A., Piquette, K. E., Bergmann, U., Christens-Barry, W., Davis, G., Endrizzi, M., Fan, S., Farsiu, S., Fitzgerald, A., Griffiths, J., Jones, C., Li, G., Manning, P. L., Maughan Jones, C., Mazza, R., Mills, D., Modregger, P., Munro, P. R. T., Olivo, A., … Terras, M. (2018). An assessment of multimodal imaging of subsurface text in mummy cartonnage using surrogate papyrus phantoms. *Heritage Science*, *6*(1), 7. https://doi.org/10.1186/s40494-018-0175-4

Grant, M. S. (2000). *The Use of Ultraviolet Induced Visible-Fluorescence in the Examination of Museum Objects, Part I* (Conserv O Gram). National Park Service. https://www.nps.gov/museum/publications/conserveogram/01-09.pdf

Herrero-Cortell, M. A., Artoni, P., & Raïch, M. (2020). Transmitted light imaging in VIS and IR, in the study of paintings: A brief report on the behavior of the main historical pigments. *Cultura e Scienza Del Colore - Color Culture and Science Journal*, *12*(2), 79–88. https://doi.org/10.23738/CCSJ.120210

Herrero-Cortell, M. A., Raïch, M., Artoni, P., & Puig, I. (2018). Multi-band technical imaging in the research of the execution of paintings. The case study of the portrait of Carlos IV, by Francisco de Goya. *Ge-Conservación*, *14*, 5–15. https://doi.org/10.37558/gec.v14i1.583

Herrero-Cortell, M.A, Hirsch, S., & Webb, K.E. (2025). Multiband Images in the Heritage Field: Past and Present. In Herrero-Cortell, M.A., Webb, E.K, & Picollo, M. (eds.). (2025). *Multiband imaging techniques. Conservation 360°*, (4), 190-239.

Integrating Imaging and Analytical Technologies for Conservation Practice: Report of an Experts Meeting held September 10-12, 2013. (2013). Getty Conservation Institute. https://www.getty.edu/conservation/our_projects/imaging_experts_mtg_rep.pdf

IS&T History. (2023). [About Us]. Society for Imaging Science and Technology. https://www.imaging.org/IST/IST/About/About.aspx

Jones, C., Duffy, C., Gibson, A., & Terras, M. (2020). Understanding multispectral imaging of cultural heritage: Determining best practice in MSI analysis of historical artefacts. *Journal of Cultural Heritage*, *45*, 339–350. https://doi.org/10.1016/j.culher.2020.03.004

Kakoulli, I., Radpour, R., Lin, Y., Svoboda, M., & Fischer, C. (2017). Application of forensic photography for the detection and mapping of Egyptian blue and madder lake in Hellenistic polychrome terracottas based on their photophysical properties. *Dyes and Pigments*, *136*, 104–115. https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2016.08.030

Keller, A. T., Lenz, R., Artesani, A., Mosca, S., & Nevin, A. (2019). Exploring the Ultraviolet Induced Infrared Luminescence of Titanium White Pigments. In M. Picollo, M. Stols-Witlox, & L. Fuster López (Eds.), *UV-Vis Luminescence Imaging techniques* (Vol. 1, pp. 201–232). Editorial Universitat Politècnica de València.

Kecskeméti, I., & Seppälä, M. (2006). False-colour Infrared (FCIR) Imaging: An Inexpensive Method for Identifying Iron-gall Ink by Standard Digital Camera. *Papier Restaurierung*, *7*(1), 18–23. https://doi.org/10.1080/15632628.2006.12461857

Kriss, D., Schussler, V., Driscoll, E., Bradley, L., Ford, J., Pozzi, F., & Basso, E. (2023). Materials Characterization with Multiband Reflectance Imaging at the Brooklyn Museum: A New Tool for the Multiband Imaging Kit. *Journal of the American Institute for Conservation*, 1–18. https://doi.org/10.1080/01971360.2023.2168430

Kushel, D. (1985). Applications of Transmitted Infrared Radiation to the Examination of Artifacts. *Studies in Conservation*, *30*(1), 1–10. https://doi.org/10.1179/sic.1985.30.1.1

Kushel, D. (2011). Photographic Techniques for Conservation. In J. Warda (Ed.), *The AIC Guide to Digital Photography and Conservation Documentation* (2nd ed., pp. 109–171). American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works.

Kushel, D. (2017). Photographic Techniques for Conservation. In J. Warda (Ed.), *The AIC Guide to Digital Photography and Conservation Documentation* (3rd ed., pp. 109–171). American Institute for Conservation.

MacDonald-Korth, E. (2023). Technical Imaging for Private Practice Conservators. *Journal of the American Institute for Conservation*, 1–14. https://doi.org/10.1080/01971360.2022.2161865

Mayberger, E., Arista, J., Svoboda, M., & Gleeson, M. (2020). Invisible Brushstrokes Revealed: Technical Imaging and Research of Romano-Egyptian Mummy Protraits. In M. Svoboda & C. R. Cartwright (Eds.), *Mummy Portraits of Roman Egypt: Emerging Research from the APPEAR Project* (1st ed., pp. 79–89). Getty Publications. https://doi.org/10.2307/jj.6142266.13

Moon, T., Schilling, M. R., & Thirkettle, S. (1992). A Note on the Use of False-Color Infrared Photography in Conservation. *Studies in Conservation*, *37*(1), 42. https://doi.org/10.2307/1506436

Pearlstein, E., Hughs, M., Mazurek, J., McGraw, K., Pesme, C., Riedler, R., & Gleeson, M. (2015). Ultraviolet-Induced Visible Fluorescence and Chemical Analysis as Tools for Examining Featherwork. *Journal of the American Institute for Conservation*, *54*(3), 149–167. https://doi.org/10.1179/1945233015Y.0000000010

Picollo, M., Stols-Witlox, M., & Fuster López, L. (Eds.). (2019). *CONSERVATION 360°, UV-Vis Luminescence: Imaging Techniques* (Vol. 1). Universitat Politècnica de València. https://doi.org/10.4995/360.2019.110002

Pozeilov, Y. (2023). A Simple Ultraviolet-induced Visible Fluorescence Target or a Low Cost Alternative to a Spectralon. *Archiving 2023: Final Program and Proceedings*, *20*, 116–120. https://doi.org/10.2352/issn.2168-3204.2023.20.1.25

Radpour, R., Fischer, C., & Kakoulli, I. (2021). A 3D modeling workflow to map ultraviolet- and visible-induced luminescent materials on ancient polychrome artifacts. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, *23*, e00205. https://doi.org/10.1016/j.daach.2021.e00205

Rahrig, M., Herrero Cortell, M. Á., & Lerma, J. L. (2023). Multiband Photogrammetry and Hybrid Image Analysis for the Investigation of a Wall Painting by Paolo de San Leocadio and Francesco Pagano in the Cathedral of Valencia. *Sensors*, *23*(4), 2301. https://doi.org/10.3390/s23042301

Ray, S. F. (1999). *Scientific Photography and Applied Imaging*. Focal Press. https://doi.org/10.4324/9780080516707

Roberts, C. (2020). Green Pigments: Exploring Changes in the Egyptian Color Palette through the Technical Study of Roman-Period Mummy Shrouds. In M. Svoboda & C. R. Cartwright (Eds.), *Mummy Portraits of Roman Egypt: Emerging Research from the APPEAR Project* (1st ed., pp. 34–45). Getty Publications. https://doi.org/10.2307/jj.6142266.9

Saunders, D., Cupitt, J., & Padfield, J. (2006). Digital Imaging for Easel Paintings. In L. MacDonald (Ed.), *Digital Heritage: Applying Digital Imaging to Cultural Heritage* (pp. 521–548). Butterworth-Heinemann.

Spronk, R. (2003). Standing on the Shoulders of Giants: The Early Years of Conservation and Technical Examination of Netherlandish Paintings at the Fogg Art Museum. In M. Faries & R. Spronk (Eds.), *Recent developments in the technical examination of early Netherlandish painting: Methodology, limitations & perspectives* (pp. 39–56). Harvard University Art Museums. https://doi.org/10.1484/M.MAC-EB.3.1801

Tamburini, D., & Dyer, J. (2019). Fibre optic reflectance spectroscopy and multispectral imaging for the non-invasive investigation of Asian colourants in Chinese textiles from Dunhuang (7th-10th century AD). *Dyes and Pigments*, *162*, 494–511. https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2018.10.054

Trentelman, K. (2017). Analyzing the Heterogeneous Hierarchy of Cultural Heritage Materials: Analytical Imaging. *Annual Review of Analytical Chemistry*, *10*(1), 247–270. https://doi.org/10.1146/annurev-anchem-071015-041500

van Asperen de Boer, J. R. J. (1969). Reflectography of Paintings Using an Infrared Vidicon Television System. *Studies in Conservation*, *14*(3), 96–118. https://doi.org/10.1179/sic.1969.010

Verri, G. (2008). The Use and Distribution of Egyptian Blue: A Study by Visible-Induced Luminescence Imaging. In A. Middleton & K. Uprichard (Eds.), *The Nebamun Wall Paintings: Conservation, Scientific Analysis and Display at the British Museum* (pp. 41–50). Archaeopress Publishing Ltd.

Verri, G. (2009a). The application of visible-induced luminescence imaging to the examination of museum objects. In L. Pezzati & R. Salimbeni (Eds.), *SPIE 7391, O3A: Optics for Arts, Architecture, and Archaeology II* (Vol. 7391, pp. 739105-1–12). SPIE. https://doi.org/10.1117/12.827331

Verri, G. (2009b). The spatially resolved characterisation of Egyptian blue, Han blue and Han purple by photo-induced luminescence digital imaging. *Analytical & Bioanalytical Chemistry*, *394*(1), 1011–1021. https://doi.org/10.1007/s00216-009-2693-0

Verri, G. (2017). "It's All Imaging To Me": Documentation, Investigation, Visualization, and Communication. *Conservation Perspectives: The GCI Newsletter*, *32*(1), 4–9.

Verri, G., Comelli, D., Cather, S., Saunders, D., & Piqué, F. (2008). *Post-capture data analysis as an aid to the interpretation of ultraviolet-induced fluorescence images* (D. G. Stork & J. Coddington, Eds.; p. 681002). https://doi.org/10.1117/12.764463

Verri, G., & Saunders, D. (2014). Xenon flash for reflectance and luminescence (multispectral) imaging in cultural heritage applications. *Technical Research Bulletin*, *8*, 83–92.

Webb, E. K. (2025). Current State, Active Research, and Future Directions of Multiband Imaging of Cultural Heritage. In Herrero-Cortell, M.A., Webb, E.K, & Picollo, M. (eds.). (2025). *Multiband imaging techniques. Conservation 360°*, (4), 84-143.

Webb, E. K., Summerour, R., & Giaccai, J. (2014). A Case Study Using Multiband and Hyperspectral Imaging for the Identification and Characterization of Materials on Archaeological Andean Painted Textiles. In R. Summerour & C. Zaret (Eds.), *The Textile Specialty Group Postprints* (Vol. 24, pp. 23–36). American Institute of Conservation.

Since the early twentieth century, a substantial body of literature has been devoted to the study of infrared and ultraviolet imaging techniques applied to heritage analysis and conservation, giving rise to an ever-evolving terminology.

Desde inicios del siglo XX existe una amplia literatura dedicada al estudio de técnicas de imagen en infrarrojo y ultravioleta aplicadas al análisis y la conservación del patrimonio, lo que ha dado lugar a una terminología en constante evolución.

The development of infrared and ultraviolet photography throughout the 20th century made it possible to incorporate specialized imaging techniques into the field of conservation, expanding the possibilities for diagnosis and the material study of artworks.

El desarrollo de la fotografía infrarroja y ultravioleta a lo largo del siglo xx permitió incorporar técnicas de imagen especializadas al campo de la conservación, ampliando las posibilidades de diagnóstico y el estudio material de las obras.

MULTIBAND IMAGES IN THE HERITAGE FIELD: PAST AND PRESENT

IMÁGENES MULTIBANDA EN EL ÁMBITO DEL PATRIMONIO: PASADO Y PRESENTE

Miquel Àngel Herrero-Cortell [a*], Serena Hirsch [b], E. Keats Webb [c]
[a] *Universitat Politècnica de València, Spain*
[b] *Centro de conservación-Restauración La Venaria Reale, Italy*
[c] *Museum Conservation Institute, Smithsonian Institution, United States*

* *mihercor@har.upv.es*

Introduction

Historically, since the first third of the 20th century, various photographic techniques (in visible and near-visible bands of the electromagnetic spectrum) have often been used in scientific and conservation laboratories in renowned museums and institutions for the documentation, study and conservation of artistic and cultural heritage. This chapter aims to provide some historical notes that help to better understand how the use of these photographic techniques for documenting heritage elements has developed over time.

In this case, we will focus on those techniques that were once considered 'photographic,' because they could be performed with films sensitive from the UV spectrum to 900nm. Before beginning, it seems appropriate to clarify the difficulty of

Introducción

Desde el primer tercio del siglo xx, diversas técnicas fotográficas —en las bandas visible y próximas al visible del espectro electromagnético— han sido empleadas con frecuencia en laboratorios científicos y de conservación de museos e instituciones de gran prestigio para la documentación, el estudio y la preservación del patrimonio artístico y cultural. Este capítulo tiene por objeto ofrecer algunas notas históricas que permitan comprender mejor cómo ha evolucionado el uso de estas técnicas fotográficas aplicadas a la documentación del patrimonio a lo largo del tiempo.

Nos centraremos aquí en aquellas técnicas que en su momento se consideraron estrictamente "fotográficas", por poder realizarse con emulsiones sensibles desde el espectro ultravioleta hasta aproximadamente 900 nm. Antes de comenzar, conviene aclarar la dificultad de

isolating these image techniques. Indeed, we cannot always distinctly separate the history of the use of photographic images in visible, UV and IR bands from other types of images, such as radiography, which has probably, among the image techniques applied to heritage, the longest tradition (Poldi & Villa, 2006). We have also considered to add some notes that directly appeal to the history of photography, both analog and digital, and that, although they may seem unnecessary, we have preferred not to overlook.

Furthermore, it is also necessary to acknowledge the complexity and risk of aiming for 'historical notes'. Indeed, these notes are not intended to be an exhaustive account of the development of these methodologies in the cultural heritage documentation field, but rather to highlight some milestones that, in our opinion, have been fundamental in the development of multiband imaging techniques. Lastly, the authors are aware of the risk of historical bias, which involves selecting that is inevitably subjective, knowing that many important contributions will be left out, unable to be addressed due to space and conciseness constraints.

Photography in the Heritage Field in the Analog Era

The introduction of scientific methods into the field of cultural heritage occurred in the 19th century, driven by certain historical events and, above all, conservation demands (Cardinali, 2020, p. 57). Indeed, it coincided with the advent of photography, a technique that arrived at the most opportune moment to strengthen disciplines such as Art History. As suggested by Poldi and Villa (2006), when François Jean Arago, in his presentation on the discoveries of Daguerre and Nicéphore Niépce at the French Academy of Sciences on January 9th, 1839,

aislar estas técnicas de imagen. En efecto, no siempre es posible separar con nitidez la historia del uso de imágenes fotográficas en bandas VIS, UV e IR de otros tipos de imágenes técnicas —como la radiografía— que, probablemente, constituye la técnica de imagen con una tradición más prolongada en el ámbito patrimonial. También hemos considerado oportuno incorporar algunas referencias a la historia de la fotografía, tanto analógica como digital, y que, aunque puedan parecer accesorias, hemos preferido no omitir.

Por otra parte, resulta necesario reconocer la complejidad y el riesgo que entraña cualquier intento de formular "notas históricas". Estas páginas no aspiran a ofrecer un relato exhaustivo del desarrollo de estas metodologías en la documentación del patrimonio cultural, sino más bien a señalar algunos hitos que, en nuestra opinión, han sido determinantes en la evolución de las técnicas de imagen multibanda. Finalmente, los autores son conscientes del riesgo de sesgo histórico inherente a toda selección, inevitablemente subjetiva, sabiendo que numerosas contribuciones relevantes quedarán fuera por razones de espacio y concisión (Bewer, 2010).

La fotografía patrimonial documental y conservativa en la era analógica

La introducción de métodos científicos en el ámbito del patrimonio cultural se produjo en el siglo XIX, impulsada por los acontecimientos históricos y, sobre todo, por las crecientes necesidades de conservación (Cardinali, 2020, p. 57). Este proceso coincidió con la llegada de la fotografía, una técnica que irrumpió en el momento más oportuno para reforzar disciplinas como la Historia del Arte. Tal como señalan Poldi y Villa (2006), cuando François Jean Arago, en su célebre presentación ante la Academia Francesa de Ciencias el 9 de enero de 1839, se preguntó si la fotografía podría resultar útil para las artes, ignoraba todavía el profundo impacto que esta

questioned whether photography could be useful to the arts, he was unaware of the profound impact the technique would have on theoretical, practical, and technical art disciplines, as well as on art conservation and even creation itself.

Half a century later, in 1888, the first museum laboratory, the *Chemische Laboratorium of the Staatlichen Museen* in Berlin, then called Königliche Museum (Cardinali, 2020: p. 57), was established. This laboratory immediately served as a model for other eminent museums and institutes, first in Germany and almost simultaneously, in the following decades, across Europe and the United States (with illustrious examples such as the Louvre or the Fogg Museum). Photographs suddenly became useful for museums even before their collections were assembled (Foresta, 2003, p. 15).

Certainly, the birth of Technical Art History coincided with the development of analog photography and radiography as primary elements. Although the latter is beyond the scope of this volume, as previously mentioned, we cannot overlook the significant impact radiography had on the birth of the scientific study of artworks. Since its invention in 1895 by German physicist Wilhelm Conrad Röntgen, X-rays have been seen as an key tool for heritage studies. In the immediate years following, radiography was extensively used, for example, in the study of Egyptian sarcophagi with mummies (Gräff, 1931) and from the early 20th century onwards, for other types of cultural artifacts. Thus, publications from the second decade of the century by authors such as Faber (1914) or Ledoux-Lebard and Lindesey (1918) were abundant.

In the early 1920s, the Royal Photographic Society promoted an exhibition containing nearly two hundred photographs of paintings and their corresponding radiographs, sparking great curiosity

técnica tendría en las disciplinas artísticas —teóricas, prácticas y técnicas— así como en la conservación e incluso en la propia creación artística.

Medio siglo más tarde, en 1888, se fundó el primer laboratorio museístico, el *Chemische Laboratorium* de los Staatlichen Museen de Berlín, entonces denominado *Königliche Museum* (Cardinali, 2020, p. 57). Este laboratorio se convirtió de inmediato en modelo para otros museos y centros de investigación de referencia, primero en Alemania y, casi simultáneamente en las décadas siguientes, en Europa y Estados Unidos —con ejemplos destacados como el Louvre o el Fogg Museum—. La fotografía pasó a desempeñar un papel fundamental incluso antes de que las colecciones de muchos museos estuvieran plenamente configuradas (Foresta, 2003, p. 15).

No cabe duda de que el nacimiento de la historia técnica del arte coincidió con el desarrollo de la fotografía analógica y de la radiografía como herramientas esenciales. Aunque esta última queda fuera del alcance metodológico de este volumen, no puede obviarse su enorme relevancia en los inicios del estudio científico de las obras de arte y otros objetos patrimoniales. Desde su invención en 1895 por el físico alemán Wilhelm Conrad Röntgen, los rayos X fueron percibidos como una herramienta crucial para la investigación patrimonial. En los años inmediatamente posteriores, la radiografía se empleó extensamente, por ejemplo, en el estudio de sarcófagos egipcios con momias (Gräff, 1931) y, ya a inicios del siglo xx, en otros tipos de bienes culturales. Las publicaciones de autores como Faber (1914) o Ledoux-Lebard y Lindesey (1918) proliferaron durante la segunda década del siglo.

A comienzos de la década de 1920, la Royal Photographic Society organizó una exposición con cerca de doscientas fotografías de pinturas acompañadas de sus correspondientes radiografías, lo que despertó un enorme interés entre el público general y, de manera especial, entre historiadores del arte como Aby Warburg o

among the general public and particularly among art historians such as Aby Warburg or Willhem won Bode (Cardinali 2020, p. 61). During the 1920s, the practice of radiography spread across both sides of the Atlantic, and museums like the Louvre or the Fogg Art Museum simultaneously experimented with X-rays to study their collections.

As would happen four decades later with infrared reflectography, photography was the true disseminator of these techniques, as it was the medium typically used to distribute radiographs, given the difficulty of working with, sharing, and comparing radiographic plates. Photography, although playing an auxiliary role in translating results, ended up being the fundamental means of recording visible and invisible images.

Photographic Techniques in the Visible Range

From the inception of photography, the technique proved extremely useful in advancing not historical-artistic studies and in strengthen disciplines such as conservation and art expertise, but also in every single science fields (Foresta, 2003).

Although Joseph Nicéphore Niépce's invention dates back to 1826, based on certain earlier experiments, it wasn't until the official presentation of Niépce and Daguerre's experiments in 1839 that the technique suddenly burst into all fields, being enthusiastically embraced across disciplines due to its obvious utility. The then-nascent discipline of Art History (Mansfield, 2002) soon recognized its advantages, and photographs succeeded engravings, casts, and copies in their role of dissemination. Since then, they have been used for comparison, classification, and affiliation. Without photographs, Art History as we know it today would not exist. Similarly, photography was used for documentation in fields such as

Wilhelm von Bode (Cardinali, 2020, p. 61). Durante los años veinte, la práctica radiográfica se difundió ampliamente a ambos lados del Atlántico, y museos como el Louvre y el Fogg Art Museum comenzaron a experimentar de forma paralela con los rayos X para el estudio de sus colecciones.

Como ocurriría cuatro décadas más tarde con la reflectografía infrarroja, la fotografía desempeñó un papel decisivo en la difusión de estas técnicas, pues era el medio habitual para registrar, reproducir y compartir radiografías en una época en la que trabajar directamente con placas radiográficas resultaba complejo. La fotografía, aun ocupando inicialmente un rol auxiliar como vehículo de traducción de resultados, terminó convirtiéndose en el soporte fundamental para la documentación de imágenes visibles e invisibles.

Técnicas fotográficas en el rango visible

Desde los inicios de la fotografía, la técnica demostró ser extremadamente útil no solo para impulsar los estudios histórico-artísticos y patrimoniales y fortalecer disciplinas como la conservación y expertización patrimonial, sino también en prácticamente todos los campos científicos (Foresta, 2003).

Aunque la invención de Joseph Nicéphore Niépce se remonta a 1826 —basada a su vez en experimentos anteriores—, no fue hasta la presentación oficial de los trabajos de Niépce y Daguerre en 1839 cuando la técnica irrumpió de forma decisiva en todos los ámbitos, siendo acogida con entusiasmo por múltiples disciplinas debido a su evidente utilidad. La entonces naciente disciplina de la Historia del Arte (Mansfield, 2002) reconoció muy pronto sus ventajas, y las fotografías terminaron sustituyendo a los grabados, vaciados y copias como medio de difusión. Desde entonces se emplearon para la comparación, la clasificación y la atribución. Sin la fotografía, la Historia del Arte tal como la conocemos hoy no habría podido desarrollarse. De modo paralelo, la fotografía se

archaeology, conservation, and restoration. Briefly, we could say that photography prompted a true surge in all scientific disciplines, but of course also in art and heritage, particularly with the invention of celluloid film in 1888, following experiments conducted since 1871 by Richard Leach Maddox.

In 1861, the first methodological prototype of color photography was patented by Thomas Sutton, following the steps of English physicist James Clerk Maxwell, who had already conducted tests since 1855. Sutton used a trichromatic method employing three glass plates that recorded red, green, and blue colors in three separate shots with color filters (Evans, 1961).

A few years after Sutton's experiment, and with a more refined method, Louis Ducos du Hauron employed a similar technique, with which he took his famous color photograph of a landscape in southern France in 1877, called View of Agen. In the early 20th century, Auguste and Louis Lumière also conducted some experiments and invented autochrome plates, coated with multicolored potato starch microgranules instead of a single color. These were always experiments that did not quite achieve naturalistic results, as the color was more an effect or trick than true color photography. It was somewhat similar to chromatic finishes with anilines and transparent dyes on black and white photographs, which were often hand-colored to overcome the obvious limitation of monochrome finishes. Moreover, these were complex and lengthy processes that did not achieve the best results (Sougez, 2001).

But in 1908, an invention by Gabriel Jonas Lippmann changed everything: his method for creating color in a photograph used a single glass plate with a color-sensitive emulsion, specifically to the visible band. The success of his method led him to win the Nobel Prize in Physics that same year. However,

utilizó para la documentación en ámbitos como la arqueología, la conservación y la restauración. En síntesis, puede afirmarse que la fotografía impulsó un verdadero salto en todas las disciplinas científicas, y desde luego también en el ámbito patrimonial, especialmente a partir de la invención de la película de celuloide en 1888, tras los experimentos iniciados en 1871 por Richard Leach Maddox.

En 1861, Thomas Sutton patentó el primer prototipo metodológico de fotografía en color, siguiendo los pasos del físico inglés James Clerk Maxwell, quien había realizado ensayos desde 1855. Sutton empleó un método tricromático basado en tres placas de vidrio que registraban los colores rojo, verde y azul mediante tres tomas separadas con filtros cromáticos (Evans, 1961).

Pocos años después del experimento de Sutton, y con un método más refinado, Louis Ducos du Hauron utilizó una técnica similar con la que obtuvo, en 1877, su célebre fotografía en color *Vista de Agen*, tomada en el sur de Francia. A comienzos del siglo xx, Auguste y Louis Lumière continuaron desarrollando métodos experimentales y crearon las placas autocromas, recubiertas con microgránulos de almidón de patata teñidos en múltiples colores en lugar de un único pigmento. En todos estos casos, los resultados no eran del todo naturalistas: el color era más un efecto o artificio que una verdadera fotografía en color. Se asemejaba, en cierto modo, a los acabados cromáticos obtenidos mediante anilinas y tintes transparentes aplicados sobre fotografías en blanco y negro, a menudo coloreadas a mano para suplir la evidente limitación del monocromo. Además, estos procedimientos eran complejos, largos y no siempre proporcionaban resultados óptimos (Sougez, 2001).

En 1908, una invención de Gabriel Jonas Lippmann cambió el panorama: su método para obtener color en una fotografía utilizaba una única placa de vidrio con una emulsión sensible al color, específicamente en el rango visible. El éxito de su técnica le valió el Premio Nobel de

the results were still not the best. Lippmann's chemical emulsion led to the type of color film most widely adopted, which also used a light-sensitive emulsion. In 1935, Leopold Mannes and Leopold Godowsky invented color film, which was popularized by companies like Kodak and Polaroid. The first modern color slide film was *Kodachrome*, released in 1935, based on the use of three colored emulsions. The following year, Agfacolor patented another model, *Agfacolor Neue*, featuring three superimposed gelatin layers sensitive to light with integrated color couplers, unlike its predecessor, Kodachrome film, which did not have them incorporated (Sipley, 1951). In 1942, Eastman Kodak began producing color negative films from which positive color prints could be made, *Kodacolor*. Finally, instant color film was introduced by Polaroid in 1963, and it was not until this moment that color photography truly began to see a progressive rise, as until then, black, and white photography was by far the most common (Sougez, 2001).

In the cultural heritage field, photography spread with surprising speed to document all kinds of artifacts for purposes of dissemination, study, market, comparison, expertise, cataloging, authentication. And indeed, the cultural heritage field, as happened in other fields, leaned towards scientific imaging modalities, often complementary, such as raking light photography, transillumination, macrophotography, and microphotography (sometimes even combined), which remain essentially the most important documentation methods (Aldrovandi & Picollo, 1999). Macrophotography involves capturing images of narrow areas of artworks or small objects at high magnification to obtain images with excellent surface definition; microphotography, on the other hand, involves higher levels of magnification that record images by coupling the camera with microscopes or their optics. Transillumination corresponds to photography taken in transmittance,

Física ese mismo año, aunque los resultados tampoco eran perfectos. La emulsión química de Lippmann conduciría al posterior desarrollo de un primer tipo de película en color, basada igualmente en una emulsión fotosensible. En 1935, Leopold Mannes y Leopold Godowsky inventaron la película en color, que fue popularizada por compañías como Kodak y Polaroid. La primera película moderna de diapositivas en color fue Kodachrome, presentada en 1935, basada en tres emulsiones cromáticas. Al año siguiente, Agfa patentó otro modelo, Agfacolor Neue, con tres capas de gelatina superpuestas sensibles a la luz y con acopladores cromáticos integrados, a diferencia de la película Kodachrome, que no los incorporaba (Sipley, 1951). En 1942, Eastman Kodak comenzó a producir película negativa en color —Kodacolor— a partir de la cual podían obtenerse copias positivas. Finalmente, Polaroid introdujo la película instantánea en color en 1963, y solo entonces comenzó un incremento progresivo en su uso, ya que hasta ese momento la fotografía en blanco y negro era con gran diferencia la más común (Sougez, 2001).

En el ámbito patrimonial, la fotografía fue acogida con sorprendente rapidez para documentar todo tipo de bienes con fines de difusión, estudio, mercado, comparación, peritación, catalogación y autentificación. Como ocurrió en otros ámbitos, el patrimonio adoptó también modalidades de imagen científica, a menudo complementarias, como la fotografía en luz rasante, la transiluminación, la macrofotografía y la microfotografía (a veces incluso combinadas), que siguen siendo esencialmente algunos de los métodos de documentación más importantes (Aldrovandi y Picollo, 1999). La macrofotografía permite registrar imágenes de áreas reducidas de obras o de objetos pequeños con altos niveles de aumento, obteniendo una excelente definición superficial; la microfotografía, por su parte, implica aumentos aún mayores y se realiza acoplando la cámara a microscopios o a sus ópticas. La transiluminación corresponde a fotografías obtenidas en transmisión, con el instrumento fotográfico situado en el lado opuesto de la fuente de

where the photographic instrument is on the opposite side of the light source and the painting in the middle. This technique is applied exclusively to artistic artifacts that are partially transparent to the incident radiation, such as paintings on canvas, paper, fabric, etc (Poldi & Villa, 2006; Cucci et al., 2012).

In 1925, a specific analysis method for flat surface paintings was introduced: raking light imaging. In this case, a light source almost parallel to the artwork's surface is used to highlight the morphology of the work and thus document its surface irregularities (Poldi & Villa, 2006).

Fundamental were the investigations of Dr. Fernando Pérez, an Argentine physician interested in a scientific study of paintings, which was his true passion. Using the term '*Pinacología*' (an early attempt to establish an empirical methodology for a technical and visual study of painting), Pérez built a methodology for studying paintings that included not only reflective photography but also focused on macroscopic evidence, microphotography, and especially raking light photography, which he used to study brushstrokes. Pérez first arrived in Italy, where in 1930 at the Accademia di San Luca, he gave a lecture titled '*Les Recherches pinacologiques*'. The success was such that the French ambassador to Italy wrote to the French government, echoing the lecture. Pérez was immediately invited to Paris by Eugène Lautier, Undersecretary of Fine Arts, and a few days later, he was invited by Verne (director of the Louvre) to organize a lecture titled '*Contribution à l'étude scientifique des Tableaux. Recherches pinacologiques réalisée dans les principaux Musées d'Italie. Étude de la structure de l'empâtement des tableaux*' (Péquignot, 2020). At the end of the lecture, in which Pérez presented his advances in pinacology, he announced the offer from the Mainini couple to finance a pinacology institute at the Louvre Museum, a center dedicated to the study of paintings, which would eventually open in October

luz y la obra situada entre ambos. Esta técnica se aplica exclusivamente a objetos parcialmente transparentes a la radiación incidente, como pinturas sobre lienzo, papel, tejido, etc. (Poldi y Villa, 2006; Cucci *et al.*, 2012).

En 1925 se introdujo un método específico de análisis para pinturas sobre superficies planas: la imagen en luz rasante. En este caso, se utiliza una fuente de luz colocada casi paralelamente a la superficie de la obra para resaltar su morfología y documentar así sus irregularidades superficiales (Poldi y Villa, 2006).

Las investigaciones del Dr. Fernando Pérez, médico argentino interesado en el estudio científico de la pintura —su verdadera pasión—, resultaron fundamentales. Utilizando el término *Pinacología* (un intento temprano de establecer una metodología empírica para el estudio técnico y visual de la pintura), Pérez desarrolló un método de análisis que incluía no solo fotografía en reflectancia, sino también observación macroscópica, microfotografía y, de manera especialmente destacada, fotografía en luz rasante, que utilizaba para estudiar la pincelada. Pérez llegó en primer lugar a Italia, donde en 1930, en la Accademia di San Luca, impartió una conferencia titulada *Les Recherches pinacologiques*. El éxito fue tal que el embajador de Francia en Italia informó del evento al gobierno francés. Pérez fue inmediatamente invitado a París por Eugène Lautier, subsecretario de Bellas Artes, y días después recibió una invitación de Verne (director del Louvre) para impartir una conferencia titulada *Contribution à l'étude scientifique des Tableaux. Recherches pinacologiques réalisée dans les principaux Musées d'Italie. Étude de la structure de l'empâtement des tableaux* (Péquignot, 2020). Al término de su intervención, en la que presentó sus avances en pinacología, anunció la oferta del matrimonio Mainini para financiar un instituto de pinacología en el Museo del Louvre, un centro dedicado al estudio de la pintura que finalmente abriría en octubre de 1931, fecha en la que Pérez publicó algunos de sus estudios pinacológicos (Pérez, 1931). El interés específico de Pérez se centraba

1931, while Pérez published some of his pinacological studies (Pérez, 1931). Pérez's specific interest was in documenting the stratigraphic articulation along with the texture (blended or disassociated) of the brushstrokes. To this end, he devised his *Pinacoscopio*, a kind of portable microscope equipped with a light source of variable and controlled inclination (Cardinali, 2020: p. 65). Although we do not owe microphotography to him, it is undeniable that he was one of the first to use the method, and undoubtedly, his *Pinacoscopio* is significant. The chromatic classification of impastos was another of Pérez's objectives, using the Ostwald chromatic scale and subsequently other standardized instruments such as the Tintometer introduced by Rawlins (1936; 1937) and later the spectrophotometer devised by Barnes (1939) in research at the Fogg Art Museum laboratory (Cardinali, 2020, p. 66). Pérez's experiments, at the foundation of the discipline of applied heritage sciences, were followed, in a certain way, by other scholars.

In 1930, the "International Conference for the Study of Scientific Methods Applied to the Examination and Conservation of Works of Art" was held in Rome and became a definitive spur propelled photography to the heart of all museums and heritage institutions as a fundamental scientific documentation method, in its various forms (Cardinali, 2014). This conference resulted in several publications with a significant contribution being the '*Manual de la Conservation et de la Restauration des Peintures*' (1939). This conference brought together scholars to compare methods and tools. For the first time, consensual and international premises were established, such as that no artwork should be cleaned or restored "*senza essere stata preventivamente sottoposta a un esame scientifico e fotografico* [without having preventively carried out a scientific and photographic examination]." Additionally, it was required to "conservare l'incartamento grafico e fotografico completo di tutte le operazioni che saranno state eseguite [conservate all graphic and

en documentar la articulación estratigráfica junto con la textura —fundida o disociada— de la pincelada. Para ello ideó su *Pinacoscopio*, una especie de microscopio portátil equipado con una fuente de luz de inclinación variable y controlada (Cardinali, 2020, p. 65). Aunque no se le debe la invención de la microfotografía, es innegable que fue uno de los primeros en emplearla, y su *Pinacoscopio* fue, sin duda, un avance significativo. Otra de sus metas fue la clasificación cromática de los empastes, utilizando inicialmente la escala cromática de Ostwald y, posteriormente, otros instrumentos estandarizados, como el Tintometer introducido por Rawlins (1936; 1937) y más tarde el espectrofotómetro desarrollado por Barnes (1939) en las investigaciones del laboratorio del Fogg Art Museum (Cardinali, 2020, p. 66). Los experimentos de Pérez —en la base misma de la disciplina de las ciencias aplicadas al patrimonio— fueron continuados, de un modo u otro, por otros estudiosos.

En 1930 tuvo lugar en Roma la *International Conference for the Study of Scientific Methods Applied to the Examination and Conservation of Works of Art*, que se convirtió en un impulso definitivo que situó la fotografía en el centro de museos e instituciones patrimoniales como método fundamental de documentación científica en sus diversas modalidades (Cardinali, 2014). De este congreso surgieron varias publicaciones, siendo especialmente relevante el *Manual de la Conservation et de la Restauration des Peintures* (1939). El encuentro reunió a especialistas que compararon métodos y herramientas y, por primera vez, estableció premisas consensuadas e internacionales, como que ninguna obra debía ser limpiada o restaurada "*senza essere stata preventivamente sottoposta a un esame scientifico e fotografico* [sin haber sido previamente sometida a un examen científico y fotográfico]". Asimismo, se exigía "*conservare l'incartamento grafico e fotografico completo di tutte le operazioni che saranno state eseguite* [conservar toda la documentación gráfica y fotográfica de las operaciones realizadas]" (Mouseion, 1931, pp. 196–197). En la sección *Documenti* del congreso se presentaron

photographic evidence]" (Mouseion, 1931, pp. 196-197). In the *Documenti* section of this conference, new documentation devices were presented, such as the Leitz microscope for microphotography, or the aforementioned *Pinacoscopio* by Pérez, as well as more complex devices like a Siemens radiography system. Cardinali (2020, p. 71) succinctly summarizes the major contributions of the conference regarding the use of 'special photographic techniques' and other scientific analyses, which from those years onwards would always be increasingly used alongside analog photography in visible and beyond bands.

The implications that photographs of works of art could have for knowledge, dissemination and other tasks, as well as their possible problems against the uniqueness of the object were addressed in a mythical essay by the writer Walter Benjamin in the essay '*L'œuvre d'art à l'époque de sa reproduction mécanisée*' which was published in '*Zeitschrift für Sozialforschung*', in 1936 and which has subsequently been published in numerous countries and languages as an independent work, or reference is fundamental when understanding photography as a conceptual duplicate of the work.

UV and IR Photographic Techniques

The work of Robert William Wood, at the dawn of the 20th century, is considered the starting point of ultraviolet and infrared photography. Although the discovery of electromagnetic radiation in bands close to the visible, as well as the development of photographic emulsions capable of recording them, precede this, Wood was the first to intentionally take photographs using infrared and ultraviolet radiation (Seabrook, 1941). In 1903, he developed an optical filter, Wood's glass, which was opaque to visible light but transparent to ultraviolet and infrared radiations, thanks to a formulation based on nitroso-dimethyl-aniline combined with a small proportion of a dye called uranine (Wood, 1903, pp.

nuevos dispositivos para la documentación, como el microscopio Leitz para microfotografía, el ya mencionado *Pinacoscopio* de Pérez o sistemas más complejos, como un equipo de radiografía Siemens. Cardinali (2020, p. 71) resume de manera sintética las principales aportaciones del congreso relativas al uso de "técnicas fotográficas especiales" y otros análisis científicos que, desde ese momento, irían acompañando de manera creciente a la fotografía analógica en el visible y en bandas más allá de lo visible.

Las implicaciones que las fotografías de obras de arte podían tener para el conocimiento, la difusión y otras tareas —así como sus posibles tensiones respecto a la unicidad del objeto— fueron abordadas en un célebre ensayo de Walter Benjamin, *L'œuvre d'art à l'époque de sa reproduction mécanisée*, publicado en *Zeitschrift für Sozialforschung* en 1936 y posteriormente editado en numerosos países y lenguas como obra independiente. Este texto es una referencia fundamental para comprender la fotografía como un duplicado conceptual de la obra original.

Técnicas fotográficas en UV e IR

El trabajo de Robert William Wood, en los albores del siglo xx, se considera el punto de partida de la fotografía ultravioleta e infrarroja. Aunque el descubrimiento de radiaciones electromagnéticas en bandas próximas al visible —así como el desarrollo de emulsiones fotográficas capaces de registrarlas— es anterior, Wood fue el primero en realizar fotografías de manera intencional utilizando radiación infrarroja y ultravioleta (Seabrook, 1941). En 1903 desarrolló un filtro óptico, conocido como *Wood's glass*, opaco a la luz visible pero transparente a las radiaciones ultravioleta e infrarroja, gracias a una formulación basada en nitroso-dimetil-anilina combinada con una pequeña proporción de un colorante llamado uranina (Wood, 1903, pp. 257–263). En esencia, se trata del mismo tipo de filtro que aún hoy se utiliza en las llamadas "lámparas de luz negra". El filtro bloqueaba

257-263). Essentially, it is still the same filter commonly used today in so-called 'black lights'. The filter blocked visible light but transmitted in the ultraviolet band (and also in the near infrared), so it was used to irradiate surfaces to achieve the so-called 'fluorescence' which was then photographed in the visible. Although initially used to photograph reflected ultraviolet radiation, he suggested a possible use for secret communications in intelligence applications, although this required very long exposures.

In October 1910, some of his ultraviolet and infrared photographs were published in the Royal Photographic Society Journal (Wood, 1910, p. 329), illustrating certain optical phenomena, such as the so-called 'Wood Effect', which caused infrared photographs to give portraits, for example, a milky and translucent skin tone, dark skies, or bright vegetation in the background. Wood is essentially the father of images in the non-visible bands of the spectrum and could be considered the great pioneer of multiband images.

Very soon these 'beyond-visible' photographic techniques were considered of great interest for the study and documentation of cultural heritage artifacts (Wood, 1911), and thus were progressively incorporated in many museus and collections fot these aims, hand in hand with radiography. In fact there are numerous examples of radiographic applications in the study of cultural assets from 1899 (Cardinali, 2020: 58), and by the late 1920s, ultraviolet and infrared photography as well. In 1927, for example, Henri Verne, the director of the Louvre Museum, commissioned Jean Fernand Cerellier, head of the *Laboratorie d'Essais du Conservatoire National des Arts et Métiers*, to conduct a campaign with image studies in various bands of the spectrum (Verne, 1933: 160-162; Cardinali, 2020: 61). The aforementioned 1930 Rome conference precipitated the understanding that photographic techniques in

la luz visible pero transmitía en la banda ultravioleta (y también en el infrarrojo cercano), por lo que se empleó para irradiar superficies y registrar posteriormente —ya en el visible— la denominada "fluorescencia". Aunque en un inicio se usó para fotografiar la radiación ultravioleta reflejada, Wood propuso también un posible uso en comunicaciones secretas para aplicaciones de inteligencia, si bien los tiempos de exposición requeridos eran muy largos.

En octubre de 1910, algunas de sus fotografías en ultravioleta e infrarrojo fueron publicadas en el *Royal Photographic Society Journal* (Wood, 1910, p. 329), donde ilustraba diversos fenómenos ópticos, como el denominado "efecto Wood", responsable de que las fotografías infrarrojas produjesen retratos con una piel lechosa y traslúcida, cielos oscurecidos o vegetación intensamente brillante. Wood es, en esencia, el padre de las imágenes en las bandas no visibles del espectro y puede considerarse el gran pionero de la imagen multibanda.

Muy pronto estas técnicas fotográficas *más allá del visible* se consideraron de gran interés para el estudio y la documentación de bienes culturales (Wood, 1911), y comenzaron a incorporarse progresivamente en numerosos museos y colecciones, a menudo junto a la radiografía. De hecho, existen numerosos ejemplos de aplicaciones radiográficas al estudio del patrimonio ya desde 1899 (Cardinali, 2020: 58), y hacia finales de la década de 1920 también de fotografía ultravioleta e infrarroja. En 1927, por ejemplo, Henri Verne, director del Museo del Louvre, encargó a Jean Fernand Cerellier, responsable del *Laboratorie d'Essais du Conservatoire National des Arts et Métiers*, una campaña de estudio basada en imágenes obtenidas en diversas bandas del espectro (Verne, 1933: 160-162; Cardinali, 2020: 61). La ya mencionada conferencia de Roma de 1930 consolidó la comprensión de que las técnicas fotográficas en bandas no visibles debían considerarse complementarias a la documentación en luz visible. En 1954, la publicación de carácter holístico y transversal *The Application of*

non-visible bands were considered complementary to visible light documentation. In 1954, the holistic and transversal publication '*The Application of X-Rays, Gamma Rays, Ultraviolet and Infrared Rays to the Study of Antiquities*' by Moss further illustrates the complementary nature of UV, VIS, and IR photography and the development of photographic techniques for the study and care of cultural heritage materials.

We will now briefly review those 'special photographic' techniques or, more correctly, images in invisible bands obtained through photographic sensors, which during the 20th century constituted the basis of what we today call multiband imaging.

Analog Photographic Techniques with Ultraviolet Radiation

Ultraviolet radiation was discovered in 1803 by William Hyde Wollaston, but experimentation with paintings and other cultural artifacts began a century later (Cardinali, 2020, p. 111). Since the 1920s, when the first UV lamps appeared on the market (Matteini & Moles, 2001, pp. 161-162; Picollo et al., 2019a, p. 15), ultraviolet radiation has been used continuously in the field of Art Conservation, being one of the disciplines with the most publications in heritage related fields since the 1930s (Marsh, 1978). In reality, since the early 19th century, the phenomenon of so-called 'fluorescence' has been described. Goethe had already observed that some minerals had fluorescent behavior, and some early and illustrious mineralogy enthusiasts, such as Sir David Brewster and Sir John Herschel, identified the phenomenon as a variation of luminous properties, such as diffusion and dispersion (Robbins, 1983, pp. 3-13). Somewhat later, Sir George Stokes, replicating experiments initiated by Goethe, defined the phenomenon and gave it its name, after examining fluorite (Dake & De Ment, 1941; Hickey-Friedman, 2002, p. 161). In the first volume of this book series,

X-Rays, Gamma Rays, Ultraviolet and Infrared Rays to the Study of Antiquities, de Moss, ilustra de modo ejemplar el carácter complementario de la fotografía UV, VIS e IR y el desarrollo de técnicas fotográficas para el estudio y la conservación de materiales patrimoniales.

A continuación, revisaremos brevemente estas técnicas fotográficas "especiales" —o, más correctamente, las imágenes en bandas invisibles obtenidas mediante sensores fotográficos— que, a lo largo del siglo XX, constituyeron la base de lo que hoy denominamos imagen multibanda.

Técnicas fotográficas analógicas con radiación ultravioleta

La radiación ultravioleta fue descubierta en 1803 por William Hyde Wollaston, aunque la experimentación con pinturas y otros objetos culturales no comenzó hasta un siglo más tarde (Cardinali, 2020, p. 111). Desde la década de 1920, cuando aparecieron en el mercado las primeras lámparas UV (Matteini y Moles, 2001, pp. 161–162; Picollo *et al.*, 2019a, p. 15), la radiación ultravioleta se ha utilizado de manera continua en el ámbito de la conservación del patrimonio, siendo una de las disciplinas con mayor producción bibliográfica desde la década de 1930 (Marsh, 1978). En realidad, el fenómeno de la llamada *fluorescencia* se venía describiendo desde comienzos del siglo XIX: Goethe ya había observado el comportamiento fluorescente de ciertos minerales, y otros destacados estudiosos de la mineralogía, como Sir David Brewster y Sir John Herschel, identificaron el fenómeno como una variación en ciertas propiedades luminosas, como la difusión y la dispersión (Robbins, 1983, pp. 3–13). Algo más tarde, Sir George Stokes, replicando los experimentos iniciados por Goethe, definió el fenómeno y le dio su nombre tras examinar fluorita (Dake y De Ment, 1941; Hickey-Friedman, 2002, p. 161). En el primer volumen de esta serie se recomienda utilizar el término *luminescencia* en lugar

it is recommended to us 'luminescence' instead of 'fluorescence' because as Bacci (2019, pp. 29-33) explains and as summarized by Picollo et al. (2019a, p. 14) in the first volume of this book series, the terms fluorescence and phosphorescence are encompassed under the term luminescence, which is more appropriate when the lifetime of the emission is unknown.

Since the invention of the iron arc lamp in 1903, capable of emitting short-wave radiation, museums began to consider the benefits of using this type of radiation source to study their collections, especially mineralogical ones (Hickey-Friedman, 2002, p. 161). That same year, for example, the British Natural History Museum created the first exhibition of luminescent minerals in London, which was a starting point for applications of UV radiation in the museum field (Radley & Grant, 1933, pp. 11-13).

New UV radiation sources were invented in the 1920s and 1930s and were further developed, such as the argon lamp, the Nico lamp, and finally, the mercury vapor lamp. Dr. Robert Wood worked on the development of the aforementioned glass filter capable of blocking the visible radiation and allowing UV (in the 330 - 380nm range, with an intense emission peak at 365nm) and near infrared radiation to pass through, and this type of lamp took its inventor's name (Poldi & Villa, 2006, p. 161). When the Wood's lamp came onto the market in the mid-1920s, it began to be used to observe and document the behavior of paintings and other artistic objects under UV radiation, and the technique was adopted by conservators and curators of numerous museums, becoming one of the most useful tools for examining heritage objects. It facilitated identification that allowed, for the first time in history, to discern between authentic and counterfeit objects—which at that time flooded museum halls and collections. It also allowed distinguishing between original and forged parts, based on empirical evidence and not on a qualitative judgment issued by a connoisseur. If mere visual

de *fluorescencia*, pues, como explican Bacci (2019, pp. 29–33) y Picollo *et al.* (2019a, p. 14), los términos fluorescencia y fosforescencia se engloban bajo *luminescencia*, más adecuado cuando se desconoce el tiempo de vida de la emisión.

Con la invención de la lámpara de arco de hierro en 1903 —capaz de emitir radiación de onda corta—, los museos comenzaron a considerar los beneficios de utilizar este tipo de fuentes para estudiar sus colecciones, especialmente las mineralógicas (Hickey-Friedman, 2002, p. 161). Ese mismo año, por ejemplo, el British Natural History Museum creó en Londres la primera exposición de minerales luminiscentes, hito que marcó el inicio de las aplicaciones de la radiación UV en el ámbito museístico (Radley y Grant, 1933, pp. 11–13).

En las décadas de 1920 y 1930 se desarrollaron nuevas fuentes de radiación UV, como la lámpara de argón, la lámpara Nico y, finalmente, la lámpara de vapor de mercurio. El Dr. Robert Wood trabajó en el desarrollo del mencionado filtro de vidrio capaz de bloquear la radiación visible y permitir el paso de UV (en el rango 330–380 nm, con un pico intenso a 365 nm) y del infrarrojo cercano; este tipo de lámpara adoptó el nombre de su inventor (Poldi y Villa, 2006, p. 161). Cuando la lámpara de Wood llegó al mercado a mediados de los años veinte, comenzó a emplearse para observar y documentar el comportamiento de pinturas y otros objetos bajo radiación UV, convirtiéndose en una de las herramientas más útiles para el examen del patrimonio. Permitió, por primera vez en la historia, discernir entre objetos auténticos y falsificaciones —que en aquella época inundaban salas y colecciones—, así como distinguir entre partes originales y añadidos, basándose en evidencias empíricas y no en juicios cualitativos de un *connoisseur*. Si la simple observación visual bajo una fuente UV permitía ese reconocimiento, la fotografía de luminiscencia se convertía en la evidencia

observation using a UV radiation source allowed for the aforementioned recognition, luminescence photography became the empirical evidence; the forensic expert proof that allowed recording and disseminating the visual experience that occurred when viewing the object under the lamp's radiation. These were the years of the birth of 'Technical Art History' (Cardinali, 2020).

From the outset of its applications, significant differences were observed in the luminescence emitted by certain materials (such as pigments, dyes and lacquers, glues, varnishes, gypsum, and fluorescent plastic resins). As previously mentioned, conservators used this type of evidence to detect hidden repairs and forgeries due to its non-destructive diagnostic capabilities (Hickey-Friedman, 2002, p. 162). As early as 1914, criminologist Gustave Kögel experimented with the use of ultraviolet radiation on monastic palimpsests, demonstrating that it could recover the readability of erased parts for transcription (Kögel, 1914, pp. 873-978). During those same years, Edmond Bayle, a police officer and investigator at the Service d'Identité Judiciaire in Paris, discovered the forgery of a signature on a painting attributed to Pissarro using an ultraviolet lamp and authenticated other works by Goya, Rubens, and Renoir (Cardinali, 2020, p. 62). Bayle, along with Fabre and George, experimented with the mercury lamp before the introduction of the nickel oxide filter (Wood's filter), focusing on the identification of pigments and binders as well as the documentation of overpaint. In 1927, they published '*La fluorescence et ses applications*' (Bayle et al., 1927, pp. 179-200). Along with other scholars like Eibner (director of the Versuchsanstalt Maltechnik in Munich), Schmidinger, Has Georg Wolff, and Walter Töldte, we owe the first attempts at classifying the responses of pictorial materials with Wood's lamps and the initial observations on pigment luminiscence (Poldi & Villa, 2006: 162). Observation of paintings with UV radiation revealed that colors could mainly be linked to binders and only secondarily to pigments (Cardinali, 2020, p. 63). Initially, the results were difficult to interpret due

empírica: la prueba documental que hacía visible y registrable aquello que emergía bajo radiación UV. Fueron los años del nacimiento de la *Technical Art History* (Cardinali, 2020).

Desde los inicios se observaron diferencias significativas en la luminescencia emitida por ciertos materiales —pigmentos, colorantes y lacas, adhesivos, barnices, yesos o resinas plásticas—. Como se mencionó, los conservadores utilizaban este tipo de evidencias para detectar reparaciones ocultas o falsificaciones, gracias a sus capacidades diagnósticas no destructivas (Hickey-Friedman, 2002, p. 162). Ya en 1914, el criminólogo Gustave Kögel experimentó con radiación UV en palimpsestos monásticos, demostrando que podía recuperar la legibilidad de textos borrados (Kögel, 1914, pp. 873–978). En esos mismos años, Edmond Bayle, agente e investigador del *Service d'Identité Judiciaire* de París, detectó la falsificación de una firma en una pintura atribuida a Pissarro mediante una lámpara UV y autentiifcó otras obras de Goya, Rubens y Renoir (Cardinali, 2020, p. 62). Bayle, junto con Fabre y George, experimentó con la lámpara de mercurio antes de la introducción del filtro de óxido de níquel (el filtro de Wood), centrando su atención en la identificación de pigmentos y aglutinantes, así como en la documentación de repintes. En 1927 publicaron *La fluorescence et ses applications* (Bayle *et al.*, 1927, pp. 179–200). A autores como Eibner (director del *Versuchsanstalt Maltechnik* de Múnich), Schmidinger, Has Georg Wolff o Walter Töldte les debemos los primeros intentos de clasificación de respuestas de materiales pictóricos con lámparas de Wood y las primeras observaciones sistemáticas sobre luminiscencia de pigmentos (Poldi y Villa, 2006: 162). La observación de pinturas bajo UV reveló que la luminiscencia de los colores podía asociarse principalmente a los aglutinantes y solo de forma secundaria a los pigmentos (Cardinali, 2020, p. 63). Inicialmente, los resultados eran difíciles de interpretar debido a la no linealidad de los valores

to the non-linearity of the recorded luminosity values. The limitations of photosensitive materials pushed the search for different radiation sources (Cardinali, 2020, p. 111).

In New York in 1928, the seventh International Illumination Congress took place, where the aforementioned Fernand Cerellier, head of the Louvre's laboratory, presented some results and research methods using monochromatic light photography, standard photography, radiography, and ultraviolet fluorescence photography (Cerellier, 1928). A few days later, Cerellier was invited by Edward Forbes to the Fogg Art Museum to give a lecture titled '*L'Etude Scientifique des Peintures d'Art pour la Recherche de l'Authenticité*'. In this, he expounded on the observation and documentation methods of paintings developed in the Louvre's laboratories, highlighting the role of iultraviolet-induced visible luminescence in revealing significant surface discontinuities that could not be perceived with the naked eye and were capable of exposing the deceitful nature of some paintings (Cardinali, 2020, p. 62). It is difficult to gauge the impact of Cerellier's contributions in the US, but it likely had a significant reception because the Fogg Art Museum was one of the first to adopt the new trend of scientific painting research. A few years later, as will be seen, its head, Arcadius Lyon, would play a very significant role in the dissemination of infrared photography. The Fogg Art Museum was also the first museum in the world to equip itself with a radiographic laboratory and an archive of radiographs and other technical images in various spectral bands (Cardinali, 2020, p. 74).

Despite all the aforementioned publications and mentions, perhaps the first major work dedicated exclusively to UV radiation applications in the cultural heritage field was '*Ultra-Violet Rays and their use in the Examination of Works of Art*' (Rorimer, 1931), a publication out of the Metropolitan Museum of Art. This laid the foundation for applications to the study of cultural assets. Rorimer (1931, p. 51) included a table with

de luminosidad registrados; las limitaciones de los materiales fotosensibles alentaron la búsqueda de nuevas fuentes de radiación (Cardinali, 2020, p. 111).

En Nueva York, en 1928, tuvo lugar el VII Congreso Internacional de Iluminación, donde el citado Fernand Cerellier —responsable del laboratorio del Louvre— presentó resultados y métodos de investigación mediante fotografía monocromática, fotografía convencional, radiografía y luminiscencia UV (Cerellier, 1928). Pocos días después, Edward Forbes le invitó al Fogg Art Museum a impartir la conferencia *L'Étude Scientifique des Peintures d'Art pour la Recherche de l'Authenticité*, en la que expuso los procedimientos de observación y documentación desarrollados en el Louvre, subrayando el papel de la luminiscencia visible inducida por UV para revelar discontinuidades superficiales invisibles a simple vista, capaces de desenmascarar falsificaciones (Cardinali, 2020, p. 62). Difícil resulta medir el impacto de la aportación de Cerellier en EE. UU., pero seguramente fue notable, dado que el Fogg Art Museum fue uno de los primeros en adoptar la investigación científica de la pintura. Años más tarde, su responsable, Arcadius Lyon, tendría un papel decisivo en la difusión de la fotografía infrarroja. Además, el Fogg Art Museum fue el primer museo del mundo en dotarse de un laboratorio radiográfico y un archivo de radiografías y otras imágenes técnicas en distintas bandas espectrales (Cardinali, 2020, p. 74).

Pese a todas las publicaciones mencionadas, quizá la primera gran obra dedicada exclusivamente a las aplicaciones de la radiación UV en patrimonio fue *Ultra-Violet Rays and their Use in the Examination of Works of Art* (Rorimer, 1931), publicada por el Metropolitan Museum of Art. Sentó las bases para el uso de la UVL en el estudio de bienes culturales. Rorimer (1931, p. 51) incluyó una tabla con parámetros para la obtención de sus fotografías (tipos de lámparas, filtros para las lámparas, filtros para el

parameters for obtaining his photographs, providing data such as the type of lamps, the filter used for those lamps, the filter used for the lenses, and exposure times, all using a scientific methodology that, nearly a century later, is quite familiar to us (including, for example, filter transmission spectra).

Just a couple of years later, another cornerstone appeared, when Alex Eibner (1933) published in the journal Mouseion, '*Les rayons ultraviolets appliqués à l'examen des couleurs et des agglutinants*', a work that set a precedent for the study of paintings using this technique and established the framework for other authors' work, as would happen with various publications by De la Rie, half a century later. Lyon (1934), in his text '*Ultraviolet Rays as Aids to Restorers*', offers the first technical usage guidelines for conservators, laying the foundation for the use of Wood's radiation source in preliminary examinations of any piece before intervention and as an aid during the work process (Poldi & Villa, 2006, p. 162). Unintentionally, Lyon's text became one of the major references in introducing a methodology that remains fundamental before and during any restoration process (Webb., 2019). In the following years, the number of publications on ultraviolet fluorescence applications continued to grow beyond cultural heritage field: between 1933 and 1936 alone, more than 300 articles were documented, as recorded by Mathews (1936, pp. 855-856).

Shortly after, another fundamental publication appeared: '*Fluorescence Analysis in Ultra-Violet Light*' by Radley and Grant (1939), a book that immediately became popular, as evidenced by the numerous and successive reprints. Chapter XVIII is dedicated to the examination of heritage artifacts, highlighting the system's benefits for distinguishing between certain genuine and fake objects and for better observing surfaces, as previously indicated. Similarly, chapters XV and XVIII address the use of fluorescence in the study of varnishes and paintings, and fabrics, respectively.

objetivo, tiempos de exposición), empleando una metodología científica muy similar a la que hoy consideramos estándar (incluyendo, por ejemplo, espectros de transmisión de filtros).

Solo un par de años más tarde, Alex Eibner (1933) publicó en *Mouseion Les rayons ultraviolets appliqués à l'examen des couleurs et des agglutinants*, obra que marcó un precedente para el estudio de pinturas mediante esta técnica y estableció el marco para trabajos posteriores, como ocurriría con varias publicaciones de De la Rie décadas después. Lyon (1934), en *Ultraviolet Rays as Aids to Restorers*, ofreció las primeras directrices técnicas para conservadores, sentando las bases del uso de la radiación de Wood en los exámenes preliminares antes de cualquier intervención y como herramienta de apoyo durante el proceso (Poldi y Villa, 2006, p. 162). Sin pretenderlo, el texto de Lyon se convirtió en una de las referencias fundamentales para la metodología que hoy sigue siendo esencial antes y durante cualquier proceso de restauración (Webb, 2019). En los años siguientes, las publicaciones sobre aplicaciones de la luminiscencia UV continuaron creciendo más allá del ámbito patrimonial: solo entre 1933 y 1936 se documentaron más de 300 artículos (Mathews, 1936, pp. 855–856).

Poco después apareció otra publicación fundamental: *Fluorescence Analysis in Ultra-Violet Light* de Radley y Grant (1939), un libro que alcanzó una gran popularidad, como demuestra el elevado número de ediciones sucesivas. El capítulo XVIII está dedicado al examen de bienes patrimoniales e insiste en las ventajas del sistema para distinguir entre objetos genuinos y falsificados, así como para observar mejor sus superficies, tal como ya se había señalado en estudios anteriores. De manera complementaria, los capítulos XV y XVIII abordan el uso de la fluorescencia en el estudio de barnices, pinturas y tejidos.

Continuing with the brief review of the technique's history in heritage applications, the mid-20th century marked the complete popularization of the technique, which became part of the technical cabinets of museums not only for inspecting paintings but also for anthropological, archaeological elements, palimpsests, books, and almost any heritage object. Its uses even extended to site inspection like the study of rock art (Clark, 1954; Holliday, 1961; Webster, 1966).

The next major work in the history of the technique is De la Rie's trilogy (1982a; 1982b; 1982c), titled '*Fluorescence of Paint and Varnish Layers*', published as consecutive chapters in a single issue of *Studies in Conservation*. De la Rie's trilogy, although dedicated to spectroscopic measurement of luminescence phenomena on pictorial materials, varnishes, and binders, and not to 'photographic' issues, remains one of the fundamental pillars for reading and interpreting UVL images. Additionally, it is dedicated entirely to pictorial materials, where the technique typically has the greatest impact.

In the field of conservation-restoration or conservation science, references to this type of technique had become normalized by the mid-century, becoming a staple technique in the last decades of the century, as suggested by publications such as those by Matteini and Moles (1984), Aldrovandi and Picollo (1999, pp. 67-84), or Mairinger (2000, pp. 56-65). Certainly, there have been numerous publications since then mentioning the technique and its contributions, but for brevity and coherence, we do not list them here.

Regarding ultraviolet reflective photography (UVR), its applications in the heritage field, at least during the 20th century, were much more limited than luminescence (Poldi & Villa, 2006, p. 170). As with the previous case, its first applications also date back to the 1930s,

Si continuamos con esta breve revisión histórica, a mediados del siglo xx la técnica ya se encontraba plenamente difundida y formaba parte de los gabinetes técnicos de los museos, aplicándose no solo al examen de pinturas, sino también a objetos antropológicos, elementos arqueológicos, palimpsestos, libros y prácticamente cualquier objeto patrimonial. Sus usos incluso se extendieron al trabajo de campo, como en el estudio del arte rupestre (Clark, 1954; Holliday, 1961; Webster, 1966).

El siguiente gran hito en la historia de la técnica es la trilogía de De la Rie (1982a; 1982b; 1982c), *Fluorescence of Paint and Varnish Layers*, publicada como tres capítulos consecutivos en un mismo número de *Studies in Conservation*. Aunque la trilogía está dedicada a la medición espectroscópica de fenómenos de luminescencia en materiales pictóricos, barnices y aglutinantes —y no a cuestiones estrictamente "fotográficas"— sigue siendo uno de los pilares fundamentales para la lectura e interpretación de imágenes UVL. Además, está dedicada íntegramente a materiales pictóricos, ámbito en el que la técnica produce, por lo general, el mayor impacto.

En el campo de la conservación-restauración y de las ciencias del patrimonio, las referencias a esta técnica se habían normalizado ya a mediados de siglo, convirtiéndose en una herramienta habitual durante las últimas décadas del xx, como demuestran publicaciones de Matteini y Moles (1984), Aldrovandi y Picollo (1999, pp. 67–84) o Mairinger (2000, pp. 56–65). Desde entonces se han publicado numerosos trabajos que mencionan la técnica y sus aplicaciones, aunque, por concisión, no los enumeramos aquí.

En cuanto a la fotografía en reflexión ultravioleta (UVR), sus aplicaciones en patrimonio, al menos durante el siglo xx, fueron mucho más limitadas que las de la luminescencia (Poldi y Villa, 2006, p. 170). Como en el caso anterior, sus primeras aplicaciones datan de la década de 1930, cuando fue presentada como

when they were first presented as forensic expert evidence in a trial (Miller & Marin, 2014, p. 5). As happened with Kögel's initial investigations in the field of luminescence, the technique soon proved useful, for example, for inspecting historical documents, especially those with deteriorated or erased parts, either chemically or mechanically. Indeed, manuscripts made with iron-gall or metal-gall inks exhibit high absorbance in the ultraviolet band, whereas materials such as cellulose paper or parchment show low absorbance, creating an ideal high-contrast situation to enhance the readability of documents with lost texts, faded over time, or even illegible (Pereira, 2019). Thus, much of the applications of this technique in the broad cultural heritage field were especially related to historical documentation. In other fields, like in consevation of easel paintings, however, its uses were somewhat more limited, as noted by historiography. UVR imaging, unlike UVL, occurring in the non-visible band, cannot be seen by the eye, which means that proper execution requires a certain degree of technical expertise with the camera. The complexity of obtaining UVR without specular reflections and glare, typical of varnishes and binders (Herrero-Cortell et al., 2022, p. 59), the need for focus testing since the focus in UV does not coincide with the visible, as it also happens in the IR (Matteini & Moles, 2001, p. 173), and the less information it provides —compared to UVL—have made this technique a less used resource in the conservation heritage field (Poldi & Villa, 2006: 161). Another reason for its limited applications in polychrome artworks (specially paintings) is the frequent presence of varnishes. Varnishes are not very permeable to UV, preventing inspection of the underlying materials (Pereira, 2019). Nevertheless, when possible, UVR imaging was known for its usefulness, for example, in mapping white pigments from the mid-20th century (Mairinger, 2000).

As with luminescence, since the 1980s, numerous authors report the use of 'ultraviolet reflection' as one of the basic techniques for observing and examining heritage objects. Significant works that compile

prueba pericial forense en un juicio (Miller y Marin, 2014, p. 5). Tal como ocurrió con las primeras investigaciones de Kögel en el ámbito de la luminescencia, la UVR demostró rápidamente su utilidad para inspeccionar documentos históricos, especialmente aquellos deteriorados o con textos borrados, ya fuese de forma química o mecánica. En efecto, los manuscritos escritos con tintas ferrogálicas o metálico-gálicas presentan una alta absorbancia en la banda ultravioleta, mientras que materiales como el papel de celulosa o el pergamino presentan una absorbancia baja, generando una situación de alto contraste ideal para recuperar la legibilidad de textos perdidos, desvaídos o incluso aparentemente ilegibles (Pereira, 2019). Por ello, gran parte de sus aplicaciones en patrimonio durante el siglo xx estuvieron vinculadas al ámbito documental. En otras áreas, como la conservación de pintura de caballete, sus usos fueron más limitados, como señala la historiografía. La imagen UVR, al generarse en una banda no visible, exige conocimientos técnicos específicos sobre la captura con cámara. La dificultad de obtener imágenes sin brillos especulares —habituales en barnices y aglutinantes (Herrero-Cortell *et al.*, 2022, p. 59)—, la necesidad de ajustar el enfoque, pues éste no coincide con el visible (del mismo modo que en el IR) (Matteini y Moles, 2001, p. 173), y la menor cantidad de información obtenida respecto a UVL han limitado la adopción de la técnica (Poldi y Villa, 2006, p. 161). Otra razón para su limitado uso en obras policromas (especialmente en pintura) es la presencia casi constante de barnices, poco permeables a la radiación UV, lo que impide la inspección de capas subyacentes (Pereira, 2019). Con todo, cuando podía aplicarse, la UVR era especialmente útil, por ejemplo, para mapear pigmentos blancos en obras de mediados del siglo xx (Mairinger, 2000).

Al igual que en el caso de la luminescencia, desde la década de 1980 numerosos autores mencionan la "reflexión ultravioleta" como una de las técnicas básicas para la observación y examen de objetos patrimoniales.

various approaches to the technical and scientific study of artworks and other heritage materials include those by Matteini and Moles (1984), Petrucci (1991), Dorrell (1994), Aldrovandi and Picollo (1999, pp. 67-84), and Mairinger (2000, pp. 56-65).

The potential uses of the UVR beyond the UVA region were never thoroughly explored. Even at the end of the 20th century, photographing beyond the UVA region was challenging, since here were two major limitations. The first was imposed by the camera optics themselves, as common glass lenses did not allow work below 320 nm. Quartz or fluorite lenses (transparent in the UV range) were essential to work in the far UV, at least down to 220 nm, but these are very specialized lenses, and thus, very expensive and not really common. The other major limitation was the gelatin of the emulsion, which ceases to be transparent below 250 nm (Matteini & Moles, 2001, pp. 169-170). Thus, the phenomenon was typically recorded in the 230 – 400 nm range offered by photographic emulsions, almost always in black and white (Aldrovandi et al., 2004, p. 84). When a color emulsion was used, only the blue-violet layer closest to the UV band was exposed, resulting in monochromatic images with various shades of blue. However, the results with this type of film could be poor, so the aforementioned black-and-white films were preferred, such as the *Kodak Microfilm PAN 35mm* (along with a normal or soft developer) or high-contrast films like the *Kodak Photomicography* SO 410 (Matteini & Moles, 2001, pp. 169-170). Additionally, bandpass filters were necessary to only allow the transmission of UV radiation, blocking the VIS and IR, such as the Kodak Wratten 18A.

With the transition from analog to digital photography in the 1990s, the acquisition of images using UV radiation (both in reflection and luminescence) began to experience a certain normalization (Fabbri, 1999; Poldi and Villa, 2006: 162). However, black-and-white films for ultraviolet did not disappear immediately and

Entre las obras más significativas que recopilan metodologías técnicas y científicas aplicadas a obras de arte y otros bienes patrimoniales se encuentran las de Matteini y Moles (1984), Petrucci (1991), Dorrell (1994), Aldrovandi y Picollo (1999, pp. 67–84) y Mairinger (2000, pp. 56–65).

Los posibles usos de la UVR más allá de la región UVA nunca llegaron a explorarse de forma sistemática. Incluso a finales del siglo xx, la fotografía fuera de la región UVA presentaba dos limitaciones fundamentales. La primera estaba impuesta por la propia óptica de las cámaras: los objetivos de vidrio común no permiten trabajar por debajo de 320 nm. Para acceder al UV lejano se requerían objetivos de cuarzo o fluorita —transparentes en dicha banda—, pero su elevado coste y su carácter altamente especializado los hacían poco habituales. La segunda limitación era la propia gelatina de la emulsión fotográfica, que deja de ser transparente por debajo de 250 nm (Matteini y Moles, 2001, pp. 169–170). Por ello, el fenómeno se registraba normalmente entre 230 y 400 nm, casi siempre en blanco y negro (Aldrovandi *et al*., 2004, p. 84). Cuando se usaban emulsiones en color, únicamente la capa azul-violeta —la más próxima al UV— quedaba expuesta, generando imágenes monocromas de tonos azulados. Sin embargo, los resultados eran irregulares y se preferían las películas en blanco y negro, como Kodak Microfilm PAN 35mm (con revelador normal o suave) o películas de alto contraste como Kodak Photomicography SO 410 (Matteini y Moles, 2001, pp. 169–170). Además, se necesitaban filtros de banda estrecha que permitiesen únicamente el paso de la radiación UV, bloqueando VIS e IR, como el Kodak Wratten 18A.

Con la transición de la fotografía analógica a la digital en la década de 1990, la obtención de imágenes en UV (tanto en reflexión como en luminiscencia) comenzó a normalizarse (Fabbri, 1999; Poldi y Villa, 2006, p. 162). No obstante, las películas en blanco y negro para UV no desaparecieron de inmediato y siguieron

continued to be used at least during the first decade of the 21st century due to their optimal sensitivity of up to 230nm in the UV band (Aldrovandi et al., 2004, p. 88).

Although briefly mentioned here (since its true boom developed in its digital version), it is worth noting, to conclude this section, the ultraviolet false-color technique (UVFC) developed by Aldrovandi et al. (2004), following the steps of infrared false-color. Alrovandi et al. proposed a verification of the two modalities (analog and digital) with two processes. In the analog version (the digital one will be discussed later), they suggested using two films: one in color and the other in black and white specifically for UVR photography, with the photograph taken twice with the same framing. The images were then developed, scanned, and digitally post-processed. Probably, the analog version never had time to develop or be adopted by the scientific community, as, by that time, digital photography had already become standardized and, essentially, the image post-production was entirely digital.

Analog Photographic Techniques in the Infrared Range

Photographic techniques in the infrared range were being developed along side those using ultraviolet radation. Similar to photographic techniques using ultraviolet radiation, techniques using infrared radiation have been important in the study of museum objects.

On February 11, 1800, English physicist and astronomer Sir Frederick William Herschel, was engaged in a scientific experiment to measure the temperature of colors, as he intuited that they were associated with different temperatures, as he could prove. By using some thermometers and a glas prism, not only could Hershel notice that colors had different temperatures, but also in that first experiment he could demonstrate that heat could be transmitted by

empleándose al menos durante la primera década del siglo xxi debido a su excelente sensibilidad hasta los 230 nm (Aldrovandi *et al.*, 2004, p. 88).

Aunque se mencione aquí brevemente —pues su verdadero desarrollo ocurrió en su versión digital—, conviene recordar para cerrar esta sección la técnica del falso color ultravioleta (UVFC) desarrollada por Aldrovandi *et al.* (2004), siguiendo la estela del falso color infrarrojo. Los autores propusieron una verificación de ambas modalidades (analógica y digital) mediante dos procesos. En la versión analógica —la digital se abordará más adelante— sugerían utilizar dos películas: una en color y otra en blanco y negro específica para UVR, realizando dos tomas con el mismo encuadre. Las imágenes se revelaban, se digitalizaban y se procesaban posteriormente por vía digital. Probablemente, la versión analógica no llegó a desarrollarse ni adoptarse plenamente, pues en ese momento la fotografía digital ya se había normalizado y, en esencia, el posprocesado era enteramente digital.

Técnicas fotográficas analógicas en el rango infrarrojo

Las técnicas fotográficas en el rango infrarrojo fueron desarrollándose paralelamente a aquellas que empleaban radiación ultravioleta. De manera similar a las técnicas fotográficas basadas en radiación UV, las técnicas que utilizan radiación infrarroja han sido importantes en el estudio de los objetos museísticos.

El 11 de febrero de 1800, el físico y astrónomo inglés Sir Frederick William Herschel realizaba un experimento científico para medir la temperatura de los colores, pues intuía que estaban asociados a temperaturas distintas, lo cual pudo demostrar. Utilizando varios termómetros y un prisma de vidrio, Herschel no solo pudo comprobar que los colores tenían diferentes temperaturas, sino que en ese primer experimento consiguió demostrar que el calor podía transmitirse mediante una «forma invisible de luz». Herschel llamó a

an "invisible form of light". Herschel called this radiation 'calorific rays'. He had just discovered infrared radiation (Minkina, 2021). However, it would take more than a century for this radiation to be photographed (Ring, 2000).

The silver halide emulsions used in photography until the early 20th century were not sensitive to wavelengths longer than blue or, at most, green light, making infrared photography impossible with these emulsions without the addition of a dye acting as a color sensitizer. In 1873, dye substances were discovered that could extend the sensitivity of plates towards the infrared region (Poldi & Villa, 2006, p. 43), although they would not begin to be used until the early 20th century.

As mentioned, the first infrared (IR) photographs published appeared in the February 1910 edition of '*The Century Magazine*' and the October 1910 edition of the '*Royal Photographic Society Journal*' to illustrate the works of Robert William Wood. The physicist had taken these photographs using experimental film that required very long exposures. With the use of certain dye substances, it was possible to create photographic emulsions capable of recording longer wavelength radiation than the visible, capable of operating with shorter exposure times (Matteini & Moles, 2001, p. 178). Infrared-sensitive photographic plates were developed in the United States during World War I for spectroscopic analysis, and infrared sensitizing dyes were researched to improve haze penetration in military aerial photography. By the early 1930s, Kodak began marketing new emulsions that were immediately welcomed by photography enthusiasts and for technical applications such as aerial photography, astronomy, and in the field of applied sciences for the conservation and restoration of cultural heritage. The success of infrared photography was such that by 1937 there were already 33 types of infrared

esta radiación *rayos caloríficos*. Acababa de descubrir la radiación infrarroja (Minkina, 2021). No obstante, tendría que pasar más de un siglo para que esta radiación pudiera fotografiarse (Ring, 2000).

Las emulsiones de haluros de plata utilizadas en fotografía hasta comienzos del siglo xx no eran sensibles a longitudes de onda superiores a la luz azul o, como mucho, verde, de modo que la fotografía infrarroja era imposible sin añadir a la emulsión un tinte que actuara como sensibilizador cromático. En 1873 se descubrieron sustancias colorantes que podían extender la sensibilidad de las placas hacia la región infrarroja (Poldi y Villa, 2006, p. 43), aunque su uso no se generalizaría hasta principios del siglo xx.

Como se ha mencionado, las primeras fotografías infrarrojas publicadas aparecieron en la edición de febrero de 1910 de *The Century Magazine* y en la edición de octubre de 1910 del *Royal Photographic Society Journal*, ilustrando los trabajos de Robert William Wood. El físico había tomado estas fotografías con películas experimentales que requerían exposiciones muy largas. Con el uso de ciertas sustancias colorantes fue posible crear emulsiones fotográficas capaces de registrar radiación de mayor longitud de onda que la visible, permitiendo trabajar con tiempos de exposición más cortos (Matteini y Moles, 2001, p. 178). Durante la Primera Guerra Mundial se desarrollaron placas fotográficas sensibles al infrarrojo en Estados Unidos para análisis espectroscópicos, y se investigaron colorantes sensibilizadores para mejorar la penetración de bruma en la fotografía aérea militar. A comienzos de la década de 1930, Kodak comenzó a comercializar nuevas emulsiones que fueron inmediatamente bien recibidas por los entusiastas de la fotografía y para aplicaciones técnicas como la fotografía aérea, la astronomía y el campo de las ciencias aplicadas a la conservación y restauración del patrimonio cultural. El éxito de la fotografía infrarroja fue tal que en 1937 ya existían 33 tipos de películas

films available from five manufacturers, including Agfa, Kodak, and Ilford (Clark, 1939).

As with ultraviolet photography, the 1930s saw the rise of infrared photography in heritage applications. The principle had been described by Kubelka and Munk in 1931, who presented the theory explaining how infrared radiation works. However, the first major scientific publication in this field dates to 1934. It is the article '*Infrared Radiations Aid Examinations of Paintings*' (Lyon, 1934), published in the second issue of '*Technical Studies in the Field of Fine Arts*'. In the text, Arcadius Lyon, the scientist in charge of the Fogg Art Museum laboratory at Harvard University, presented the utility of infrared photography for documenting paintings under layers of oxidized varnishes and for identifying repainted areas, systematically exposing a work method that would be quickly emulated by other authors due to its effectiveness. Thus, in the following years, other significant publications followed this same line. Notably, the brief note '*A Novel Infra-Red Camera for Art Gallery Work*' by F. Ian G. Rawlins (1936), conservator in charge of the laboratory at the National Gallery in London, published in '*The Museums Journal*'. The article briefly presented a prototype fixed-focus camera for examining artworks veiled by layers of oxidized varnish or dirt, following Lyon's approach. Between that same year and the following, Mary Farnsworth, Lyon's laboratory colleague, published '*Infra-red Absorption of Paint Materials*' (Farnsworth, 1939). The text revealed the results of an experiment in which 48 pigments were recorded with infrared photography with 16 plates (using two types of emulsions and eight different sensitivities). The importance of this study lies in the fact that, for the first time, they attempted to systematize the results of pigment behavior, even using both pure pigments and various binders, something that, many years later, as will be seen, continues to generate enormous interest.

infrarrojas disponibles de cinco fabricantes, entre ellos Agfa, Kodak e Ilford (Clark, 1939).

Al igual que con la fotografía ultravioleta, la década de 1930 fue testigo del auge de la fotografía infrarroja en aplicaciones patrimoniales. El principio había sido descrito por Kubelka y Munk en 1931, quienes presentaron la teoría que explicaba el funcionamiento de la radiación infrarroja. Sin embargo, la primera gran publicación científica en este campo data de 1934: el artículo *Infrared Radiations Aid Examinations of Paintings* (Lyon, 1934), publicado en el segundo número de *Technical Studies in the Field of Fine Arts*. En este texto, Arcadius Lyon, científico responsable del laboratorio del Fogg Art Museum de la Universidad de Harvard, presentaba la utilidad de la fotografía infrarroja para documentar pinturas bajo capas de barnices oxidados y para identificar repintes, exponiendo de manera sistemática un método de trabajo que pronto sería emulado por otros autores debido a su eficacia. En los años siguientes aparecieron otras publicaciones relevantes en esta misma línea. Destaca la breve nota *A Novel Infra-Red Camera for Art Gallery Work* de F. Ian G. Rawlins (1936), conservador responsable del laboratorio de la National Gallery de Londres, publicada en *The Museums Journal*. El artículo presentaba brevemente una cámara de enfoque fijo para examinar obras cubiertas por capas de barniz oxidado o suciedad, siguiendo el enfoque de Lyon. Entre ese mismo año y el siguiente, Mary Farnsworth, compañera de laboratorio de Lyon, publicó *Infra-red Absorption of Paint Materials* (Farnsworth, 1939). El texto revelaba los resultados de un experimento en el que se registraron 48 pigmentos mediante fotografía infrarroja con 16 placas (utilizando dos tipos de emulsiones y ocho sensibilidades distintas). La importancia de este estudio radica en que, por primera vez, se intentaba sistematizar el comportamiento de los pigmentos, empleando tanto pigmentos puros como distintos aglutinantes; algo que, como se verá, seguirá despertando enorme interés muchos años después.

At the beginning of the next decade, the aforementioned Ian Rawlins (1940) published the book that would become a cornerstone of the discipline: '*From the National Gallery Laboratory*'. For the first time, this work established a comparative method between infrared photography and radiography, making it one of the seminal references in the conservation of cultural heritage field, particularly for the concept of technical comparation (Poldi & Villa, 2006, p. 43). This publication was immediately followed by another significant work by Sheldon Keck (1941) from the Brooklyn Museum. This was the first article to relate infrared images to underlying preliminary drawings and, more broadly, to painting techniques—topics that would typically be associated with most publications on infrared photography from the second half of the 20th century onward.

According to Poldi and Villa (2006, p. 43), infrared photography became a routine analysis technique in many European laboratories from the 1950s onwards, especially applied to Flemish paintings or others that, due to their technical characteristics, allowed the study of their underlying drawings or previous interventions. Thus, the laboratories of the most eminent European and North American museums began to adopt infrared photography as a primary tool, although this did not translate into a greater number of publications on the subject in various heritage fields. In addition to use in museums, infrared photograph was applied in the field with an example being the recording of rock paintings (Pedersen, 1953-1954).

Van Asperen de Boer's experiments (1969) with vidicon sensors brought a whole new array of possibilities for infrared images. However, as mentioned in the introduction, since this involves a different type of sensor, we will not address its functionality or performance here. There is abundant literature on reflectography—for a brief overview, see Poldi and Villa (2006, pp. 66-68), who, in our opinion,

A comienzos de la década siguiente, el mencionado Ian Rawlins (1940) publicó el libro que se convertiría en una piedra angular de la disciplina: *From the National Gallery Laboratory*. Por primera vez, este trabajo establecía un método comparativo entre fotografía infrarroja y radiografía, convirtiéndose en una referencia fundamental en el campo de la conservación del patrimonio cultural, especialmente por el concepto de comparación técnica (Poldi y Villa, 2006, p. 43). A esta publicación siguió inmediatamente otro trabajo significativo de Sheldon Keck (1941), del Brooklyn Museum. Este fue el primer artículo que relacionó las imágenes infrarrojas con los dibujos preparatorios subyacentes y, más ampliamente, con las técnicas pictóricas, temas que desde entonces serían habituales en la bibliografía sobre fotografía infrarroja durante la segunda mitad del siglo xx.

Según Poldi y Villa (2006, p. 43), desde la década de 1950 la fotografía infrarroja se convirtió en una técnica de análisis rutinaria en muchos laboratorios europeos, especialmente aplicada a pinturas flamencas u otras que, por sus características técnicas, permitían estudiar sus dibujos subyacentes o intervenciones previas. Así, los laboratorios de los museos europeos y norteamericanos más prestigiosos comenzaron a adoptar la fotografía infrarroja como herramienta principal, aunque esto no se tradujo en un mayor número de publicaciones en los diversos ámbitos patrimoniales. Además de su uso en los museos, la fotografía infrarroja se aplicó también en campo, siendo un ejemplo destacado el registro de pinturas rupestres (Pedersen, 1953-1954).

Los experimentos de Van Asperen de Boer (1969) con sensores vidicón abrieron un abanico completamente nuevo de posibilidades para las imágenes infrarrojas. No obstante, como ya se señaló en la introducción, dado que se trata de un tipo distinto de sensor, no se abordará aquí su funcionamiento o rendimiento. Existe abundante bibliografía sobre reflectografía; para una visión general, puede consultarse Poldi y Villa (2006, pp. 66–68), quienes, en nuestra opinión, recogen las principales

cover the main contributions on the subject. In any case, it is worth recalling that, again, black-and-white photography became the basic auxiliary medium for reflectography, recording images formed on cathode ray tube monitors.

Beyond the advent of infrared reflectography, the 1960s also saw significant developments in other infrared photographic techniques. The first major contribution we will address here is the introduction of visible-induced infrared luminescence (VIL) and ultraviolet-induced infrared luminescence (UVIL). This technique involves exciting a material with a visible light source or with an UV lamp, depending on the chosen technique, and capturing luminescence in the infrared range. The phenomenon of infrared luminescence was first observed in 1911 (Ellen & Creer, 1970). In the late 1930s, an infrared image converter was introduced, allowing the detection of this effect through a different process than photography. In 1959, infrared luminescence was applied to document examination, and paintings (Gibson & Clarck, 1978, pp. 163-165), and since then, numerous works have been published (Ellen & Creer, 1970), although its applications in the heritage field began in the 1960s. The technique immediately showed excellent potential for studying restored paintings and detecting altered documents.

In an article published in '*Studies in Conservation*', Bridgman and Gibson (1963) discussed the properties of this technique in applications for the photographic examination of paintings and other artistic objects. The pigments involved in this phenomenon absorb incident radiation and emit a broad band in the infrared range around 910 nm. When the material is irradiated with visible light, if the resulting image is displayed in grayscale, some pigments can be mapped. For example, Egyptian blue appears bright white, as does Chinese Han blue, and also cadmium

aportaciones en la materia. En cualquier caso, conviene recordar que, nuevamente, la fotografía en blanco y negro se convirtió en el medio auxiliar básico para la reflectografía, registrando las imágenes formadas en monitores de tubos de rayos catódicos.

Más allá del auge de la reflectografía infrarroja, la década de 1960 también fue testigo de desarrollos significativos en otras técnicas fotográficas infrarrojas. La primera gran aportación que abordaremos aquí es la introducción de la luminiscencia infrarroja inducida por luz visible (VIL) y de la luminiscencia infrarroja inducida por radiación ultravioleta (UVIL). Esta técnica consiste en excitar un material mediante una fuente de luz visible o mediante una lámpara UV, según la variante empleada, y registrar la luminiscencia en el rango infrarrojo. El fenómeno de la luminiscencia infrarroja fue observado por primera vez en 1911 (Ellen y Creer, 1970). A finales de la década de 1930 se introdujo un convertidor de imagen infrarroja que permitía detectar este efecto mediante un proceso distinto al fotográfico. En 1959 la luminiscencia infrarroja se aplicó al examen de documentos y de pinturas (Gibson y Clarck, 1978, pp. 163–165), y desde entonces se han publicado numerosos trabajos (Ellen y Creer, 1970), aunque sus aplicaciones en el ámbito patrimonial comenzaron en los años sesenta. La técnica mostró de inmediato un excelente potencial para el estudio de pinturas restauradas y para la detección de documentos alterados.

En un artículo publicado en *Studies in Conservation*, Bridgman y Gibson (1963) analizaron las propiedades de esta técnica en aplicaciones destinadas al examen fotográfico de pinturas y otros objetos artísticos. Los pigmentos implicados en este fenómeno absorben la radiación incidente y emiten una banda amplia en el rango infrarrojo alrededor de 910 nm. Cuando el material se irradia con luz visible, si la imagen resultante se presenta en escala de grises, algunos pigmentos pueden cartografiarse. Por ejemplo, el azul egipcio aparece blanco brillante, al igual que el azul Han chino y también los

pigments. Nevertheless, when the source is UV radiation, the aforementioned cadmium pigments, particularly cadmium red, emit strong infrared luminescence, appearing very bright (Herrero-Cortell et al., 2022).

To record this infrared luminescence, in VIL, a filter can be placed on tungsten photo lights or radiation source to eliminate all infrared components that might reach the painting. The necessary filter should block red light, making it appear blue-green. Bridgman and Gibson's study shows that one possible application of this technique is studying paintings with thick varnish layers. The photography must be done in a completely dark room, and small bulbs are the most suitable type of lamps because they can easily be equipped with a small blue-green filter. An example of a filter used by Bridgman and Gibson is the Corning Glass Color Filter No. 9780, which needs protection with heat-absorbing glass to prevent breakage (Bridgman & Gibson, 1963). In UVIL a common UV source it's used, being necessary to block any infrared and visible radiations.

The other major contribution to infrared photography in the 1960s was the invention of chromatic infrared films, which led to the development of false-color infrared photography (IRFC). The first color infrared films were developed during World War II for aerial reconnaissance, terrain inspection, and detecting camouflaged vehicles. A good example is the Kodacolor Aero-Reversal-Film. The film gained great popularity in its 35mm version in the 1960s, both in *Kodak Ektachrome Infrared EIR* and *Kodak Aerocrome* III 1443 versions, although the latter's production was discontinued. These films were well-received, especially for artistic and commercial purposes, partly because the colorful results matched the taste of the time, with the psychedelic movement being the main user. Its utilities began to be tested in the late 1960s, and the first

pigmentos de cadmio. Sin embargo, cuando la fuente es radiación UV, los citados pigmentos de cadmio —particularmente el rojo de cadmio— emiten una luminiscencia infrarroja intensa, apareciendo muy brillantes (Herrero-Cortell *et al.*, 2022).

Para registrar esta luminiscencia infrarroja, en VIL puede colocarse un filtro sobre las lámparas fotográficas de tungsteno o sobre la fuente de radiación para eliminar todos los componentes infrarrojos que pudieran alcanzar la pintura. El filtro necesario debe bloquear la luz roja, haciéndola parecer azul verdosa. El estudio de Bridgman y Gibson muestra que una posible aplicación de esta técnica es el estudio de pinturas con capas gruesas de barniz. La fotografía debe realizarse en total oscuridad, y las lámparas de pequeño tamaño son las más adecuadas porque pueden equiparse fácilmente con un pequeño filtro azul verdoso. Un ejemplo de filtro utilizado por Bridgman y Gibson es el *Corning Glass Color Filter No. 9780*, que necesita protección con un vidrio absorbente de calor para evitar roturas (Bridgman y Gibson, 1963). En UVIL se emplea una fuente UV común, siendo necesario bloquear cualquier radiación infrarroja y visible.

La otra gran aportación a la fotografía infrarroja en los años sesenta fue la invención de las películas infrarrojas cromáticas, que conduciría al desarrollo de la fotografía infrarroja de falso color (IRFC). Las primeras películas infrarrojas en color fueron desarrolladas durante la Segunda Guerra Mundial para reconocimiento aéreo, inspección de terrenos y detección de vehículos camuflados. Un buen ejemplo es la *Kodacolor Aero-Reversal-Film*. La película alcanzó gran popularidad en su versión de 35 mm durante los años sesenta, tanto en sus versiones Kodak Ektachrome Infrared EIR como Kodak Aerocrome III 1443, aunque la producción de esta última se interrumpió. Estas películas fueron muy apreciadas, especialmente para fines artísticos y comerciales, en parte porque los resultados coloridos encajaban con los gustos de la época, siendo los artistas del

publication on the subject appeared. It was '*Infrared Color Photography of Painting Materials*' by Olin & Carter (1968), scientists at the at the Smithsonian's Conservation Analytical Laboratory. In the article, the authors presented the results of an experiment with 85 pigments bound with oil, water, etc., which had been recorded in IRFC, noting the main characteristics and recommending the technique for documenting overpaint and additions. The authors, who already mentioned the popular nomenclature of 'false-color', provided some technical foundations and explained how the color emulsion layers worked. They also noted the number of variables that could influence the results, pointing out the filter choice as one of the major factors and emphasizing the need for consistency in the technique's practice. Although they admitted that the film could be used with conventional IR filters—such as the Wratten No. 87—they recommended using the Wratten No. 12 to register radiation between 500 and 900 nm, utilizing the film's full color potential. From that moment on, publications on the use of this technique, especially for pigment identification, continued to appear (Matteini et al., 1980; Matteini & Moles, 1984; Hoeniger, 1991; Kushel & Hoeniger, 1992). In the early 1990s, Moon et al. (1992) again highlighted the variability of results, insisting on the need to standardize reproducible methods to gain consistency and comparability. To this end, they proposed a more specific work methodology with *Kodak 2236* film.

Another significant advance in the 1960s was working with infrared transmission (IRT), which was more popular than one might imagine. Bridgman and Gibson (1963) already mentioned it in the introduction of their work on IR luminescence, although there is very little significant literature on the subject. In fact, regarding IR transmission techniques, beyond the anecdotal mention by Bridgman and Gibson, the first works appeared in the next decade.

movimiento psicodélico sus principales usuarios. Sus utilidades comenzaron a testarse a finales de los años sesenta, cuando apareció la primera publicación sobre la materia: *Infrared Color Photography of Painting Materials* de Olin y Carter (1968), científicos del Smithsonian's Conservation Analytical Laboratory. En el artículo, los autores presentaron los resultados de un experimento con 85 pigmentos aglutinados con óleo, agua, etc., registrados mediante IRFC, observando sus características principales y recomendando la técnica para documentar repintes y añadidos. Los autores, que ya empleaban la nomenclatura popular de «falso color», aportaron algunas bases técnicas y explicaron el funcionamiento de las capas de emulsión cromática. Señalaron asimismo el elevado número de variables que podían influir en los resultados, destacando la elección del filtro como uno de los factores más determinantes e insistiendo en la necesidad de coherencia en la práctica de la técnica. Aunque admitían que la película podía usarse con filtros IR convencionales —como el Wratten No. 87—, recomendaban utilizar el Wratten No. 12 para registrar radiación entre los 500 y los 900 nm, aprovechando todo el potencial cromático de la película. Desde ese momento siguieron apareciendo publicaciones sobre el uso de esta técnica, especialmente en la identificación de pigmentos (Matteini *et al.*, 1980; Matteini y Moles, 1984; Hoeniger, 1991; Kushel y Hoeniger, 1992). A comienzos de la década de 1990, Moon *et al.* (1992) volvieron a subrayar la variabilidad de los resultados, insistiendo en la necesidad de estandarizar métodos reproducibles para obtener consistencia y comparabilidad. Con este fin, propusieron una metodología de trabajo más específica con la película Kodak 2236.

Otro avance significativo de los años sesenta fue el trabajo con transmisión infrarroja (IRT), que fue más popular de lo que podría parecer. Bridgman y Gibson (1963) ya la mencionaban en la introducción de su trabajo sobre luminiscencia infrarroja, aunque existe muy poca bibliografía significativa al respecto. De hecho, en cuanto a técnicas de transmisión IR, más allá de la

Although the technique became popular in fields like geology in the 1960s (Rhoads & Stanley, 1966), the first experiments in painting were conducted in the 1960s, but their results were not published until the next decade (Riley & Berger, 1971; Cornelius 1977). However, the most important work on the subject is probably by Dan Kushel (1985) from the State University of New York College at Buffalo, presenting the work method as routine, acknowledging the scant literature on the subject until then. Kushel used both photographic materials and a vidicon camera. Surprisingly, despite the quality and relevance of the results, the technique continued to go relatively unnoticed until more recent times (Herrero-Cortell et al., 2021, p. 63). Nevertheless, by 1990, both transmitted infrared photography and trasnmittography were standardized and well-known techniques, although probably not commonly used (Wainwright, 1990).

Infrared photography, by the end of the 20th century was mainly devoted to the study of paintings and other polychrome artifacts, especially in the search of execution evidence, underneath constructions and underdrawings (Delaney, 1993). With some specific publication, already devoted entirely to IR photography, like the one made by Kodak (1981), IR images got really popular among art conservators, being together with UVL the most common applied images to cultural artifacts.

In any case, before concluding the section on IR photography, it is necessary to remember that, as with UV photography, even until the late 20th century, there were certain physical and instrumental limitations that shortened the possibilities of working in the IR band. For example, most infrared-sensitive emulsions did not exceed 900 nm, although some special emulsion films reached 1300 nm. However, their use was very exceptional and rarely

mención anecdótica de Bridgman y Gibson, los primeros trabajos aparecieron en la década siguiente. Aunque la técnica se hizo popular en campos como la geología en los años sesenta (Rhoads y Stanley, 1966), los primeros experimentos en pintura se realizaron en esa misma década, pero sus resultados no se publicaron hasta la siguiente (Riley y Berger, 1971; Cornelius 1977). Sin embargo, probablemente el trabajo más importante sobre este tema sea el de Dan Kushel (1985), de la State University of New York College at Buffalo, en el que presentaba el método de trabajo como rutina, señalando la escasa bibliografía existente hasta entonces. Kushel utilizó tanto materiales fotográficos como una cámara vidicón. Sorprendentemente, a pesar de la calidad y la relevancia de los resultados, la técnica continuó pasando relativamente desapercibida hasta tiempos más recientes (Herrero-Cortell *et al.*, 2021, p. 63). No obstante, hacia 1990 tanto la fotografía infrarroja transmitida como la transmitografía estaban ya estandarizadas y bien conocidas, aunque probablemente poco utilizadas (Wainwright, 1990).

A finales del siglo xx, la fotografía infrarroja se dedicaba principalmente al estudio de pinturas y otros objetos policromos, en particular en la búsqueda de evidencias de ejecución, construcciones subyacentes y dibujos preparatorios (Delaney, 1993). Con algunas publicaciones específicas centradas enteramente en fotografía IR, como la elaborada por Kodak (1981), las imágenes IR se popularizaron enormemente entre los conservadores-restauradores, siendo —junto con la UVL— las imágenes no visibles más comúnmente aplicadas a los objetos culturales.

En cualquier caso, antes de concluir la sección dedicada a la fotografía IR, conviene recordar que, al igual que ocurría con la fotografía UV, incluso hasta finales del siglo xx existían ciertas limitaciones físicas e instrumentales que restringían las posibilidades de trabajo en la banda infrarroja. Por ejemplo, la mayoría de emulsiones sensibles al infrarrojo no superaban los 900 nm,

effective, as they required very low temperatures to ensure emulsion persistence (Matteini & Moles, 2001, p.169).

Imaging in the Heritage Field in the Digital Era

The first experiments in digital photography began in the 1950s with Russell Kirsch capturing what is considered the first digital image in 1957. Much of the technology originated in the space industry, aimed at remote telemetry, and the first images of Mars taken in 1965 were already digital. Continuous research in semiconductors marked the development of the digital era, which, although it began during the space race, did not fully develop its potential until the end of the century when it started to reach the public progressively. The turn of the century marked the end of the analog era (Williams, 2017, pp. 245-247).

The advent of digital photography also led to cultural changes in the field of photography. Unlike film photography, darkrooms and hazardous chemicals were no longer necessary for image post-production; images could now be processed and enhanced from a personal computer, stored, shared, multiplied, and reproduced with the click of a button. This allowed photographers to be more creative with their processing and editing techniques. At the same time, digital photography became a fundamental tool in the conservation, documentation, and study of heritage. As the field grew in popularity, digital photography and photographers diversified, leading to certain specializations. Digital photography expanded the field of photography, which had previously been more elitist and limited, and democratized it, bringing it closer to the general public (Lister, 2013, p. 86). The adoption of these technologies in the conservation and historical, artistic, and technical study

aunque algunas películas especiales podían alcanzar los 1300 nm. Sin embargo, su uso era muy excepcional y rara vez efectivo, pues requerían temperaturas muy bajas para garantizar la estabilidad de la emulsión (Matteini y Moles, 2001, p. 169).

La imagen en el ámbito patrimonial en la era digital

Los primeros experimentos en fotografía digital comenzaron en la década de 1950, cuando Russell Kirsch capturó en 1957 lo que se considera la primera imagen digital. Gran parte de esta tecnología tuvo su origen en la industria espacial, orientada a la telemetría remota, y las primeras imágenes de Marte tomadas en 1965 eran ya digitales. La investigación continua en semiconductores marcó el desarrollo de la era digital que, aunque había comenzado durante la carrera espacial, no desarrolló plenamente su potencial hasta finales del siglo xx, cuando empezó a llegar progresivamente al público. El cambio de siglo marcó el fin definitivo de la era analógica (Williams, 2017, pp. 245–247).

La llegada de la fotografía digital trajo consigo también cambios culturales en el campo fotográfico. A diferencia de la fotografía química, ya no eran necesarias las cámaras oscuras ni productos químicos peligrosos para la postproducción de imágenes; estas podían procesarse y mejorarse desde un ordenador personal, almacenarse, compartirse, multiplicarse y reproducirse con un simple clic. Esto permitió a los fotógrafos ser más creativos con sus técnicas de edición y procesado. Al mismo tiempo, la fotografía digital se convirtió en una herramienta fundamental para la conservación, documentación y estudio del patrimonio. A medida que el campo creció en popularidad, la fotografía digital y sus profesionales se diversificaron, dando lugar a ciertas especializaciones. La fotografía digital expandió un ámbito previamente más elitista y limitado, democratizándolo y acercándolo al público general (Lister, 2013, p. 86). La adopción de estas

of art represented a significant paradigm shift, a technical revolution like few others. The constant collaboration between engineers, conservators, and art historians always fostered an interdisciplinary interest that allowed the development of innovative techniques and methodologies for the analysis and conservation of cultural heritage.

The Advent of Digital Photography

Digital photography was born with the introduction of digital cameras equipped with CCD (Charge Coupled Device) and later CMOS (Complementary Metal-Oxide Semiconductor) silicon solid-state sensors. These sensors transform a light signal into an electronic signal, which is converted into a digital signal that allows the captured image to be reconstructed, stored, and eventually processed (Butkoswki & Kempen, 1998). The main advantage of digital photography over analog is the immediacy with which the captured image can be viewed, without waiting for developing and printing processes.

The first portable digital camera, though conceived as a prototype not intended for production, was created in 1975 by Steven Sasson of Eastman Kodak. The camera used a CCD image sensor, developed in 1970 (Boyle & Smith, 1970). The camera weighed 3.6 kg, recorded black and white images on a cassette tape, and had a resolution of 0.01 megapixels (10,000 pixels). In 1981, Sony produced the first camera that could be considered consumer-grade (Peres, 2013). However, those early digital images were far from being able to compete with analog photography, for obvious cost reasons (it was still a sparsely developed technology, accessible to few and still with low image resolution and high volume and weight compared to analog cameras of those years). The first digital SLR (DSLR) camera was the Nikon SVC prototype dating from 1986, followed by the commercial Nikon QV-1000C launched two

tecnologías en la conservación y en el estudio histórico, artístico y técnico del arte supuso un cambio de paradigma, una revolución técnica como pocas. La colaboración constante entre ingenieros, conservadores e historiadores del arte fomentó un interés interdisciplinar que permitió el desarrollo de técnicas y metodologías innovadoras para el análisis y la conservación del patrimonio cultural.

El advenimiento de la fotografía digital

La fotografía digital nació con la introducción de cámaras equipadas con sensores de estado sólido de silicio CCD (Charge Coupled Device) y, posteriormente, CMOS (Complementary Metal-Oxide Semiconductor). Estos sensores transforman una señal luminosa en una señal electrónica, que luego se convierte en una señal digital capaz de reconstruir, almacenar y posteriormente procesar la imagen capturada (Butkoswki y Kempen, 1998). La principal ventaja de la fotografía digital frente a la analógica es la inmediatez con la que puede visualizarse la imagen, sin necesidad de procesos de revelado e impresión.

La primera cámara digital portátil, concebida como un prototipo no destinado a la producción comercial, fue creada en 1975 por Steven Sasson, de Eastman Kodak. La cámara utilizaba un sensor CCD, desarrollado en 1970 (Boyle y Smith, 1970). Pesaba 3,6 kg, registraba imágenes en blanco y negro en una cinta de casete y tenía una resolución de 0,01 megapíxeles (10.000 píxeles). En 1981, Sony produjo la primera cámara que podía considerarse de consumo (Peres, 2013). No obstante, aquellas primeras imágenes digitales estaban aún muy lejos de competir con la fotografía analógica, por razones obvias de coste —era una tecnología poco desarrollada, accesible solo para unos pocos, con baja resolución y un volumen y peso muy superiores al de las cámaras analógicas de la época—. La primera cámara réflex digital (DSLR) fue el prototipo Nikon SVC de 1986, seguida por la Nikon QV-1000C comercializada dos años después.

years later. However, the popularization of digital cameras did not begin until a decade later, coinciding with the late 20th century, with cameras such as the DYCAM Model 1 (Said, 1990, p. 34).

The first examples of digital technology for the study of artworks occurred in 1987, when the first digital imaging system for monitoring the conservation status of the Charters of Freedom was completed by the National Archives and Records Administration of the United States. This involved using a camera with a CCD sensor capable of detecting minute changes in paper and inks over time (Poldi & Villa, 2006). These were the beginnings of so-called multispectral photography, which would grown over the next two decades as a fundamental tool in the study of heritage (Aldrovandi et al., 1988).

In the late 1980s, a consortium of European museums led by the National Gallery in London launched the VASARI project (Visual Art System for Archiving and Retrieval of Images) for digital archiving (Striova et al., 2020). The instrumentation developed within the VASARI project used a relatively small CCD camera (500x290 pixels) connected to a 386 processor (Saunders & Cuppit, 1993; Saunders, 1997). Subsequently, from 1992 to 1995, another European project with similar technology was developed: MARC (Methodology for Art Reproduction in Color), which built on the results of the VASARI project to create a system capable of capturing, archiving, and manipulating higher-quality images. The aim was to create a semi-portable camera with a resolution of up to 20 000x20 000 pixels. The camera included two sensors: a silicon monochrome CCD (MARC) and an RGB CCD (MARC II). It featured three filters, and high resolution was achieved through a combination of micro and macro sensor shifts. (Saunders, 1997; Striova et al., 2020). Especially these last two projects demonstrated the

Sin embargo, la popularización de las cámaras digitales no comenzó hasta una década más tarde, coincidiendo con finales del siglo xx, con modelos como la DYCAM Model 1 (Said, 1990, p. 34).

Los primeros ejemplos de tecnología digital aplicada al estudio de obras de arte aparecieron en 1987, cuando la National Archives and Records Administration de Estados Unidos completó el primer sistema de captura digital para monitorizar el estado de conservación de los *Charters of Freedom*. Este sistema empleaba una cámara con sensor CCD capaz de detectar cambios minúsculos en el papel y las tintas a lo largo del tiempo (Poldi y Villa, 2006). Estos constituían los inicios de la llamada fotografía multiespectral, que crecería durante las dos décadas siguientes hasta convertirse en una herramienta fundamental para el estudio del patrimonio (Aldrovandi *et al.*, 1988).

A finales de la década de 1980, un consorcio de museos europeos liderado por la National Gallery de Londres puso en marcha el proyecto VASARI (*Visual Art System for Archiving and Retrieval of Images*) destinado al archivo digital (Striova *et al.*, 2020). La instrumentación desarrollada empleaba una cámara CCD relativamente pequeña (500 × 290 píxeles) conectada a un procesador 386 (Saunders y Cuppit, 1993; Saunders, 1997). Posteriormente, entre 1992 y 1995, se desarrolló otro proyecto europeo con tecnología similar: MARC (*Methodology for Art Reproduction in Color*), que partía de los resultados del proyecto VASARI para crear un sistema capaz de capturar, archivar y manipular imágenes de mayor calidad. El objetivo era crear una cámara semiautónoma con una resolución de hasta 20 000 × 20 000 píxeles. La cámara incluía dos sensores: un CCD monocromo de silicio (MARC) y un CCD RGB (MARC II). Contaba con tres filtros, y la alta resolución se lograba mediante una combinación de desplazamientos micro y macrométricos del sensor (Saunders, 1997; Striova *et al.*, 2020). Estos dos últimos proyectos demostraron especialmente el potencial de la imagen digital

potential of digital imaging in the field of cultural heritage because they allowed: a) highlighting color variations due to material degradation; b) detecting damage related to the transport of paintings; and c) cataloging museum works with high-resolution images (Saunders, 1997). Precisely at the beginning of the 2000s, CCD sensors were standardized in technical photography, leading to constant searches for low-cost solutions (Imai, et al., 2002). From there, innovations continued with the introduction of increasingly sophisticated instrumentation for use in the field of diagnostic applications for cultural heritage (Poldi & Villa, 2006).

The advent of CCD technologies was not the only innovation in cultural heritage documentation. From the second half of the 1990s, a series of digital cameras operating in the NIR region were also introduced into our field. These were cameras equipped with solid-state sensors such as platinum silicide (PtSi, 1000-2500 nm), indium gallium arsenide (InGaAs, 900-1700 nm), indium antimonide (InSb, 1000-2500 nm), and cadmium mercury telluride (MCT or HgCdTe, 3000-5000 nm).

With the arrival of digital photography, a new era in the conservation and documentation of collections begins, thanks to all the obvious benefits that this new photography brings. In the fields of documentation and conservation of cultural heritage assets, where there is a constant need to achieve higher quality of records and more powerful analytical tools for extracting information about the condition of artefacts. Many museums around the world, started processes of digitization of their collections (Stevenson, 2006).

Digital photography and image processing provide these capabilities, and recent technological advances promise new levels of performance for the capture and understanding of colour images.

en el ámbito del patrimonio cultural, pues permitían: a) resaltar variaciones de color debidas a la degradación de materiales; b) detectar daños relacionados con el transporte de pinturas; y c) catalogar obras de museo con imágenes de alta resolución (Saunders, 1997). Precisamente a comienzos de los 2000, los sensores CCD se estandarizaron en la fotografía técnica, abriendo la búsqueda de soluciones de bajo coste (Imai *et al.*, 2002). A partir de ahí, las innovaciones continuaron con la introducción de una instrumentación cada vez más sofisticada para su uso en aplicaciones diagnósticas sobre patrimonio (Poldi y Villa, 2006).

El advenimiento de las tecnologías CCD no fue la única innovación en la documentación del patrimonio cultural. Desde la segunda mitad de la década de 1990 también se introdujeron en este ámbito varias cámaras digitales que operaban en la región NIR. Estas cámaras estaban equipadas con sensores de estado sólido como siliciuro de platino (PtSi, 1000–2500 nm), arseniuro de indio-galio (InGaAs, 900–1700 nm), antimonuro de indio (InSb, 1000–2500 nm) y telururo de mercurio-cadmio (MCT o HgCdTe, 3000–5000 nm).

Con la llegada de la fotografía digital se inaugura una nueva era para la conservación y documentación de colecciones, gracias a todos los beneficios evidentes que este tipo de fotografía ofrece. En los campos de documentación y conservación del patrimonio cultural, donde existe una necesidad constante de alcanzar registros de mayor calidad y herramientas analíticas más potentes para extraer información sobre el estado de los bienes, muchos museos de todo el mundo comenzaron procesos de digitalización de sus colecciones (Stevenson, 2006).

La fotografía digital y el procesamiento de imágenes proporcionan estas capacidades, y los avances tecnológicos recientes prometen nuevos niveles de rendimiento para la captura y comprensión de las imágenes en color. Libros como *Digital Heritage: Applying Digital Imaging to Cultural Heritage* (MacDonald, 2006) se centran en

Books like '*Digital Heritage: Applying Digital Imaging to Cultural Heritage*' (MacDonald, 2006) focuses on these topics. Te book collects some of the results of the European research project VITRA 'Veridical Imaging for Transmissive and Reflective Artefacts'. The project brought together partners exhibiting the state-of-the-art technology in digital photography, robotic engineering, image processing, databases and conservation. VITRA however was focused on historic buildings as opposed to museum objects, fine art, photographs, etc. but in some chapters authors deal also with such kind of objects.

Another fundamental reference is '*Copy Culture: Sharing in the Age of Digital Reproduction*', edited by Brendan Cormier, from Victoria and Albert Museum (London), a wide reference which deals with the updating of some of the matters on which Walter Benjamin had dealt in his assay '*L'œuvre d'art à l'époque de sa reproduction mécanisée*', published in '*Zeitschrift für Sozialforschung*', in 1936.

Digital Photography in Non-Visible Spectrum Bands

With the turn of the century, there was a progressive normalization of digital images and a collateral process of adapting infrared and ultraviolet photography to the digital field due to the obvious advantages these types of images presented. Acquiring images in this case was made possible by modifying a regular digital camera by removing the thermal filter placed in front of the sensor, thus obtaining "full-spectrum" digital cameras Aldrovandi and Picollo (1999).

However, this transition was far from immediate. During the first decade of the new century, there was still a scarcity of specific articles exploring the utility of sensors like CCD or CMOS in documenting 'non-visible' bands. Additionally, being a relatively 'new'

estas cuestiones. La obra recoge algunos de los resultados del proyecto europeo VITRA (*Veridical Imaging for Transmissive and Reflective Artefacts*). El proyecto reunió a socios que representaban la tecnología más avanzada en fotografía digital, ingeniería robótica, procesamiento de imágenes, bases de datos y conservación. Sin embargo, VITRA se centró principalmente en edificios históricos, más que en objetos de museo, obras de arte o fotografías, aunque algunos capítulos abordan también este tipo de materiales.

Otra referencia fundamental es *Copy Culture: Sharing in the Age of Digital Reproduction*, editado por Brendan Cormier, del Victoria and Albert Museum (Londres). Se trata de una obra amplia que aborda la actualización de varios aspectos tratados por Walter Benjamin en su ensayo *L'œuvre d'art à l'époque de sa reproduction mécanisée*, publicado en *Zeitschrift für Sozialforschung* en 1936.

Fotografía digital en bandas del espectro no visible

Con el cambio de siglo se produjo una progresiva normalización de las imágenes digitales y un proceso colateral de adaptación de la fotografía infrarroja y ultravioleta al ámbito digital, debido a las ventajas evidentes que presentaban este tipo de imágenes. La captura de imágenes en estos casos se hizo posible mediante la modificación de cámaras digitales convencionales, retirando el filtro térmico situado delante del sensor y obteniendo así cámaras digitales de "espectro completo" (*full-spectrum*) (Aldrovandi y Picollo, 1999).

Sin embargo, esta transición distó mucho de ser inmediata. Durante la primera década del nuevo siglo, seguía existiendo una notable escasez de artículos específicos que exploraran la utilidad de sensores como CCD o CMOS en la documentación de bandas "no visibles". Además, al tratarse de una tecnología relativamente "nueva", existía cierta confusión sobre si la cámara réflex digital podía sustituir la fotografía tradicional ultravioleta

technology, there was some confusion about whether the digital SLR camera could replace traditional ultraviolet and infrared photography with silver halide emulsions. An article by Har et al. (2004) proposed a comparison of the relative ultraviolet and infrared sensitivity of a digital SLR camera with silver halide photography, demonstrating that removing the integrated UV/IR cut filter in the digital SLR camera could surpass the sensitivity of such film, especially for infrared. This was just one of many publications at that time addressing the interests of a potential audience in capturing the invisible. Many more publications followed in the immediately subsequent years, always with very similar purposes, such as Tetley & Young (2009), for example.

In general, digital techniques represented a relatively straightforward transition from analog techniques. Elements such as lenses, filters, lamps, or radiation sources that had been useful in analog IR or UV photography remained largely useful for digital photography. Although some isolated and specific contributions were published for digital IR or UV photography, such as Sandidge (2009), Farace (2006), or Morgan (2008) for IR photography, or Prutchi (2016) for UV photography, more recently, IR and UV photography have also been addressed jointly (Davies, 2017).

In the heritage field, it is necessary to begin by reporting publications such as Maringer (2000), which revisited the fundamentals already observed in the 20th century by authors like Moss (1954), with a similar compilatory sense. Revised editions of works like Matteini and Moles (1984), reissued in 2001, or Aldrovandi and Picollo (1999), reissued in 2007, also follow this direction.

Beyond general manuals on imaging techniques, one of the fundamental publications dedicated to comparing results in the IR band, based on sensors, was by Gargano et al. (2007). In it, the authors

e infrarroja con emulsiones de haluros de plata. Un artículo de Har *et al.* (2004) propuso una comparación de la sensibilidad relativa en UV e IR de una cámara réflex digital frente a la fotografía con película de haluros de plata, demostrando que al retirar el filtro de corte UV/IR integrado en la cámara digital era posible superar la sensibilidad de dicha película, especialmente en el infrarrojo. Este fue solo uno de los muchos trabajos de aquella época que respondían al interés de un público potencial por capturar "lo invisible". En los años inmediatamente posteriores aparecieron muchas más publicaciones con propósitos muy similares, como Tetley y Young (2009), por ejemplo.

En términos generales, las técnicas digitales supusieron una transición relativamente directa respecto a las técnicas analógicas. Elementos como ópticas, filtros, lámparas o fuentes de radiación que resultaban útiles en la fotografía IR o UV analógica siguieron siéndolo en gran medida para la fotografía digital. Aunque se publicaron algunas contribuciones aisladas y específicas dedicadas a la fotografía IR o UV digital —como Sandidge (2009), Farace (2006) o Morgan (2008) para fotografía IR, o Prutchi (2016) para fotografía UV—, más recientemente la fotografía IR y UV también ha sido abordada de manera conjunta (Davies, 2017).

En el ámbito patrimonial, es necesario comenzar mencionando publicaciones como Maringer (2000), que retomaba los fundamentos ya observados en el siglo xx por autores como Moss (1954), con un sentido igualmente compilatorio. Reediciones de obras como la de Matteini y Moles (1984), reeditada en 2001, o la de Aldrovandi y Picollo (1999), reeditada en 2007, siguen también esta línea.

Más allá de los manuales generales sobre técnicas de imagen, una de las publicaciones fundamentales dedicadas a comparar resultados en la banda IR, en función de los sensores, fue la de Gargano *et al.* (2007). En ella, los autores observaron cómo algunos sensores resultaban

observed how some sensors were complementary, including the CCD, which they particularly valued in their conclusions. They clarified that due to its limitations in penetrating some pigments, this type of sensor could provide immediate preliminary information about the studied pigment, unlike other IR band sensors operating at longer wavelengths. They also noted that a CCD camera is especially useful for selecting areas where point measurements, such as sampling or non-invasive methods, should be taken. They concluded that silicon sensor cameras were very useful in studying paintings and visualizing certain types of underlying drawings. They emphasized that an increase in IR wavelength does not imply a better view of the drawing: it can become completely transparent, like the overpainted layer if done with metal-gallic inks or red crayons, which tend to be completely transparent at around 1.2 µm. Another fundamental publication from the same year addressing some IR band techniques was by Poldi & Villa (2006). However, due to its manual nature and for reporting results already published in Gargano et al. (2007), we will not dwell further on this publication, which nonetheless deserves consideration as one of the fundamental publications. Also following Gargano et al., and regarding IR, it is worth mentioning at least the publication by Gavrilov et al. (2013), although somewhat later.

During the transition to digitalization, some publications on the post-processing of digital images are common. In fact, the issue of image editing soon became a research topic in itself, being a novel methodology with no existing literature. Notable publications in this line include those on processing UVL and UVIL images, such as Verri et al. (2008).´

At this point, we cannot overlook two references that are fundamental publications as they address the range of techniques we discuss in this volume, both individually and jointly. Firstly, in 2008, the

complementarios, entre ellos el CCD, al que valoraban especialmente en sus conclusiones. Aclaraban que, debido a sus limitaciones de penetración en determinados pigmentos, este tipo de sensor podía proporcionar información preliminar inmediata sobre el pigmento estudiado, a diferencia de otros sensores de la banda IR que operan a longitudes de onda más largas. Señalaban también que una cámara CCD es especialmente útil para seleccionar las áreas en las que deben realizarse mediciones puntuales, ya sea mediante muestreo o con métodos no invasivos. Concluían que las cámaras con sensores de silicio resultan muy útiles para el estudio de pinturas y la visualización de ciertos tipos de dibujo subyacente. Insistían además en que un aumento de la longitud de onda IR no implica necesariamente una mejor visualización del dibujo: este puede llegar a hacerse completamente transparente, igual que la capa de repinte, si está realizada con tintas metalo-gálicas o lápices rojos, que tienden a ser totalmente transparentes alrededor de 1,2 µm. Otra publicación fundamental del mismo año que aborda algunas técnicas en la banda IR fue la de Poldi y Villa (2006). Sin embargo, por su carácter de manual y por recoger resultados ya publicados por Gargano *et al.* (2007), no nos detendremos en ella, aunque merezca ser considerada como una de las referencias básicas. Siguiendo a Gargano *et al.*, y en relación con el IR, cabe citar al menos la publicación de Gavrilov *et al.* (2013), aunque algo posterior.

Durante la transición a lo digital, son frecuentes las publicaciones dedicadas al posprocesado de imágenes digitales. De hecho, la cuestión de la edición se convirtió muy pronto en un tema de investigación en sí mismo, al tratarse de una metodología novedosa sin bibliografía previa. Entre las contribuciones destacadas en esta línea se encuentran las dedicadas al procesado de imágenes UVL y UVIL, como Verri *et al.* (2008).

En este punto, no podemos dejar de mencionar dos referencias que constituyen publicaciones fundamentales, al abordar el conjunto de técnicas que tratamos

first edition of what is considered the key work of heritage scientific photography was published: '*The AIC Guide to Digital Photography and Conservation Documentation*', edited by the American Institute of Conservation. The success and reception of the work were such that it had to be promptly adapted for a second, significantly revised and expanded edition, which achieved a decisive global success (Warda et al., 2011). This work is absolutely essential for several reasons. Firstly, it is the first work entirely dedicated to digital technical images in the heritage conservation field. The authors propose a response to photographic documentation aspects that had undergone much deeper and more rapid changes with the advent of digitalization. The notably rapid introduction of the digital camera during the first decade of the 21st century, already fully normalized, and the continuous adoption of computer use made a publication necessary to standardize and normalize image acquisition and processing protocols to achieve comparable results. In a way, it was an analogous response to the problems that had arisen during the early decades of the 20th century when integrating visible and invisible band photography into the heritage field. The work, reissued for the third time in 2017, continues to be a cornerstone in our field almost fifteen years after its original publication and an indispensable title for anyone dedicated to cultural heritage imaging. It is, probably one of the most important references in our field.

Another fundamental contribution, this time European, relates to the results of the CHARISMA project (Cultural Heritage Advanced Research Infrastructures: Synergy for a Multidisciplinary Approach to Conservation/Restoration). This was a cohesive project involving over twenty European institutions working collegially to develop and promote the best scientific practices for the interdisciplinary study of cultural heritage and disseminate this

en este volumen, tanto de manera individual como conjunta. En primer lugar, en 2008 se publicó la primera edición de la que se considera la obra clave de la fotografía científica del patrimonio: *The AIC Guide to Digital Photography and Conservation Documentation*, editada por el American Institute of Conservation. El éxito y la recepción de la obra fueron tales que hubo de adaptarse rápidamente a una segunda edición, significativamente revisada y ampliada, que alcanzó un éxito decisivo a nivel global (Warda *et al.*, 2011). Este trabajo es absolutamente esencial por varias razones. En primer lugar, se trata de la primera obra dedicada por completo a las imágenes técnicas digitales en el campo de la conservación del patrimonio. Los autores plantean una respuesta a los aspectos de documentación fotográfica que habían experimentado cambios mucho más profundos y rápidos con la llegada de la digitalización. La introducción especialmente rápida de la cámara digital durante la primera década del siglo XXI, ya plenamente normalizada, y la adopción continuada del uso del ordenador hicieron necesaria una publicación que normalizara y estandarizara los protocolos de adquisición y procesado de imágenes para lograr resultados comparables. En cierto modo, se trataba de una respuesta análoga a los problemas surgidos durante las primeras décadas del siglo XX al incorporar la fotografía en bandas visibles y no visibles al ámbito patrimonial. La obra, reeditada por tercera vez en 2017, continúa siendo una piedra angular en nuestro campo casi quince años después de su publicación original, y un título indispensable para cualquier persona dedicada a la imagen aplicada al patrimonio cultural. Es, probablemente, una de las referencias más importantes en nuestro ámbito.

Otra aportación fundamental, esta vez europea, está vinculada a los resultados del proyecto CHARISMA (*Cultural Heritage Advanced Research Infrastructures: Synergy for a Multidisciplinary Approach to Conservation/Restoration*). Se trató de un proyecto cohesionado en el que trabajaron de forma colegiada más de veinte instituciones europeas con el objetivo de desarrollar y

knowledge. The publication *'Multispectral Imaging in Reflectance and Photo-induced Luminescence Modes: A User Manual'* (Dyer et al., 2013) resulted from this project. As the authors stated in the preface, referring to the optimized development of multispectral methodologies, "Emphasis has been placed on using equipment that is readily available and distilling the work carried out into a set of user-friendly practical materials and resources, which are aimed at a wide range of users and are as broadly accessible as possible" (Dyer et al., 2013).

Indeed, this publication aimed to explore the understanding of experimental factors and phenomena that could hinder the comparability of images in spectral bands. As the authors declared, optimizing and standardizing experimental procedures and acquisition protocols was addressed as a first step toward reducing these problems, improving the reproducibility and intercomparison between resulting images. Additionally, in response to the limited resources available on image post-processing methods, the book aimed to provide answers for developing robust calibration and image correction protocols using free, open-source programs, as well as easily applicable post-processing software tools. These are the main guides to digital photography in non-visible bands in heritage applications, and essentially, almost all publications in the field derive from them.

Coming back to publications addressing digital images in one of the non-visible bands, it is necessary to cite two fundamental works for their compilatory nature, which largely follow in the footsteps of the two aforementioned books. We refer here to '*Practical Notes on Ultraviolet Technical Photography for Art Examination*' (Cosentino, 2015b) and '*Infrared Technical Photography for Art Examination*' (Cosentino, 2016a). These two publications synthesize the basic

promover las mejores prácticas científicas para el estudio interdisciplinar del patrimonio cultural y difundir este conocimiento. De este proyecto surgió la publicación *Multispectral Imaging in Reflectance and Photo-induced Luminescence Modes: A User Manual* (Dyer *et al*., 2013). Como señalan los propios autores en el prefacio, al referirse al desarrollo optimizado de las metodologías multiespectrales: «se ha puesto el énfasis en emplear equipamiento fácilmente disponible y en condensar el trabajo realizado en un conjunto de materiales y recursos prácticos, de uso sencillo, dirigidos a un amplio espectro de usuarios y lo más accesibles posible» (Dyer *et al*., 2013).

En efecto, esta publicación tenía como objetivo profundizar en la comprensión de los factores experimentales y de los fenómenos que podían dificultar la comparabilidad de las imágenes en distintas bandas espectrales. Como declaran los autores, la optimización y normalización de los procedimientos experimentales y de los protocolos de adquisición se planteó como un primer paso para reducir estos problemas, mejorando la reproducibilidad y la intercomparación de las imágenes resultantes. Además, en respuesta a la escasez de recursos disponibles sobre métodos de posprocesado, el libro se propuso ofrecer soluciones para desarrollar protocolos robustos de calibración y corrección de imagen mediante programas libres y de código abierto, así como herramientas de posprocesado fácilmente aplicables. Estas son las principales guías de fotografía digital en bandas no visibles para aplicaciones patrimoniales y, en esencia, casi todas las publicaciones del campo derivan de ellas.

Volviendo a los trabajos dedicados a las imágenes digitales en alguna de las bandas no visibles, es necesario citar dos obras fundamentales por su carácter compilatorio, que siguen en buena medida la estela de los dos libros mencionados. Nos referimos a *Practical Notes on Ultraviolet Technical Photography for Art Examination* (Cosentino, 2015b) e *Infrared Technical Photography for*

guidelines for working in various modes in both bands, in pictorial applications, in most cases covered in these articles.

As can be seen, the transition to the digital era logically revitalized all techniques and proved particularly beneficial for some imaging modalities. We previously referred to analog IRT, indicating that despite the excellent results reported by certain sources (Kushel, 1985), by the end of the century, it was a technique that, despite not being unknown, was still little used. Consequently, there was very little literature on it. The first major publication reporting entirely digital techniques was '*Trans-illumination and Trans-irradiation with Digital Cameras: Potentials and Limits of Two Imaging Techniques Used for the Diagnostic Investigation of Paintings*' (Cucci et al., 2012). It discussed the possible joint use of transmitted visible light and transmitted infrared for non-invasive examination of paintings on canvas as complementary tools. It should be noted that for transmitted visible light this is one of the few references known, and for IRT, despite the technique has been used there were not many publications on it. The reason, as the authors argue, was that with the latest digital cameras, characterized by quick response times and high sensitivities, transmission applications for painting diagnostics could be reconsidered with renewed interest with less risk of objects overheating and overexposure. The authors highlighted the value of both techniques for providing useful information on the conservation status of supports, the presence of underlying drawings, or other hidden details. This publication was followed by others that more specifically addressed the appearance of pigments in these imaging modes (Herrero-Cortell et al., 2020) and focused on selected case studies where IRT was particularly useful, revealing the technique's utility in studying paintings (Herrero-Cortell et al., 2021).

Art Examination (Cosentino, 2016a). Estas dos publicaciones sintetizan las pautas básicas de trabajo en varias modalidades en ambas bandas, con aplicaciones, en la mayoría de los casos, centradas en la pintura.

Como puede verse, la transición a la era digital revitalizó lógicamente todas las técnicas y resultó especialmente beneficiosa para ciertas modalidades de imagen. Nos referíamos antes a la IRT analógica, indicando que, pese a los excelentes resultados comunicados por ciertas fuentes (Kushel, 1985), a finales de siglo se trataba de una técnica que, sin ser desconocida, seguía poco extendida y con muy escasa bibliografía. La primera gran publicación que comunicó técnicas completamente digitales fue *Trans-illumination and Trans-irradiation with Digital Cameras: Potentials and Limits of Two Imaging Techniques Used for the Diagnostic Investigation of Paintings* (Cucci *et al.*, 2012). En ella se abordaba el posible uso conjunto de la luz visible transmitida y del infrarrojo transmitido para el examen no invasivo de pinturas sobre lienzo como herramientas complementarias. Conviene señalar que, para luz visible transmitida, esta es una de las pocas referencias conocidas y que, en el caso de la IRT, a pesar de haberse utilizado la técnica, apenas existían publicaciones. La razón, según argumentaban los autores, era que, con las cámaras digitales más recientes —caracterizadas por tiempos de respuesta rápidos y altas sensibilidades—, las aplicaciones en transmisión para el diagnóstico de pinturas podían replantearse con renovado interés y menor riesgo de sobrecalentamiento y sobreexposición de las obras. Los autores destacaban el valor de ambas técnicas para proporcionar información útil sobre el estado de conservación de los soportes, la presencia de dibujos subyacentes u otros detalles ocultos. A esta publicación siguieron otras que abordaban de forma más específica la apariencia de los pigmentos en estas modalidades de imagen (Herrero-Cortell *et al.*, 2020) y se centraban en estudios de caso seleccionados en los que la IRT resultaba especialmente útil, demostrando la utilidad de la técnica en el estudio de pinturas (Herrero-Cortell *et al.*, 2021).

At this point, as an example of the unique adaptation of these techniques to digital records, it is necessary to highlight a certain popularization of UVL In 2019, the first volume of this collection was published, dedicated exclusively to UVL techniques in digital records (Picollo et al., 2019). This volume, for the first time, adequately covered the basic principles for the correct execution of this technique, delving into its limitations, possibilities, and scope, and collecting a series of investigations specifically dedicated to this phenomenon, with case studies. Moreover, to reach a broader audience, the volume, densely illustrated, was published simultaneously in Spanish and English. Notably, as evidence of its reach, in just over two years, it had more than 10,000 downloads, becoming a reference publication in the conservation field.

Another technique that experienced renewed interest was VIL. Even in the latest editions of the Matteini and Moles manual (2001), the authors indicated that the technique had no significant artistic applications, as few advances had been made since the results reported by Bridgman and Gibson (1963). However, over the past decade, applications for the study of heritage using infrared luminescence have been steadily increasing. The well-established purposes of detecting Egyptian blue (Thoury et al., 2011; Verri, 2009b; Dyer & Sotiropoulou, 2017; Abradou et al., 2018; Triolo et al. 2019; Dyer & Newman, 2020; Abradou et al., 2022) by excitation with visible light have been joined by results obtained by UV-induced infrared luminescence (UVIL) for documenting cadmium-based pigments in addition to Han blue and Han purple (Accorsi et al., 2009; Verri 2009a; 2009b; Thoury et al., 2011; Dyeret al., 2013; Cosentino, 2016b, pp. 5-6) and even identifying titanium white pigments based on rutile (Keller et al., 2019).

Another important innovation brought by the digital era was the necessary search for an

En este punto, como ejemplo de la particular adaptación de estas técnicas a los registros digitales, es necesario destacar cierta popularización de la UVL. En 2019 se publicó el primer volumen de esta colección, dedicado exclusivamente a técnicas UVL en registros digitales (Picollo *et al.*, 2019). Este volumen, por primera vez, abordaba de forma adecuada los principios básicos para la correcta ejecución de la técnica, profundizando en sus limitaciones, posibilidades y alcance, y recogiendo una serie de investigaciones específicamente dedicadas a este fenómeno, con estudios de caso. Además, para llegar a un público más amplio, el volumen, densamente ilustrado, se publicó simultáneamente en español e inglés. Es significativo que, como prueba de su impacto, en poco más de dos años superara las 10.000 descargas, convirtiéndose en una publicación de referencia en el ámbito de la conservación.

Otra técnica que experimentó un renovado interés fue la VIL. Incluso en las últimas ediciones del manual de Matteini y Moles (2001), los autores señalaban que la técnica no tenía aplicaciones artísticas significativas, ya que se habían producido pocos avances desde los resultados comunicados por Bridgman and Gibson (1963). Sin embargo, durante la última década, las aplicaciones de la luminiscencia infrarroja al estudio del patrimonio no han dejado de crecer. A los ya consolidados objetivos de detección de azul egipcio (Thoury *et al.*, 2011; Verri, 2009b; Dyer y Sotiropoulou, 2017; Abradou *et al.*, 2018; Triolo et al., 2019; Dyer y Newman, 2020; Abradou *et al.*, 2022) mediante excitación con luz visible se han sumado los resultados obtenidos mediante luminiscencia infrarroja inducida por UV (UVIL) para documentar pigmentos a base de cadmio, además de los azules y morados Han (Accorsi *et al.*, 2009; Verri, 2009a; 2009b; Thoury *et al.*, 2011; Dyer *et al.*, 2013; Cosentino, 2016b, pp. 5–6), e incluso la identificación de pigmentos de blanco de titanio a base de rutilo (Keller *et al.*, 2019).

Otra innovación importante aportada por la era digital fue la necesaria búsqueda de un método alternativo

alternative method to achieve digital infrared false-color images. Among the first advances in digital remote sensing, false-color was almost inherent to such methods. Some early multispectral imaging methods allowed bypassing infrared film by adjusting remote sensing channels to distinguish visually similar elements—an approach that may have contributed to later terminological confusion (Pernal, 2003; Vilaseca et al., 2004, 2006; Fredembach & Süsstrunk, 2008).). In any case, the manuals by Warda et al. (2011) and Dyer et al. (2013) already reflected these methodologies, and subsequently, publications such as Cosentino and Stout (2014), Cosentino (2015a,b; 2016a,b), Aguilar-Téllez (2014), Artoni et al. (2019), or Raïch et al. (2019), among many other examples, reported a certain standardization of the procedure.

However, as previously noted, the digital era not only involved adapting old analog techniques but also inspired the emergence of some new ones. This is the case with UV false-color photography, which did not exist until the 21st century when it was published by Aldrovandi et al. (2004; 2005) for preliminary pigment recognition and was gradually adopted in the conservation field. It has been applied to many materials and techniques, like easel and mural paintings, paper (Coccolini, 2010), textiles, and recently it has been used for preliminary identification of resinous materials (Rogge & Lough, 2016), among many others, although this technique is commonly experimented with for pigment characterization (Keller et al., 2019, p. 216; Herrero-Cortell, et al., 2022). It should be noted that compared to IRFC imaging, there are far fewer publications reporting UV false-color, probably due to the difficulty in obtaining results with certain glossy or varnished materials.

It's mandatory not to conclude this section without making a special mention of a technique we have been working on for some years and whose results

para obtener imágenes de falso color infrarrojo en formato digital. Entre los primeros avances en teledetección digital, el falso color era casi inherente a estos métodos. Algunos de los primeros procedimientos de imagen multiespectral permitieron prescindir de la película infrarroja ajustando los canales de teledetección para distinguir elementos visualmente similares; un enfoque que quizá contribuyó a cierta confusión terminológica posterior (Pernal, 2003; Vilaseca *et al.*, 2004, 2006; Fredembach y Süsstrunk, 2008). En cualquier caso, los manuales de Warda *et al.* (2011) y Dyer *et al.* (2013) ya recogían estas metodologías y, posteriormente, publicaciones como Cosentino y Stout (2014), Cosentino (2015a,b; 2016a,b), Aguilar-Téllez (2014), Artoni *et al.* (2019) o Raïch *et al.* (2019), entre muchos otros ejemplos, documentaron una cierta estandarización del procedimiento.

Sin embargo, como se ha señalado, la era digital no solo implicó adaptar las antiguas técnicas analógicas, sino que también motivó la aparición de algunas nuevas. Es el caso de la fotografía UV de falso color, inexistente hasta el siglo XXI, cuando fue publicada por Aldrovandi *et al.* (2004; 2005) para el reconocimiento preliminar de pigmentos y se fue adoptando progresivamente en el campo de la conservación. Se ha aplicado a numerosos materiales y técnicas —como pintura de caballete y mural, papel (Coccolini, 2010), textiles— y, más recientemente, se ha utilizado para la identificación preliminar de materiales resinosos (Rogge y Lough, 2016), entre otros muchos ejemplos, aunque esta técnica se experimenta habitualmente con fines de caracterización de pigmentos (Keller *et al.*, 2019, p. 216; Herrero-Cortell *et al.*, 2022). Cabe señalar que, en comparación con las imágenes IRFC, existen muchas menos publicaciones sobre falso color UV, probablemente debido a la dificultad de obtener resultados en determinados materiales brillantes o barnizados.

No se puede concluir esta sección sin hacer una mención especial a una técnica en la que venimos trabajando desde hace algunos años y cuyos resultados

we present for the first time in this volume. We refer to infrared transmitted false-color imaging (IRTFC) (see chapter), a novel imaging mode that, in fields such as painting on canvas or other translucent supports, combines the good results often offered by IRT with the material mapping possibilities offered by false-color images.

MBI: Multimodal Digital Images in Visible and NonVisible Bands in Heritage Applications

Multiband imaging, like we understand it nowadays, is actually rather more typical of the digital era than the analog era, beyond the fact that most techniques were already being used and compared. In fact, the term itself (at least concerning images of cultural or artistic heritage) is already associated with the 21st century due to the way these images are obtained and understood.

Unlike what happened in the analog era, working with the same device guarantees the possibility of obtaining series of images of the same resolution and size, maintaining the accuracy of the framing—and also avoiding possible optical distortions and aberrations that occur when moving the camera slightly, not maintaining the orthogonal position, and using different lenses. This also speeds up the image acquisition process but especially facilitates, for example, comparisons by superimposition, allowing changes, inequalities, or variations that a simple visual comparison by juxtaposition cannot reveal. Additionally, working digitally allows for multiple correction operations, image mixing, hybrid image creation, etc. Although it may seem obvious, it is worth noting that in the days of analog photography, such operations of confrontation, superimposition, hybridization, etc., always posed significant difficulties, as parameters of equal conditions could not be guaranteed when using different cameras

presentamos por primera vez en este volumen. Nos referimos a la imagen de falso color infrarrojo transmitido (IRTFC) (véase el capítulo correspondiente), una modalidad de imagen novedosa que, en campos como la pintura sobre lienzo u otros soportes translúcidos, combina los buenos resultados que ofrece a menudo la IRT con las posibilidades de cartografiado material propias de las imágenes de falso color.

MBI: imágenes digitales multimodales en bandas visibles y no visibles en aplicaciones patrimoniales

La imagen multibanda, tal y como la entendemos hoy, es en realidad mucho más propia de la era digital que de la analógica, más allá de que la mayoría de las técnicas ya se utilizaban y comparaban. De hecho, el propio término (al menos aplicado a imágenes de patrimonio cultural o artístico) se asocia ya al siglo xxi debido al modo en que estas imágenes se obtienen y se interpretan.

A diferencia de lo que ocurría en la era analógica, trabajar con un mismo dispositivo garantiza la posibilidad de obtener series de imágenes con la misma resolución y tamaño, manteniendo la precisión del encuadre y evitando también posibles distorsiones y aberraciones ópticas que se producen al mover ligeramente la cámara, no mantener la posición ortogonal o utilizar distintas ópticas. Esto agiliza el proceso de adquisición, pero, sobre todo, facilita, por ejemplo, las comparaciones por superposición, permitiendo detectar cambios, desigualdades o variaciones que una simple comparación visual por yuxtaposición no puede revelar. Además, el trabajo digital permite múltiples operaciones de corrección, mezcla de imágenes, creación de imágenes híbridas, etc. Aunque pueda parecer obvio, conviene recordar que, en tiempos de la fotografía analógica, este tipo de operaciones de confrontación, superposición, hibridación, etc., planteaban siempre grandes dificultades, ya que no podía garantizarse la igualdad de condiciones al trabajar con cámaras y dispositivos distintos o, aun tratándose

and devices, or even though they were photographic cameras, they often required the use of different lenses, special films, etc., making it impossible, for example, to guarantee the immobility of the camera.

Therefore, the ability to work with a 'full spectrum' camera by placing filters in front of the lens to work in isolated bands, or even at specific points of the spectrum without moving the camera, the framing, or the light/radiation sources, allowed for the development of multispectral and multiband imaging with this type of sensor.

In fact, since the 1990s, with the popularization of digital cameras and their greater accessibility, there had been an increased search for cost-saving solutions in remote sensing, a field where the use of combined photographic sensors was already common (Sugiura et al., 2000; Wright et al., 2003). Advances in multispectral photography soon had repercussions in the heritage field, for example, in documentary applications (Chabries et al., 2003; Griffin, 2006). Notable examples include articles like '*A new multi-spectral imaging system for examining paintings*' (Liang et al., 2005) and '*Development of a 16-band multispectral image archiving system*' (Fukuda et al., 2005). By those years, the idea of working in RGB bands in isolation, for example, with interferential filters, was already used as a useful tool in the study of paintings (Tominaga et al., 2004). Heritage field publications often used concepts from multispectral and multiband imaging jointly (see terminology chapter) with applications in conservation and documentation of various cultural productions, including the documentation of cultural monuments and archaeological sites (Lerma et al., 2011).

Since 2014, numerous publications dedicated to multiband imaging in cultural applications have appeared, covering a wide range of heritage objects and produtions (Triolo, 2019). Notably, these techniques have been used in the study of dyes and

de cámaras fotográficas, era frecuente el uso de ópticas diferentes, películas especiales, etc., lo que impedía, por ejemplo, garantizar la inmovilidad de la cámara.

Así pues, la posibilidad de trabajar con una cámara de "espectro completo" (*full spectrum*), colocando filtros delante del objetivo para trabajar en bandas aisladas, o incluso en puntos concretos del espectro sin mover la cámara, el encuadre ni las fuentes de luz/radiación, permitió el desarrollo de la imagen multiespectral y multibanda con este tipo de sensores.

De hecho, desde la década de 1990, con la popularización de las cámaras digitales y su mayor accesibilidad, se intensificó la búsqueda de soluciones económicas en teledetección, un campo en el que el uso de sensores fotográficos combinados era ya habitual (Sugiura *et al.*, 2000; Wright *et al.*, 2003). Los avances en fotografía multiespectral tuvieron pronto repercusión en el ámbito patrimonial, por ejemplo, en aplicaciones documentales (Chabries *et al.*, 2003; Griffin, 2006). Son especialmente destacables artículos como *A new multi-spectral imaging system for examining paintings* (Liang *et al.*, 2005) o *Development of a 16-band multispectral image archiving system* (Fukuda *et al.*, 2005). En esos años, la idea de trabajar con las bandas RGB por separado, por ejemplo, mediante filtros interferenciales, ya se utilizaba como herramienta útil en el estudio de pinturas (Tominaga *et al.*, 2004). En el campo del patrimonio, las publicaciones suelen manejar de manera conjunta los conceptos de imagen multiespectral y multibanda (véase el capítulo sobre terminología), con aplicaciones en conservación y documentación de diversas producciones culturales, incluyendo la documentación de monumentos y yacimientos arqueológicos (Lerma *et al.*, 2011).

Desde 2014 han aparecido numerosas publicaciones dedicadas a la imagen multibanda en aplicaciones culturales, que abarcan una amplia variedad de objetos y producciones patrimoniales (Triolo, 2019). Estas técnicas han sido utilizadas, de manera particularmente

pigments in archaeological textiles (Conti & Keller, 2008; Webb et al. 2014; Dyer et al., 2018; Suh, 2018; Al-Gaoudi & Iannaccone 2021), polycromies (Verri et al., 2008), archaeological applications for pigment mapping (Kakouli et al., 2017; Bradley et al., 2020), and experimental investigations with pigments and binders (Cosentino 2014; Cosentino, 2015b; Raïch et al., 2019; Herrero-Cortell et al., 2022). Numerous studies have implemented these techniques in the examination of paintings on mobile supports, such as panel or canvas, for conservation, documentation, or research on painting execution processes (Herrero-Cortell et al., 2018; Ceccarelli et al. 2019; Artoni et al. 2021; Moreno-Soto, et al. 2023), or other polychrome heritage artifacts such as Thangkas (Dyer et al., 2022). They have also been applied to mural ensembles (Cosentino et al., 2014; Artoni et al., 2022; Bolong et al., 2022; Rahrig et al., 2023) and paper prints (Chen & Smith, 2020). The observation of certain degradation phenomena, such as cracks (Fuster-López, et al., 2023; Izzo, et al., 2024) has been also very important. To conclude this overview, it is worth noting that three-dimensional and photogrammetric applications constitute an emerging and continually evolving field, owing to the significant potential of MBI for the recording and analysis of three-dimensional objects (Webb, 2017; Webb et al., 2023; Rahrig et al., 2023).

Conclusions

Throughout this chapter, we have conducted a historiographic review offering an overview of the key developments—enriched with anecdotal notes—in the history of multiband imaging, from the origins of photography through to the present day.

It's clear that MBI will become a really widespread practice in terms of art history study and conservation. Perhaps, one of the great challenges which remain for the future is a greater integration

notable, en el estudio de colorantes y pigmentos en textiles arqueológicos (Conti y Keller, 2008; Webb *et al.*, 2014; Dyer *et al.*, 2018; Suh, 2018; Al-Gaoudi y Iannaccone, 2021), policromías (Verri *et al.*, 2008), en aplicaciones arqueológicas orientadas al cartografiado de pigmentos (Kakouli *et al.*, 2017; Bradley *et al.*, 2020) y en investigaciones experimentales con pigmentos y aglutinantes (Cosentino, 2014; Cosentino, 2015b; Raïch *et al.*, 2019; Herrero-Cortell *et al.*, 2022). Numerosos estudios han implementado estas técnicas en el examen de pinturas sobre soportes móviles, como tabla o lienzo, con fines de conservación, documentación o investigación de los procesos de ejecución pictórica (Herrero-Cortell *et al.*, 2018; Ceccarelli *et al.*, 2019; Artoni *et al.*, 2021; Moreno-Soto, *et al.* 2023), así como en otros bienes patrimoniales policromos, como las Thangkas (Dyer *et al.*, 2022). También se han aplicado a conjuntos murales (Cosentino *et al.*, 2014; Artoni *et al.*, 2022; Bolong *et al.*, 2022; Rahrig *et al.*, 2023) y a estampas sobre papel (Chen y Smith, 2020). La observación de ciertos fenómenos de degradación, como las grietas (Fuster-López *et al.*, 2023; Izzo *et al.*, 2024), ha sido igualmente de gran importancia. Para concluir este recorrido, cabe señalar que las aplicaciones tridimensionales y fotogramétricas constituyen un campo emergente y en continua evolución, debido al notable potencial de la MBI para el registro y análisis de objetos tridimensionales (Webb, 2017; Webb *et al.*, 2023; Rahrig *et al.*, 2023).

Conclusiones

A lo largo de este capítulo hemos realizado una revisión historiográfica que ofrece una panorámica de los principales hitos —enriquecida con notas anecdóticas— en la historia de la imagen multibanda, desde los orígenes de la fotografía hasta la actualidad.

Resulta evidente que la MBI está llamada a convertirse en una práctica ampliamente extendida en el estudio de la historia del arte y la conservación. Quizá uno de los

of these techniques into educational curricula, not only in conservation. A greater awareness of them as essential tools for cultural heritage conservation and Art History Studies, is also expected.

grandes desafíos que aún quedan por afrontar de cara al futuro sea una mayor integración de estas técnicas en los planes de estudio, no solo en conservación. Cabe esperar también una conciencia más amplia de su condición de herramientas esenciales para la conservación del patrimonio cultural y para los estudios de Historia del Arte.

References | Bibliografía

Abdrabou, A., Abdalla, M., Shaheen, I. A., & Kamal, H. M. (2018). Investigation of an ancient Egyptian polychrome wooden statuette by imaging and spectroscopy. International journal of conservation Science, 9(1).

Abdrabou, A., Hussein, A., & Sultan, G. M. (2022). New insights into a polychrome Middle Kingdom palette applied to a wooden coffin: A multidisciplinary analytical approach. *Journal of Cultural Heritage*, *54*, 118-129. https://doi.org/10.1016/j.culher.2022.01.015

Accorsi, G., Verri, G., Bolognesi, M., Armaroli, N., Clementi, C., Miliani, C., & Romani, A. (2009). The exceptional near-infrared luminescence properties of cuprorivaite (Egyptian blue). *Chemical Communications*, *(23)*, 3392-3394. https://doi.org/10.1039/b902563d

Aguilar-Téllez, D. M., Ruvalcaba-Sil, J. L., Claes, P., & González-González, D. (2014). False color and infrared imaging for the identification of pigments in paintings. *MRS Online Proceedings Library (OPL)*, *1618*, 3-15. https://doi.org/10.1557/opl.2014.451

Al-Gaoudi, H. A., & Iannaccone, R. (2021). Multiband imaging techniques incorporated into the study of dyed ancient Egyptian textile fragments. *International Journal of Conservation Science*, *12(3)*, 893-906.

Aldrovandi, A., Bertani, D., Cetica, M., Matteini, M., Moles, A., Poggi, P., & Tiano, P. (1988). Multispectral image processing of paintings. *Studies in Conservation*, *33(3)*, 154-159. https://doi.org/10.1179/sic.1988.33.3.154

Aldrovandi, A., & Picollo, M. (1999). *Metodi di documentazione e indagini non invasive sui dipinti* (2007, seconda edizione). Il Prato.

Aldrovandi, A., Buzzegoli, E., Keller, A., & Kunzelman, D. (2004). Indagini su superfici dipinte mediante immagini UV riflesse in falso colore. *OPD restauro*, *(16)*, 83-199.

Aldrovandi, A., Buzzegoli, E., Keller, A., & Kunzelman, D. (2005). Investigation of painted surfaces with a reflected UV false color technique. In *Proceedings of the 8th International Conference on Non Destructive Investigations and Micro Analysis for the Diagnostics and Conservation of the Cultural and Environmental Heritage, Lecce, Italy* (pp. 15-19).

Artoni, P., Raích, M., & Herrero-Cortell, M. A. (2019). Riconoscere dal colore. Pigmenti e coloranti dell'età moderna nell'analisi multibanda dei dipinti: uno strumento visivo per gli storici dell'arte ei conservatori. In *Colore e Colorimetria. Contributi multidisciplinari. Atti della Quindicesima Conferenza del Colore* (Vol. 15, pp. 120-127). Gruppo del Colore-Associazione Italiana Colore.

Artoni, P., Bertelli, P., & Herrero-Cortell, M. A. (2021). Segni veloci e guizzi di colore: primi appunti per la tecnica pittorica dello Schivenoglia, in *Francesco Maria Raineri, lo Schivenoglia, pittore «antigrazioso» a Quingentole*. Mantova: Publi Paolini, pp. 129-139.

Artoni, P., Bertelli, P., Herrero-Cortell, M. A., & Raích, M. (2022). Les pintures murals del Torneig-batalla de Louvezerp, de Pisanello. Diagnosi artística, estudi de la tècnica i proposta interpretativa. *Publicacions de la Universitat de Lleida/CAEM*. https://doi.org/10.21001/les.pintures.murals.del.torneig.batalla.de.Louvezerp

Asperen de Boer, J. van. (1969). Reflectography of paintings using an infrared vidicon television system. *Studies in Conservation*, *14(3)*, 96-118. https://doi.org/10.2307/1505392 https://doi.org/10.1179/sic.1969.010

Bacci, M. (2019). Hints on the Lumiscence Phemonmena Theory. In Picollo, M., Stols-Witlox, M., & Fuster López, L. (Eds.), *UV-Vis Luminescence: Imaging Techniques. CONSERVATION 360°*, *(1)*, 29-34.

Barnes, N. F. (1939). A spectrophotometric study of artists' pigments. *Technical Studies in the Field of the Fine Arts, 7(3)*.

Bayle, E., Fabre, R., & George, H. (1927). La fluorescence et ses applications, in *Chimie et Industrie, 17(2)*, 179-200.

Bewer, F. G. (2010). *A laboratory for art: Harvard's Fogg Museum and the emergence of conservation in America, 1900-1950*. Harvard Art Museum.

Bolong, C., Zongren, Y., Manli, S., Zhongwei, S., Jinli, Z., Biwen, S., ... & Bomin, S. (2022). Virtual reconstruction of the painting process and original colors of a color-changed Northern Wei Dynasty mural in Cave 254 of the Mogao Grottoes. *Heritage Science, 10(1)*, 164. https://doi.org/10.1186/s40494-022-00785-4

Boyle, W. S., & Smith, G. E. (1970). Charge coupled semiconductor devices. *Bell System Technical Journal, 49(4)*, 587-593. https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1970.tb01790.x

Bradley, L., Ford, J., Kriss, D., Schussler, V., Pozzi, F., Basso, E., & Bruno, L. (2020). Evaluating multiband reflectance image subtraction for the characterization of indigo in romano-Egyptian funerary portraits. *Mummy Portraits of Roman Egypt: Emerging Research from the APPEAR Project*. J. Paul Getty Museum, Los Angeles, pp. 68-78. https://doi.org/10.2307/jj.6142266.12

Bridgman, C. F., & Lou Gibson, H. (1963). Infrared luminescence in the photographic examination of paintings and other art objects. *Studies in Conservation, 8(3)*, 77-83. https://doi.org/10.1179/sic.1963.012

Butkoswki, J., & Van Kempen, A. F. (1998). *Foto Digitale, tecnica e pratica*. Editrice Reflex, Roma.

Cardinali, M. (2020). Dalla Diagnostica artistica alla Technical Art History. Nascita di una metodologia di studio della storia dell'arte (1874-1938) (pp. 1-152). Kermes-LEXIS Compagnia Editoriale.

Cardinali, M. (2014). Dalla Conferenza di Roma del 1930 alla Technical Art History: una storia non italiana. *Scritti in onore di Marisa Dalai Emiliani*, pp. 373-379.

Cerellier, J. F. (1928). Applications scientifiques du rayonnement de la lumière à l'étude des peintures des musées et collections, New York, 22-28 settembre 1928.

Ceccarelli, S., Orazi, N., Cicero, C., Mercuri, F., Zammit, U., Paoloni, S., ... & Nuzzo, M. (2019). Multi-band infrared imaging for the characterization of underlying elements in the Santa Maria in Cosmedin altarpiece. In *2019 IMEKO TC4 International Conference on Metrology for Archaeology and Cultural Heritage, MetroArchaeo 2019* (pp. 439-443). IMEKO-International Measurement Federation Secretariat.

Chabries, D. M., Booras, S. W., & Bearman, G. H. (2003). Imaging the past: recent applications of multispectral imaging technology to deciphering manuscripts. *Antiquity, 77(296)*, 359-372. https://doi.org/10.1017/S0003598X00092346

Chen, J. J., & Smith, T. J. (2020). Documentation of Salted Paper Prints with a Modified Digital Camera. *Journal of the American Institute for Conservation, 59(3-4)*, 271-285. https://doi.org/10.1080/01971360.2019.1643527

Clark, W. (1939 [2nd edition 1946]). *Photography by infrared, its principles and applications*.

Clark, J. D. (1954). A note on experiments in photographing prehistoric rock paintings by ultra-violet light. *SAMAB, 5(16)*, 417-421.

Coccolini, G., Frosinini, C., & Montalbano, L. (2010). Il Restauro del Codice Resta della Biblioteca Ambrosiana. *OPD restauro, 22*, p-117.

Conti, S., & Keller, A. (2008). Il colore nei materiali tessili antichi: standard di riferimento e caratterizzazione dei coloranti per mezzo di indagini ottiche. *OPD restauro, (20)*, 57-72.

Cornelius, F. D. (1977). Correspondence: transmitted infrared photography. *Studies in Conservation, 22(1)*, 42. https://doi.org/10.2307/1505673

Cosentino, A. (2014). Identification of pigments by multispectral imaging; a flowchart method. *Heritage Science, 2(1)*, 8. https://doi.org/10.1186/2050-7445-2-8

Cosentino, A. (2015). Effects of different binders on technical photography and infrared reflectography of 54 historical pigments. *International Journal of Conservation Science, 6(3)*. https://doi.org/10.18236/econs2.201410

Cosentino, A. (2015b). Practical notes on ultraviolet technical photography for art examination. *Conservar Património, (21)*, 53-62. https://doi.org/10.14568/cp2015006

Cosentino, A. (2016a). Infrared technical photography for art examination. *e-preservation science*.

Cosentino, A. (2016b). Transmittance spectroscopy and transmitted multispectral imaging to map covered paints. *Conservar Património, (24)*, 37-45. https://doi.org/10.14568/cp2015021

Cosentino, A., & Stout, S. (2014). Photoshop and multispectral imaging for art documentation. *e-Preservation Science, 11*, 91-98.

Cosentino, A., Gil, M., Ribeiro, M., & Di Mauro, R. (2014). Technical photography for mural paintings: the newly discovered frescoes in Aci Sant'Antonio (Sicily, Italy). *Conservar Património, (20)*, 23-33. https://doi.org/10.14568/cp2015001

Cucci, C., Picollo, M., & Vervat, M. (2012). Trans-illumination and trans-irradiation with digital cameras: Potentials and limits of two imaging techniques used for the diagnostic investigation of paintings. *Journal of Cultural Heritage, 13(1)*, 83-88. https://doi.org/10.1016/j.culher.2011.07.002

Dake, H. C., & De Ment, J. (1941). *Fluorescent light and its applications*. Chemical Publications.

Davies, A. (2017). *Digital ultraviolet and infrared photography*. Routledge. https://doi.org/10.4324/9781315515090

de La Rie, E. R. (1982a). Fluorescence of paint and varnish layers (Part 1). *Studies in Conservation, 27(1)*, 1-7. https://doi.org/10.1179/sic.1982.27.1.1

de la Rie, E. R. (1982b). Fluorescence of paint and varnish layers (part II). *Studies in Conservation, 27(2)*, 65-69. https://doi.org/10.1179/sic.1982.27.2.65

de la Rie, E. R. (1982c). Fluorescence of paint and varnish layers (part III). *Studies in Conservation, 27(3)*, 102-108. https://doi.org/10.1179/sic.1982.27.3.102

Delaney, J. K. (1993). Examination of the Visibility of Underdrawing Lines as a Function of Wave Length.

Dorrell, P. G. (1994). *Photography in archaeology and conservation*. Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9780511621932

Dyer, J., & Newman, N. (2020). Multispectral Imaging Techniques Applied to the Study of Romano-Egyptian Funerary Portraits at the British Museum. In M. Svoboda & C. R. Cartwright (Eds.), *Mummy Portraits of Roman Egypt: Emerging Research from the APPEAR Project*. J. Paul Getty Trust. https://doi.org/10.2307/jj.6142266.11

Dyer, J., & Sotiropoulou, S. (2017). A technical step forward in the integration of visible-induced luminescence imaging methods for the study of ancient polychromy. *Heritage Science, 5(1)*, 24. https://doi.org/10.1186/s40494-017-0137-2

Dyer, J., Derham, A., O'Flynn, D., Tamburini, D., Heady, T., & Ramos, I. (2022). Studying Saraha: technical and multi-analytical investigation of the painting materials and techniques in an 18th Century Tibetan Thangka. *Heritage, 5(4)*, 2851-2880. https://doi.org/10.3390/heritage5040148

Dyer, J., Tamburini, D., O'Connell, E. R., & Harrison, A. (2018). A multispectral imaging approach integrated into the study of Late Antique textiles from Egypt. *PLoS One, 13(10)*, e0204699. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0204699

Dyer, J., Verri, G., & Cupitt, J. (2013). Multispectral imaging in reflectance and photo-induced luminscence modes: a user manual. The British Museum.

Eibner, A. (1933). Les rayons ultraviolets appliqués à l'examen des couleurs et des agglutinants. *Mouseion, 21(22)*, 32-68.

Ellen, D. M., & Creer, K. E. (1970). Infrared luminescence in the examination of documents. *Journal of the Forensic Science Society, 10(3)*, 159-164. https://doi.org/10.1016/S0015-7368(70)70590-2

Evans, R. M. (1961). Maxwell's Color Photography. *Scientific Photography, 205*, 117-128. https://doi.org/10.1038/scientificamerican1161-118

Fabbri, F. (1999). *Sistema di acquisizione di immagini multispettrali in fluorescenza UV di beni culturali* (Doctoral dissertation, MSc dissertation, Physics Department, University of Florence, Italy).

Faber, A. (1914). Ölgemälde im Röntgenlicht. *Museumskunde, 10(3)*, 153-170.

Farace, J. (2006). *Complete guide to digital infrared photography*. Sterling Publishing Company, Inc.

Farnsworth, M. (1939). Infra-red Absorption of Paint Materials. *Technical Studies in the Field of the Fine Arts, 7(2)*, 88-98.

Fischer, C., & Kakoulli, I. (2006). Multispectral and hyperspectral imaging technologies in conservation: current research and potential applications. *Studies in Conservation, 51(sup1)*, 3-16. https://doi.org/10.1179/sic.2006.51.Supplement-1.3

Foresta, M. (2003). *At first sight, Photography in the Smithsonian*. The Smithsonian Institution.

Fredembach, C., & Süsstrunk, S. (2008). Colouring the near-infrared. In *Color and imaging conference* (Vol. 16, pp. 176-182). Society of Imaging Science and Technology. https://doi.org/10.2352/CIC.2008.16.1.art00034

Fukuda, H., Uchiyama, T., Haneishi, H., Yamaguchi, M., & Ohyama, N. (2005). Development of a 16-band multispectral image archiving system. In *Color Imaging X: Processing, Hardcopy, and Applications* (Vol. 5667, pp. 136-145). SPIE. https://doi.org/10.1117/12.592533

Fuster-López, L., Herrero-Cortell, M. A., Izzo, F., García-Castillo, A. M., Picollo, M., Cucci, C., & Martínez López, M. (2023). Mapping damage from pigment-medium interaction in three neo-plastic oil paintings. In J. Bridgland (Ed.), *Working Towards a Sustainable Past. ICOM-CC 20th Triennial Conference Preprints, Valencia, 18-22 September 2023* (pp. 1-11). Paris: International Council of Museums.

Gargano, M., Ludwig, N., & Poldi, G. (2007). A new methodology for comparing IR reflectographic systems. *Infrared Physics & Technology, 49(3)*, 249-253. https://doi.org/10.1016/j.infrared.2006.06.013

Gavrilov, D., Maeva, E., Grube, O., Vodyanoy, I., & Maev, R. (2013). Experimental comparative study of the applicability of infrared techniques for non-destructive evaluation of paintings. *Journal of the American Institute for Conservation, 52(1)*, 48-60. https://doi.org/10.1179/0197136012Z.0000000002

Gibson, H. L., & Clark, W. (1978). *Photography by infrared: its principles and applications*. John Wiley & Sons.

Gräff, W. (1931). L'examen des peintures et les moyens optiques. *Mouseion, 5*, 21-41.

Griffin, C. W. (2006). Digital imaging: Looking toward the future of manuscript research. *Currents in Biblical Research, 5*(1)*, 58-72. https://doi.org/10.1177/1476993X06068699

Har, D., Son, Y., & Lee, S. (2004). SLR digital camera for forensic photography. *Sensors and Camera Systems for Scientific, Industrial, and Digital Photography Applications V, 5301*, 276-284. https://doi.org/10.1117/12.526048

Herrero-Cortell, M. À., Artoni, P., Raïch Creus, M., Aliaga, J., & Puig, I. (2021). Observando a través de los estratos: fotografía infrarroja transmitida (IRT) aplicada al estudio técnico y documental de pinturas sobre lienzo. *Ge-conservacion, 19(1)*, 840. https://doi.org/10.37558/gec.v19i1.840

Herrero-Cortell, M. Á., Craïch, M., Artoni, P., & García, J. A. (2022). Caracterización de pigmentos históricos a través de técnicas de imagen, en diversas bandas del espectro electromagnético. *Ge-conservacion, 22*, 58-75. https://doi.org/10.37558/gec.v22i1.1101

Herrero-Cortell, M. Á., Raïch M., Artoni, P., & Sanchis, I. P. (2018). Multi-band technical imaging in the research of the execution of paintings. The case study of the portrait of Carlos IV, by Francisco de Goya. *Ge-conservación, 14(1)*, 5-15. https://doi.org/10.37558/gec.v14i1.583

Herrero-Cortell, M., Artoni, P., & Raïch, M. (2020). Transmitted light imaging in VIS and IR, in the study of paintings: a brief report on the behavior of the main historical pigments. *Cultura e Scienza del Colore-Color Culture and Science, 12(02)*, 79-88.

Hickey-Friedman, L. (2002). A review of ultra-violet light and examination techniques. *Objects Specialty Group Postprints* (American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works. Objects Specialty Group), 9, 161-168.

Hoeniger, C. (1991). The identification of blue pigments in early Sienese paintings by color infrared photography. *Journal of the American Institute for Conservation, 30(2)*, 115-124. https://doi.org/10.1179/019713691806066782

Holliday, C. S. (1961). The application of ultra-violet light photography to prehistoric rock art. *SAMAB, 7(8)*, 179-184.

Hours, M. (1988). *Les secrets des chefs-d'oeuvre*. FeniXX.

Imai, F. H., Taplin, L. A., & Day, E. A. (2002). Comparison of the accuracy of various transformations from multi-band images to reflectance spectra. *Munsell Color Science Laboratory Technical Report*. http://www.art-si.org

Izzo, F. C., Gnemmi, M., Herrero-Cortell, M. Á., García-Castillo, A. M., Martínez-López, M. T., & Fuster-López, L. (2024). Selective damage induced by pigment-medium interactions in a Neoplasticist oil canvas painting: Composition dans le cône avec couleur orange by G. Vantongerloo (1929). *Heritage Science, 12(1)*, 92. https://doi.org/10.1186/s40494-024-01333-y

Kakoulli, I., Radpour, R., Lin, Y., Svoboda, M., & Fischer, C. (2017). Application of forensic photography for the detection and mapping of Egyptian blue and madder lake in Hellenistic polychrome terracottas based on their photophysical properties. *Dyes and Pigments, 136*, 104-115. https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2016.08.030

Keck, S. (1941). A use of infra-red photography in the study of technique. for the Fogg Art Museum, Harvard University.

Keller, A. T., Lenz, R., Artesani, A., Mosca, S., Comelli, D., & Nevin, A. (2019). Exploring the ultraviolet induced infrared luminescence of titanium white pigments. *CONSERVATION 360º, 1*, 201-232.

Kodak, E. (1981). *Applied infrared photography*. Eastman Kodak.

Kögel, P. R. (1914). Die Palimpsestphotographie. Ein Beitrag zu den philologisch-historischen Hilfswissenschaften. In *Die Palimpsestphotographie: Ein Beitrag zu den philologisch-historischen Hilfswissenschaften* (pp. 974-980). De Gruyter. https://doi.org/10.1515/9783112555224-001

Kushel, D. A. (1985). Applications of transmitted infrared radiation to the examination of artifacts. *Studies in Conservation, 30(1)*, 1-10. https://doi.org/10.1179/sic.1985.30.1.1

Kushel, D., & Hoeniger, C. (1992). Identification of Blue Pigments by Color Infrared Photography. *Journal of the American Institute for Conservation, 31(1)*, 141-143. https://doi.org/10.2307/3179621

Ledoux-Lebard, R. & Lindsey, J. H. (1918). *English-French Glossary of X-ray Terms*. Tours.

Lerma, J. L., Akasheh, T., Haddad, N., & Cabrelles, M. (2011). Multispectral sensors in combination with recording tools for cultural heritage documentation. *Change Over Time, 1(2)*, 236-250. https://doi.org/10.1353/cot.2011.a463083

Liang, H., Saunders, D., & Cupitt, J. (2005). A new multi-spectral imaging system for examining paintings. *Journal of Imaging Science and Technology, 49(6)*, 551-562. https://doi.org/10.2352/J.ImagingSci.Technol.2005.49.6.art00003

Lister, M. (2013). *The photographic image in digital culture*. Routledge. https://doi.org/10.4324/9780203797563 https://doi.org/10.4324/9781315004181

Lyon, R. A. (1934). Ultra-violet rays as aids to restorers. *Technical studies*.

MacDonald, L. (2006). *Digital Heritage: Applying Digital Imaging to Cultural Heritage*. Elsevier Butterworth-Heinemann, Oxford. https://doi.org/10.4324/9780080455303

MacDonald-Korth, E. (2023). Technical Imaging for Private Practice Conservators. *Journal of the American Institute for Conservation, 1-14*.

Mairinger, F. (2000). The ultraviolet and fluorescence study of paintings and manuscripts. *Radiation in Art and Archeometry, 1*, 56-685. https://doi.org/10.1016/B978-044450487-6/50050-X

Mansfield, E. (Ed.). (2002). *Art history and its institutions: Foundations of a discipline*. Psychology Press.

Marsh, G. S. (1978). The use of ultraviolet radiation in the examination of works of art, artefacts, and informational resources. *ICCM bulletin, 4(2-3)*, 29-40. https://doi.org/10.1179/iccm.1978.4.2-3.005

Mathews, J. H. (1936). Fluorescence Analysis in Ultra-violet Light. By J. A. Radley and Julius Grant. *The Journal of Physical Chemistry, 40(6)*, 855-85. https://doi.org/10.1021/j150375a020

Matteini, M., & Moles, A. (1984 [2nd edition 2001]). *La química en la restauración: los materiales del arte pictórico* (Vol. 7). Editorial Nerea.

Matteini, M., Moles, A., & Tiano, P. (1980). L'infrarosso colore nell'indagine dei dipinti. *Le scienze, 1980(142)*, 40-48.

Miller, L., & Marin, N. (2014). *Police photography*. Routledge. https://doi.org/10.4324/9781315722177

Minkina, W. (2021). How infrared radiation was discovered-Range of this discovery and detailed, unknown information. *Applied Sciences, 11(21)*, 9824. https://doi.org/10.3390/app11219824

Moon, T., Schilling, M. R., & Thirkettle, S. (1992). A note on the use of false-color infrared photography in conservation. *Studies in Conservation*, *42-52*. https://doi.org/10.2307/1506436

Moreno-Soto, J., Križnar, A., Ager, F. J., Gómez-Morón, M. A., Gamero-Osuna, A., Martín-de-Soto, A., & Respaldiza, M. Á. (2023). Zurbarán attribution hypothesis supported by pigment analysis and multiband images observation of four paintings by his workshop. *Scientific Reports, 13(1)*, 844. https://doi.org/10.1038/s41598-023-27677-2

Morgan, J. (2008). Digital infrared photography. *PSA Journal*, *74(8)*, 26-31.

Moss, A. A. (1954). The application of x-rays, gamma rays, ultra-violet and infra-red rays to the study of antiquities. *Museums Asociation*.

Museion. (1931). Conclusions adoptées par la Conférence Internationale pour l'étude des méthodes scientifiques appliquées à l'examen et a la conservation des oeuvres d'art. Rome, 13-17 Octobre 1930.

Olin, C. H., & Carter, T. G. (1968). Infrared color photography of painting materials. In *IIC-AG* (pp. 27-28).

Pedersen, A. (1953-1954). El infrarrojo y su aplicación en la investigación de pinturas rupestres. *Runa vi, 1-2*.

Péquignot, A. (2020). Luces argentinas en París. El aporte de la pinacología a Francia en la conservación de su patrimonio. *Nuevo Mundo Mundos Nuevos Nouveaux mondes mondes nouveaux-Novo Mundo Mundos Novos-New world New worlds*. https://doi.org/10.4000/nuevomundo.81828

Pereira, J. M. (2019). *Diagnóstico por imagen en bandas no visibles sobre patrimonio cultural: Una aproximación a la imagen infrarroja, ultravioleta, fluorescencias y análisis de imagen*. Books on Demand.

Peres, M. R. (Ed.). (2013). *The focal encyclopedia of photography*. Taylor & Francis. https://doi.org/10.4324/9780080477848

Pérez, F. (1931). L'étude scientifique de la peinture. *Beaux-Arts*, *9(10)*, 1-2.

Pernal, M. A. (2003). False-colored infrared digital photography. *PSA Journal*, *69(11)*, 30-32.

Petrucci, F. C. (1991). Tecnologie fisiche per le opere d'arte: la diagnostica per immagini. *IL NUOVO SAGGIATORE*, *7(6)*, 45-70.

Picollo, M., Stols-Witlox, M., & Fuster López, L. (2019). *UV-Vis Luminescence: Imaging Techniques. CONSERVATION 360°, 1*, 342.

Picollo, M., Stols-Witlox, M., & López, L. F. (2019a). Introduction to the Volume. In M. Picollo, M. Stols-Witlox, & L. Fuster López (Eds.), *UV-Vis Luminescence Imaging Techniques* (Vol. 1, pp. 11-18). Universitat Politècnica de València.

Poldi, G., & Villa, G. C. F. (2006). *Dalla conservazione alla storia dell'arte: riflettografia e analisi non invasive per lo studio dei dipinti* (Vol. 3). Edizioni della Normale.

Prutchi, D. (2016). *Exploring Ultraviolet Photography: Bee Vision, Forensic Imaging, and Other NearUltraviolet Adventures with Your DSLR*. Amherst Media.

Radley, J. A., & Grant, J. (1933). *Fluorescence Analysis in Ultra-Violet light* (1st Edn.).

Radley, J. A., & Grant, J. (1939). *Fluorescence Analysis in Ultra-Violet light* (3rd Edn.).

Rahrig, M., Herrero Cortell, M. À., & Lerma, J. L. (2023). Multiband Photogrammetry and Hybrid Image Analysis for the Investigation of a Wall Painting by Paolo de San Leocadio and Francesco Pagano in the Cathedral of Valencia. *Sensors*, *23(4)*, 2301. https://doi.org/10.3390/s23042301

Raïch, M., Artoni, P., Herrero, M., La-Bella, A., Ricci, M. L., & Hernández, A. (2019). Riconoscere dal colore. Pigmenti e coloranti dell'età moderna nell'analisi multibanda dei dipinti: uno strumento visivo per gli storici dell'arte ei conservatori. In *Colore e Colorimetria. Contributi multidisciplinari. Atti della Quindicesima Conferenza del Colore* (Vol. 15, pp. 120-127).

Rawlins, F. I. G. (1936). Studies in the colorimetry of paintings. *Technical studies in the field of the fine arts*, *4(4)*, 179-186.

Rawlins, F. I. G. (1937). Studies in the colorimetry of paintings, II. *Technical studies in the field of the fine arts*, *5(3)*, 150-156.

Rawlins, F. I. G. (1940). 'From the National Gallery Laboratory'.

Rhoads, D. C., & Stanley, D. J. (1966). Transmitted infrared radiation; a simple method for studying sedimentary structures. *Journal of Sedimentary Research*, *36(4)*, 1144-1149. https://doi.org/10.1306/74D71622-2B21-11D7-8648000102C1865D

Riley, O. H., & Berger, G. A. (1971). New developments in the conservation of works of art. *Art Journal*, *31(1)*, 37-40. https://doi.org/10.1080/00043249.1971.10792967

Ring, E. F. J. (2000). The discovery of infrared radiation in 1800. *The Imaging Science Journal*, *48(1)*, 1-8. https://doi.org/10.1080/13682199.2000.11784339

Robbins, M. (1983). Ultraviolet Lights for Mineral Fluorescence. In *The Collector's Book of Fluorescent Minerals* (pp. 12-30). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4757-4792-8_3

Rogge, C. E., & Lough, K. (2016). Fluorescence fails: analysis of UVA-induced visible fluorescence and false-color reflected UVA images of tintype varnishes do not discriminate between varnish materials. *Journal of the American Institute for Conservation*, *55(2)*, 138-147. https://doi.org/10.1080/01971360.2016.1155813

Rorimer, J. J. (1931). Ultra-violet rays and their use in the examination of works of art. Metropolitan Museum of Art.

Said, C. (1990). Dycam model 1: The first portable digital still camera. *MacWeek*, *4(35)*, 34.

Sandidge, D. (2009). *Digital Infrared Photography*. Wiley Publishing.

Saunders, D. (1997). High-quality imaging at the National Gallery: Origins, implementation and applications. *Computers and the Humanities*, *31*, 153-167. https://doi.org/10.1023/A:1000696330444

Saunders, D., & Cupitt, J. (1993). Image processing at the National Gallery: The VASARI project. *National Gallery technical bulletin*, *14(1)*, 72-85.

Seabrook, W. (1941). *Doctor Wood, Modern Wizard of the Laboratory: The Story of an American Small Boy who Became the Most Daring and Original Experimental Physicist of Our Day--but Never Grew Up*. Harcourt, Brace.

Sipley, L. W. (1951). *A Half Century of Color*. Macmillan.

Sougez, M. L. (2001). *Historia de la fotografía*. Madrid. 2001. Octava edición. Ediciones Cátedra.

Stevenson, J. (2006). Digitisation programmes in the V&A. In L. MacDonald (Ed.), *Digital Heritage. Applying digital imaging to cultural heritage*. Elsevier.

Striova, J., Dal Fovo, A., & Fontana, R. (2020). Reflectance imaging spectroscopy in heritage science. *La Rivista del Nuovo Cimento*, *43*, 515-566. https://doi.org/10.1007/s40766-020-00011-6

Sugiura, H., Kuno, T., Watanabe, N., Matoba, N., Hayashi, J., & Miyake, Y. (2000). Development of a multispectral camera system. In *Sensors and Camera Systems for Scientific, Industrial, and Digital Photography Applications* (Vol. 3965, pp. 331-339). SPIE. https://doi.org/10.1117/12.385450

Suh, K. (2018). Application of multispectral/multiband imaging in the practice of textile conservation: documentation, investigation, and communication. *Text. Spec. Gr. Postprints*, *28*, 83-96.

Tetley, C., & Young, S. (2009). Digital infrared and ultraviolet photography using advanced camera services modified equipment. *Journal of Visual Communication in Medicine*, *32(2)*, 40-42. https://doi.org/10.1080/17453050902995407

Thoury, M., Delaney, J. K., de la Rie, E. R., Palmer, M., Morales, K., & Krueger, J. (2011). Near-infrared luminescence of cadmium pigments: in situ identification and mapping in paintings. *Applied Spectroscopy*, *65(8)*, 939-951. https://doi.org/10.1366/11-06230

Tominaga, S., Tanaka, N., & Komada, T. (2004, March). Imaging and rendering of oil paintings using a multi-band camera. In *6th IEEE Southwest Symposium on Image Analysis and Interpretation, 2004* (pp. 6-10). IEEE. https://doi.org/10.1109/IAI.2004.1300934

Triolo, P. (2019). *Manuale Pratico di Documentazione e Diagnostica per Immagine per i BB. CC.* Il Prato.

Triolo, P. Spingardi, M., Costa, G. A., & Locardi, F. (2019). Practical application of visible-induced luminescence and use of parasitic IR reflectance as relative spatial reference in Egyptian artifacts. *Archaeological and Anthropological Sciences*, *11*(9), 5001-5008.

Verne, H. (1933). Le Laboratoire d'Étude Scientifique des peintures du Musée du Louvre. *Bulletin des Musées in France, n. 5(10)*, 160-162.

Verri, G. (2009a). The application of visible-induced luminescence imaging to the examination of museum objects. In L. Pezzati & R. Salimbeni (Eds.), *SPIE 7391, O3A: Optics for Arts, Architecture, and Archaeology II* (Vol. 7391, pp. 739105-1-12). https://doi.org/10.1117/12.827331

Verri, G. (2009b). The spatially resolved characterisation of Egyptian blue, Han blue and Han purple by photo-induced luminescence digital imaging. *Analytical and bioanalytical chemistry, 394(4)*, 1011-1021. https://doi.org/10.1007/s00216-009-2693-0

Verri, G., Clementi, C., Comelli, D., Cather, S., & Piqueé, F. (2008). Correction of ultraviolet-induced fluorescence spectra for the examination of polychromy. *Applied Spectroscopy, 62(12)*, 1295-1302. https://doi.org/10.1366/000370208786822296

Verri, G., Comelli, D., Cather, S., Saunders, D., & Piqué, F. (2008, March). Post-capture data analysis as an aid to the interpretation of ultraviolet-induced fluorescence images. In *Computer image analysis in the study of art* (Vol. 6810, pp. 11-22). SPIE. https://doi.org/10.1117/12.764463

Vilaseca, M., Pujol, J., Arjona, M., & Martínez-Verdú, F. M. (2004). Color visualization system for near-infrared multispectral images. In *Conference on Colour in Graphics, Imaging, and Vision* (Vol. 2, pp. 431-436). Society of Imaging Science and Technology. https://doi.org/10.2352/CGIV.2004.2.1.art00087

Vilaseca, M., Pujol, J., Arjona, M., & de Lasarte, M. (2006). Multispectral system for reflectance reconstruction in the near-infrared region. *Applied optics, 45(18)*, 4241-4253. https://doi.org/10.1364/AO.45.004241

von Bode, W. (1930). *Mein Leben*. Berlino.

Wainwright, I. N. (1990). *Examination of paintings by physical and chemical methods*. Ottawa, Canada: National Gallery of Canada.

Warda, J. (ed.), Frey, F., Heller, D., Kushel, D., Vitale, T., & Weaver, G. (2011). *The AIC Guide to Digital Photography and Conservation Documentation* (2nd edition). Washington, DC: American Institute for Conservation of Historic and Artist Works.

Webb, E. K. (2017). Reflected infrared and 3D imaging for object documentation. *Journal of the American Institute for Conservation, 56(3-4)*, 211-224. https://doi.org/10.1080/01971360.2017.1359463

Webb, E. K., Robson, S., Evans, R., & O'Connor, A. (2023). Wavelength selection using a modified camera to improve image-based 3D reconstruction of heritage objects. *Journal of the American Institute for Conservation, 62(2)*, 111-128. https://doi.org/10.1080/01971360.2022.2111501

Webb, E. K., Summerour, R., & Giaccai, J. (2014). A case study using multiband & hyperspectral imaging for the identification & characterization of materials on archaeological Andean painted textiles. *Textile Group Postprints*.

Webb, E. K. (2019). UV-induced visible luminescence for conservation documentation.

Webster, W. J. E. (1966). Ultra-violet photography of Australian rock paintings. *Antiquity, 40(158)*, 144. https://doi.org/10.1017/S0003598X00107987

Williams, J. B. (2017). *The electronics revolution: inventing the future*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-49088-5_29

Wood, R. W. (1903). On screens transparent only to ultra-violet light and their use in spectrum photography. *Astrophysical Journal, 17*, 133. https://doi.org/10.1086/141001

Wood, R. (1910). A New Departure in Photography. *The Century Magazine. The Century Company, 79(4)*, 565-572.

Wood, R. W. (1911). Photography by invisible rays. *Journal of the Röntgen Society, 7(27)*, 51-51. https://doi.org/10.1259/jrs.1911.0029

Wright, G. G., Matthews, K. B., Cadell, W. M., & Milne, R. (2003). Reducing the cost of multi-spectral remote sensing: Combining near-infrared video imagery with colour aerial photography. *Computers and Electronics in Agriculture, 38(3)*, 175-198. https://doi.org/10.1016/S0168-1699(02)00141-2

Modified camera with filters used for multiband imaging.
Modified camera with filters on front of the lens for multiband imaging.

Cámara modificada con filtros utilizados para imagen multibanda.
Cámara modificada equipada con filtros externos montados delante del objetivo para imagen multibanda.

CURRENT STATE, ACTIVE RESEARCH, AND FUTURE DIRECTIONS OF MULTIBAND IMAGING OF CULTURAL HERITAGE

ESTADO ACTUAL, INVESTIGACIÓN ACTIVA Y ORIENTACIÓN FUTURA DE LAS TÉCNICAS DE IMAGEN MULTIBANDA APLICADAS AL PATRIMONIO CULTURAL

E. Keats Webb
Museum Conservation Institute, Smithsonian Institution, United States
webbekeats@si.edu

Current State of Multiband Imaging

Multiband imaging techniques are widely used as noninvasive methods of conservation and heritage examination that includes a suite of techniques.[1] These techniques can help to identify and record the conservation condition of an object, inform the care and treatment of an object, and increase our understanding of materials and manufacture. Additionally, MBI can be used to aid in the legibility of surface and subsurface information and enhance or reveal features that are otherwise invisible to the unaided human eye which can help with attribution, classification, and informing additional analysis (Kakoulli et al., 2017). Digital imaging is particularly useful

[1] See note from terminology chapter on noninvasive vs non-destructive terminology.

Estado actual de la imagen multibanda

Las técnicas de imagen multibanda se utilizan ampliamente como métodos no invasivos de conservación y examen del patrimonio, e incluyen un conjunto de técnicas.[1] Estas técnicas pueden ayudar a identificar y registrar el estado de conservación de un objeto, informar sobre el cuidado y el tratamiento de un objeto y aumentar nuestra comprensión de los materiales y la fabricación. Además, la MBI puede utilizarse para facilitar la legibilidad de la información superficial y subsuperficial y mejorar o revelar características que de otro modo serían invisibles para el ojo humano sin ayuda, lo que puede ayudar a la atribución, la clasificación y la información para análisis adicionales (Kakoulli *et al.*, 2017). Las imágenes digitales

[1] Véase la nota del capítulo sobre terminología relativa a los términos «no invasivo» y «no destructivo».

for effective means of documenting and communicating subtle differences and studying fine detail of fragile and sensitive objects (Chen & Smith, 2020). Table 1 provides an overview of the multiband imaging techniques with examples of applications and how the techniques are used.[2]

While the individual techniques that make up multiband imaging can be used independently, the combination of the suite of techniques offers a more in-depth view of the object—its materials, manufacture, and condition (Herrero-Cortell et al., 2018). The techniques are complimentary and can provide information about materials or an object's response to ultraviolet, visible, and near infrared radiations. Multiband imaging techniques can be used for tentatively studying materials and their distribution, which can be its own investigation or can inform sampling and further analysis and be integrated into multi-analytical approaches (Dyer et al., 2018, 2022). Additional scientific analysis is required to support material identification.[3]

Multiband imaging techniques have been used to study and care for a range of object types and materials with some examples summarized in Table 2. While these techniques are well-established for the investigation of paintings and polychrome surfaces and they have been used to study fragile objects like textiles (Dyer et al., 2022), this table, while not comprehensive, shows a wide range of object types and materials that can benefit from this suite of techniques.

[2] When first developing this table, the author incorporated the terminology "characterize and differentiate" to describe several of the techniques referencing the use of techniques to yield characteristic appearances of materials or reveal material characteristics. However, based on the definition of characterize in the terminology chapter (ref), the author has worked to substitute characterize with more appropriate terminology like "visualize, spatially locate, and differentiate materials and material characteristics" and "reveal material characteristics and differentiate materials."

[3] See note from terminology chapter on differentiate, identify, and characterize.

son especialmente útiles como medio eficaz para documentar y comunicar diferencias sutiles y estudiar los detalles más precisos de objetos frágiles y delicados (Chen y Smith, 2020). La Tabla 1 ofrece una visión general de las técnicas de imagen multibanda con ejemplos de aplicaciones y cómo se utilizan estas técnicas. [2]

Si bien las técnicas individuales que componen la imagen multibanda pueden utilizarse de forma independiente, la combinación del conjunto de técnicas ofrece una visión más profunda del objeto: sus materiales, fabricación y estado (Herrero-Cortell *et al.*, 2018). Las técnicas son complementarias y pueden proporcionar información sobre los materiales o la respuesta de un objeto a las radiaciones ultravioleta, visible y del infrarrojo cercano. Las técnicas de imagen multibanda pueden utilizarse para estudiar de forma provisional los materiales y su distribución, lo que puede constituir una investigación en sí misma o servir de base para el muestreo y el análisis posterior, e integrarse en enfoques multianalíticos (Dyer *et al.*, 2018, 2022). Se requieren análisis científicos adicionales para respaldar la identificación de los materiales.[3]

Las técnicas de imagen multibanda se han utilizado para estudiar y cuidar una amplia gama de tipos de objetos y materiales, algunos ejemplos de los cuales se resumen en Tabla 2. Si bien estas técnicas están bien establecidas para la investigación de pinturas y superficies policromadas y se han utilizado para estudiar objetos frágiles como textiles (Dyer *et al.*, 2022), esta tabla, aunque no es exhaustiva, muestra una amplia gama de tipos de objetos y materiales que pueden beneficiarse de este conjunto de técnicas.

[2] Al elaborar esta tabla por primera vez, el autor incorporó la terminología «caracterizar y diferenciar» para describir varias de las técnicas que hacen referencia al uso de técnicas para obtener apariencias características de los materiales o revelar las características de los mismos. Sin embargo, basándose en la definición de «caracterizar» del capítulo sobre terminología (Webb et al., 2025), el autor ha trabajado para sustituir «caracterizar» por terminología más adecuada, como «visualizar, localizar espacialmente y diferenciar materiales y características de los materiales» y «revelar características de los materiales y diferenciar materiales».

[3] Véase la nota del capítulo sobre terminología relativa a diferenciar, identificar y caracterizar.

Table 1 | Multiband/Multimodal Imaging Techniques and Examples of Applications.

Technique	Radiation Source Emitted Wavelengths	Recorded Wavelengths	Applications
Reflectance Techniques			
Visible Light (VIS)	400 – 700 nm	400 – 700 nm	Record the condition of an object and act as a reference and comparison for other imaging techniques; base image for IRFC and UVFC image processing
Reflected Infrared (RIR, IR)	700 – 1100 nm	700 – 1100 nm	Reveal underdrawings, detect changes in composition, visualize faded or obscured features, and visualize, spatially locate, and differentiate materials and material characteristics. (Dyer et al., 2013; Herrero-Cortell et al., 2018; Warda et al., 2017; Webb, 2017)
Reflected UV (RUV, UVR)	320 – 400 nm	320 – 400 nm	Visualize, spatially locate, and differentiate materials and material characteristics including superficial distribution of surface materials (e.g. varnishes, coatings), visualize faded or obscured features (Dyer et al., 2013, p. 4; Warda et al., 2017, p. 158); detect patterns, staining and surface coatings on textiles (Dyer et al., 2018); differentiation of white pigments (Keller et al., 2019)
Multiband Reflectance Imaging Subtraction (MBR)	N/A	N/A	Map the spatial distribution of indigo (Bradley et al., 2020; Dyer et al., 2018; Kriss et al., 2023; Webb et al., 2014)
False Color Processing[a]			
False Color IR (FCIR, IRFC)	N/A	N/A	Visualize, spatially locate, and differentiate materials and material characteristics (Aguilar-Téllez et al., 2014; Warda et al., 2017); reveal past conservation treatments (Dyer et al., 2018)
False Color UV (FCUV, UVFC)	N/A	N/A	Visualize, spatially locate, and differentiate materials and material characteristics (Aldrovandi et al., 2005; Warda et al., 2017); distinguish pigments (Cosentino, 2016a); reveal past conservation treatments (Dyer et al., 2018)
Transmitted Techniques			
Transmitted Visible Light (TL, VT)	400 – 700 nm	400 – 700 nm	Record the conservation state of the supports and reveal underdrawings and/or other hidden details (Cucci et al., 2012); visualize, spatially locate, and differentiate pigments (Herrero-Cortell et al., 2020); reveal paper structure and watermarks (Chen & Smith, 2020)
Transmitted Infrared (IRT, TIR)	700 – 1100 nm	700 – 1100 nm	Record the conservation state of the supports and reveal underdrawings and/or other hidden details (Cucci et al., 2012; Herrero-Cortell et al., 2018; Kushel, 1985); visualize, spatially locate, and differentiate pigments (Cosentino, 2016a; Herrero-Cortell et al., 2020)
Luminescence Techniques			
UV-Induced Visible Luminescence (UVL, UV-VL)	185 – 400 nm	400 – 700 nm	Visualize, spatially locate, and differentiate materials and material characteristics (e.g., characteristic luminescence of varnishes and pigments in paintings), establish condition (e.g., reveal mold and tidelines in paper objects), reveal past conservation treatments (e.g., luminescing adhesives on ceramic repairs) (Mairinger, 2000; Webb, 2019); indicate aspects of photographic paper manufacture (sizing, coatings, hand coloring, retouching, inpainting) (Chen & Smith, 2020)
UV-Induced Infrared Luminescence (UVIL, UV-IL)	185 – 400 nm	700 – 1100 nm	Map the spatial distribution of pigments that luminescence in the infrared when excited by ultraviolet radiation. Pigments include red and yellow cadmium and the differentiation of rutile and anatase titanium white (Keller et al., 2019)
Visible-Induced Infrared Luminescence (VIL, V-IL)	400 – 700 nm	700 – 1100 nm	Map the spatial distribution of pigments that luminescence in the infrared when excited by visible light. Pigments include Egyptian blue (Dyer & Sotiropoulou, 2017; Kakoulli et al., 2017; Radpour et al., 2021; Verri, 2008, 2009); Han blue and purple (Verri, 2009); cadmium (Warda et al., 2017); yellow lake (Warda et al., 2017); cadmium red, cadmium yellow, cadmium green (Cosentino, 2016a); examination of restored paintings and detection of altered documents (Bridgeman & Gibson, 1963); reveal or enhance condition issues on paper (tidelines, mold, foxing) (Chen & Smith, 2020)
Visible-Induced Visible Luminescence (VIVL, VIS-VL)	400 – 700 nm[b]	400 – 700 nm[b]	Map the spatial distribution of madder lake pigments (Dyer & Sotiropoulou, 2017; Kakoulli et al., 2017; Radpour et al., 2021)

a. False color processing methods are continuing to be developed with two chapters in this volume introducing new false color techniques (Raïch et al., pp. 482-511; Sharma, pp. 330-359). This table only includes FCIR and FCUV as established, widely used methods at the time of writing.

b. The wavelengths emitted by the radiation sources and the recorded wavelength range for VIVL are going to differ depending on the method and imaging system (radiation source and/or filters).

Tabla 1 | Técnicas de imagen multibanda/multimodal y ejemplos de aplicaciones.

Técnica	Fuente de radiación Longitudes de onda emitidas	Longitudes de onda registradas	Aplicaciones
Técnicas de reflectancia			
Luz visible (VIS)	400 – 700 nm	400-700 nm	Registra el estado de un objeto y sirve como referencia y comparación para otras técnicas de imagen; imagen base para el procesamiento de imágenes IRFC y UVFC.
Infrarrojo reflejado (RIR, IR)	700 – 1100 nm	700 – 1100 nm	Revelar dibujos subyacentes, detectar cambios en la composición, visualizar características descoloridas u ocultas, y visualizar, localizar espacialmente y diferenciar materiales y características de los materiales. (Dyer *et al.*, 2013; Herrero-Cortell *et al.*, 2018; Warda *et al.*, 2017; Webb, 2017)
UV reflejado (RUV, UVR)	320 – 400 nm	320-400 nm	Visualizar, localizar espacialmente y diferenciar materiales y características de los materiales, incluida la distribución superficial de los materiales de la superficie (por ejemplo, barnices, recubrimientos), visualizar características descoloridas u oscurecidas (Dyer *et al.*, 2013, p. 4; Warda *et al.*, 2017, p. 158); detectar patrones, manchas y recubrimientos superficiales en textiles (Dyer *et al.*, 2018); diferenciación de pigmentos blancos (Keller *et al.*, 2019)
Sustracción de imágenes de reflectancia multibanda (MBR)	N/A	N/A	Mapeo de la distribución espacial del índigo (Bradley *et al.*, 2020; Dyer *et al.*, 2018; Kriss *et al.*, 2023; Webb *et al.*, 2014)
Procesamiento de color falso[a]			
Infrarrojo en falso color (FCIR, IRFC)	N/A	N/A	Visualizar, localizar espacialmente y diferenciar materiales y características de los materiales (Aguilar-Téllez *et al.*, 2014; Warda *et al.*, 2017); revelar tratamientos de conservación anteriores (Dyer *et al.*, 2018)
Falso color UV (FCUV, UVFC)	N/A	N/A	Visualizar, localizar espacialmente y diferenciar materiales y características de los materiales (Aldrovandi *et al.*, 2005; Warda *et al.*, 2017); distinguir pigmentos (Cosentino, 2016a); revelar tratamientos de conservación anteriores (Dyer *et al.*, 2018)
Técnicas de transmisión			
Luz visible transmitida (TL, VT)	400 – 700 nm	400-700 nm	Registrar el estado de conservación de los soportes y revelar dibujos preparatorios y/u otros detalles ocultos (Cucci *et al.*, 2012); visualizar, localizar espacialmente y diferenciar pigmentos (Herrero-Cortell *et al.*, 2020); revelar la estructura del papel y las marcas de agua (Chen & Smith, 2020)
Infrarrojo transmitido (IRT, TIR)	700 – 1100 nm	700-1100 nm	Registrar el estado de conservación de los soportes y revelar dibujos preparatorios y/u otros detalles ocultos (Cucci *et al.*, 2012; Herrero-Cortell *et al.*, 2018; Kushel, 1985); visualizar, localizar espacialmente y diferenciar pigmentos (Cosentino, 2016a; Herrero-Cortell *et al.*, 2020)
Técnicas de luminiscencia			
Luminiscencia visible inducida por UV	185-400 nm	400 – 700 nm	Visualizar, localizar espacialmente y diferenciar materiales y características de los materiales (por ejemplo, la luminiscencia característica de los barnices y pigmentos en las pinturas), determinar el estado (por ejemplo, revelar el moho y las líneas de marea en objetos de papel), revelar tratamientos de conservación anteriores (por ejemplo, adhesivos luminiscentes en reparaciones de cerámica) (Mairinger, 2000; Webb, 2019); indicar aspectos de la fabricación del papel fotográfico (dimensionamiento, recubrimientos, coloración a mano, retoques, repintado) (Chen & Smith, 2020)
Inducido por UV Luminiscencia infrarroja (UVIL, UV-IL)	185 – 400 nm	700-1100 nm	Mapea la distribución espacial de los pigmentos que emiten luminiscencia en el infrarrojo cuando son excitados por la radiación ultravioleta. Los pigmentos incluyen cadmio rojo y amarillo y la diferenciación entre blanco de titanio rutilo y anatasa (Keller *et al.*, 2019)
Luminiscencia infrarroja inducida por luz visible (VIL, V-IL)	400 – 700 nm	700-1100 nm	Mapa de la distribución espacial de los pigmentos que emiten luminiscencia en el infrarrojo cuando son excitados por la luz visible. Los pigmentos incluyen el azul egipcio (Dyer & Sotiropoulou, 2017; Kakoulli *et al.*, 2017; Radpour *et al.*, 2021; Verri, 2008, 2009); azul y púrpura Han (Verri, 2009); cadmio (Warda *et al.*, 2017); laca amarilla (Warda *et al.*, 2017); rojo cadmio, amarillo cadmio, verde cadmio (Cosentino, 2016a); examen de pinturas restauradas y detección de documentos alterados (Bridgeman & Gibson, 1963); revelar o mejorar problemas de conservación en papel (manchas de humedad, moho, manchas de óxido) (Chen & Smith, 2020)
Luminiscencia visible inducida visible (VIVL, VIS-VL)	400 – 700 nm[b]	400-700 nm[b]	Mapa de la distribución espacial de los pigmentos de laca de rubia (Dyer & Sotiropoulou, 2017; Kakoulli *et al.*, 2017; Radpour *et al.*, 2021)

a. Se siguen desarrollando métodos de procesamiento de falsos colores, y en este mismo volumen se incluyen dos capítulos que presentan nuevas técnicas de falsos colores (Raïch et al., pp. 482-511; Sharma, pp. 330-359). Esta tabla solo incluye FCIR y FCUV como métodos establecidos y ampliamente utilizados en el momento de redactar este documento.

b. Las longitudes de onda emitidas por las fuentes de radiación y el rango de longitudes de onda registrado para VIVL variarán en función del método y del sistema de imagen (fuente de radiación y/o filtros).

Table 2 | Examples of Materials and Objects Recorded Using Multiband Imaging.

Object Type	Object Specifics and References	MBI Techniques
Book and Paper	Japanese *ukiyo-e* woodblock prints (Gargano et al., 2022)	VIS, RUV, UVFC, UVL, VIVL, IR, IRFC
	woodblock print (Kriss et al., 2023)	MBR
	17th century letters (Titubante et al., 2022)	VIS, UVL, IR
	palimpsests (Cimino et al., 2023)	RUV, UVL, IR, IRR
	Mesoamerican codex or *tira* (Radlo-Dzur et al., 2021)	VIS, RUV, UVL, IR, IRFC, MBR
	ink on historic paper document (Aguilar-Téllez et al., 2014)	IR, FCIR
	fire-damaged medieval manuscripts (Pottier et al., 2019)	UVL
Objects	animal mummies (Tamburini et al., 2021)	VIS, RUV, UVFC, UVL, VIVL, IR, IRFC, MBR
	feathers (Pearlstein et al., 2015)	UVL
	Hellenistic period terracotta objects Dyer & Sotiropoulou, 2017)	UVL, VIL, VIVL
	Canosa polychrome terracotta vase(s) (Kakoulli et al., 2017; Radpour et al., 2021)	Kakoulli et al.: VIVL, VIL Radpour et al.: VIS, UVL, VIVL, VIL, photogrammetry
	fragment of an Egyptian painted wood sarcophagus (Frank et al., 2021)	UVL, VIL, RTI, photogrammetry
	fragmentary Egyptian sculpture Wiseman et al., 2023)	VIS, VIL
	parts of Egyptian wooden sculpture (Es Sebar et al., 2023)	VIS, RUV, UVFC, UVL, photogrammetry
	Roman wall painting fragment (Molacek et al., 2020)	UVL, VIL, RTI
	wooden polychromatic bust (Lanteri et al., 2019)	UVL, IR, photogrammetry
	Greek Attic vase (Nocerino et al., 2018)	VIS, UVL, photogrammetry
	mpungi ivory horn (instrument carved from elephant tusk) and fragment of a decorated antler (Mathys et al., 2019)	VIS, UVL, IR, photogrammetry
	pre-Hispanic pigments and painted pottery (Aguilar-Téllez et al., 2014)	IR, FCIR
Paintings	contemporary paintings (Fuster-López et al., 2023)	VIS, VT, RUV, FCUV, UVL, IR, FCIR, IRT, VIL
	contemporary paintings and panel painting replica (Daveri et al., 2016)	VIVL, VIL
	historic pigments on canvas (50 pigments, mainly Kremer) (Herrero-Cortell et al., 2020)	VIS, VT, IR, IRT
	large-format paintings (Barrantes-Madrigal et al., 2021)	VIS, UVL, IR, IRFC
	mummy portraits (Bradley et al., 2020; Dyer & Newman, 2020; Kriss et al., 2023; Mayberger et al., 2020; Roberts, 2020)	VIS, RUV, UVL, VIL, IR, VIVL, MBR
	wall paintings (Bläuer & Keller, 2020; Cucci et al., 2024; Keller et al., 2019; Rahrig et al., 2023)	Blauer & Keller – VIS, RUV, UVL, VIL, IR, UVFC, IRFC Cucci et al. – IR, VNIR HSI* Keller et al. – VIS, RUV, UVL, VIL, IR, UVFC, IRFC, UVIL Rahrig et al. – VIS, RUV, IR, FCIR, hybrid false color
	15th century Italian tempera on panel and 20th century painting on canvas (Aldrovandi et al., 2005)	VIS, RUV, UVL, FCUV, FCIR
	16th century Mexican painting on canvas and custom pigment chart (Aguilar-Téllez et al., 2014)	IR, FCIR
	17th century European painting, contemporary painting, and pigment chart (MacDonald-Korth, 2023)	VIS, RUV, UVL, IR (examples, but references FCUV, FCIR, IRT, VIL)
	18th century Spanish painting on canvas (Francisco Goya) (Herrero-Cortell et al., 2018)	VIS, RUV, UVL, IR, FCIR, IRT, VIL, IRR, X-ray
Photographic Materials	salted paper prints (Chen & Smith, 2020)	VIS (normal, raking, specular), UVL, RUV, IR, VIL
	daguerreotypes (Ravines et al., 2014)	UVL
	photographs (Tragni et al., 2005)	UVL
Textiles	Late Antique (c. 250-800 AD) textiles from Egypt (Dyer et al., 2018)	VIS, UVL, IR, IRFC, RUV, UVFC, VIVL, MBR
	Chinese textiles and textile fragments with Asian dyes/colorants (Tamburini & Dyer, 2019)	VIS, UVL, IR, UVL, UVR, VIVL, MBR, FCIR, FCUV
	Indonesian Thangka, painted textiles (Dyer et al., 2022)	VIS, UVL, IR, IRFC, IRR, x-ray
	archaeological Andean painted textiles (Webb et al., 2014)	MBR

** VNIR HSI = visible and near infrared hyperspectral imaging.*

Tabla 2 | Ejemplos de materiales y objetos registrados mediante imágenes multibanda.

Tipo de objeto	Características específicas del objeto y referencias	Técnicas MBI
Libros y papel	grabados japoneses *ukiyo-e* (Gargano *et al.*, 2022)	VIS, RUV, UVFC, UVL, VIVL, IR, IRFC
	grabado en madera (Kriss *et al.*, 2023)	MBR
	cartas del siglo XVII (Titubante *et al.*, 2022)	VIS, UVL, IR
	palimpsestos (Cimino *et al.*, 2023)	RUV, UVL, IR, IRR
	códices o *tiras* mesoamericanas (Radlo-Dzur *et al.*, 2021)	VIS, RUV, UVL, IR, IRFC, MBR
	tinta sobre documento histórico en papel (Aguilar-Téllez *et al.*, 2014)	IR, FCIR
	manuscritos medievales dañados por el fuego (Pottier *et al.*, 2019)	UVL
Objetos	momias de animales (Tamburini *et al.*, 2021)	VIS, RUV, UVFC, UVL, VIVL, IR, IRFC, MBR
	plumas (Pearlstein *et al.*, 2015)	UVL
	objetos de terracota del periodo helenístico (Dyer & Sotiropoulou, 2017)	UVL, VIL, VIVL
	jarrón(es) de terracota policromada de Canosa (Kakoulli *et al.*, 2017; Radpour *et al.*, 2021)	Kakoulli *et al.*: VIVL, VIL Radpour *et al.*: VIS, UVL, VIVL, VIL, fotogrametría
	fragmento de un sarcófago egipcio de madera pintada (Frank *et al.*, 2021)	UVL, VIL, RTI, fotogrametría
	escultura egipcia fragmentaria (Wiseman *et al.*, 2023)	VIS, VIL
	partes de escultura egipcia de madera (Es Sebar *et al.*, 2023)	VIS, RUV, UVFC, UVL, fotogrametría
	fragmento de pintura mural romana (Molacek *et al.*, 2020)	UVL, VIL, RTI
	busto policromático de madera (Lanteri *et al.*, 2019)	UVL, IR, fotogrametría
	jarra griega (Nocerino *et al.*, 2018)	VIS, UVL, fotogrametría
	cuerno de marfil mpungi (instrumento tallado a partir de un colmillo de elefante) y fragmento de una cornamenta decorada (Mathys *et al.*, 2019)	VIS, UVL, IR, fotogrametría
	pigmentos prehispánicos y cerámica pintada (Aguilar-Téllez *et al.*, 2014)	IR, FCIR
Pinturas	pinturas contemporáneas (Fuster-López *et al.*, 2023)	VIS, VT, RUV, FCUV, UVL, IR, FCIR, IRT, VIL
	pinturas contemporáneas y réplicas de pinturas sobre tabla (Daveri *et al.*, 2016)	VIVL, VIL
	pigmentos históricos sobre lienzo (50 pigmentos, principalmente Kremer) (Herrero-Cortell *et al.*, 2020)	VIS, VT, IR, IRT
	pinturas de gran formato (Barrantes-Madrigal *et al.*, 2021)	VIS, UVL, IR, IRFC
	retratos de momias (Bradley *et al.*, 2020; Dyer & Newman, 2020; Kriss *et al.*, 2023; Mayberger *et al.*, 2020; Roberts, 2020)	VIS, RUV, UVL, VIL, IR, VIVL, MBR
	pinturas murales	Blauer y Keller: VIS, RUV, UVL, VIL, IR, UVFC, IRFC Cucci *et al.* – IR, VNIR HSI* Keller *et al.* – VIS, RUV, UVL, VIL, IR, UVFC, IRFC, UVIL Rahrig *et al.* – VIS, RUV, IR, FCIR, híbrido en falso color
	tempera italiana del siglo XV sobre tabla y pintura del siglo XX sobre lienzo	VIS, RUV, UVL, FCUV, FCIR
	pintura mexicana del siglo XVI sobre lienzo y carta de pigmentos personalizada (Aguilar-Téllez *et al.*, 2014)	IR, FCIR
	pintura europea del siglo XVII, pintura contemporánea y carta de pigmentos (MacDonald-Korth, 2023)	VIS, RUV, UVL, IR (ejemplos, pero referencias FCUV, FCIR, IRT, VIL)
Materiales fotográficos	copias en papel salado (Chen & Smith, 2020)	VIS (normal, rasante, especular), UVL, RUV, IR, VIL
	daguerrotipos (Ravines *et al.*, 2014)	UVL
	fotografías (Tragni *et al.*, 2005)	UVL
Textiles	textiles de la Antigüedad tardía (aprox. 250-800 d. C.) procedentes de Egipto (Dyer *et al.*, 2018)	VIS, UVL, IR, IRFC, RUV, UVFC, VIVL, MBR
	textiles chinos y fragmentos textiles con tintes/colorantes asiáticos (*Tamburini & Dyer, 2019*)	VIS, UVL, IR, UVL, UVR, VIVL, MBR, FCIR, FCUV
	thangka indonesios, textiles pintados (Dyer *et al.*, 2022)	VIS, UVL, IR, IRFC, IRR, rayos X
	textiles pintados arqueológicos andinos (Webb *et al.*, 2014)	MBR

**VNIR HSI = imágenes hiperespectrales visibles y del infrarrojo cercano.*

Equipment, Processes, and Documentation

The introduction of modified consumer digital cameras has meant that MBI is more widely available to conservators and cultural heritage professionals (Falco, 2009). Specialized cameras were no longer needed for techniques like reflected UV and IR imaging. The modification of consumer digital cameras relies on the fact that silicon sensors, at the heart of consumer digital cameras, are inherently sensitive to near ultraviolet and near infrared radiation but are optimized for color photography by incorporating an infrared blocking filter and a color filter [Bayer] array (CFA) on the sensor. By removing the infrared blocking filter (and in some cases the CFA), the cameras can provide reasonably inexpensive, user friendly, portable, and high-resolution imaging devices for UV and IR imaging. An added benefit is that these cameras retain the same handling properties and user interfaces as consumer digital cameras and the ability to connect with previously purchased camera accessories and software, important considerations for the wide adoption and use of these cameras. These cameras can be paired with different radiation sources and filters to accomplish the suite of techniques making the techniques flexible and more readily available to wider use.

A review of published literature provides a view of the current state of MBI of cultural heritage objects with one outcome being the compiling and tabulation of the equipment used to create multiband image sets: cameras, lenses, radiation sources (Table 3), and filters (Table 4). This information documents the incredible range of imaging equipment used and illustrate both the flexibility and wide use of the techniques while also pointing to the challenges of reproducibility and comparability.

Equipos, procesos y documentación

La introducción de cámaras digitales modificadas ha supuesto que la MBI esté más al alcance de los conservadores y profesionales del patrimonio cultural (Falco, 2009). Ya no se necesitaban cámaras especializadas para técnicas como la imagen UV e IR reflejada. La modificación de las cámaras digitales de consumo se basa en el hecho de que los sensores de silicio, que son el corazón de las cámaras digitales de consumo, son intrínsecamente sensibles a la radiación ultravioleta cercana y al infrarrojo cercano, pero están optimizados para la fotografía en color mediante la incorporación de un filtro de bloqueo de infrarrojos y una matriz de filtros de color [Bayer] (CFA) en el sensor. Al eliminar el filtro de bloqueo de infrarrojos (y, en algunos casos, la CFA), las cámaras pueden proporcionar dispositivos de imagen razonablemente económicos, fáciles de usar, portátiles y de alta resolución para la obtención de imágenes UV e IR. Una ventaja añadida es que estas cámaras conservan las mismas propiedades de manejo e interfaces de usuario que las cámaras digitales de consumo, así como la capacidad de conectarse con accesorios y software de cámara adquiridos anteriormente, lo que constituye una consideración importante para la adopción y el uso generalizados de estas cámaras. Estas cámaras pueden combinarse con diferentes fuentes de radiación y filtros para llevar a cabo el conjunto de técnicas, lo que las hace flexibles y más fácilmente disponibles para un uso más amplio.

Una revisión de la bibliografía publicada ofrece una visión del estado actual de la MBI de los objetos del patrimonio cultural, con un resultado que es la recopilación y tabulación de los equipos utilizados para crear conjuntos de imágenes multibanda: cámaras, lentes, fuentes de radiación (Tabla 3) y filtros (Tabla 4). Esta información documenta la increíble variedad de equipos de imagen utilizados e ilustra tanto la flexibilidad como el amplio uso de las técnicas, al tiempo que señala los retos de la reproducibilidad y la comparabilidad.

Table 3 | Radiation Sources Used for Multiband Imaging.

Type of Source	Radiation Source	Reference
Visible light sources (VIS)		
Continuous, halogen	Halogen studio lamps	(Herrero-Cortell et al., 2018; Rahrig et al., 2023)
	2 x halogen lamps (1250 W)	(Herrero-Cortell et al., 2020)
	2 x tungsten-halogen lamps (800 W)	(Es Sebar et al., 2023)
	Lowel Tota-light Tungsten Floodlight with a EMD 750watt 120-volt bulb	(MacDonald-Korth, 2023)
	Photographic lamps with a color temperature of 5000 K	(Titubante et al., 2022)
	Tungsten light	(Radpour et al., 2021)
Continuous, LED	Genaray Spectro LED-14 lights (5600K)	(Bradley et al., 2020; Kriss et al., 2023)
	2 x LEDGO LG-1200s LED panels	(Wiseman et al., 2023)
Flash	2 x Profoto D1 500 W electronic flash	(Beckett & Shugar, 2022; Chen & Smith, 2020)
	Elinchrom 6000 Micro AS powerpack with A3000N flash heads, each equipped with Rotalux softboxes (diffuser)	(Dyer et al., 2022)
	2 x Classic Elinchrom 500 Xenon flashlights, each equipped with a softbox (diffuser)	(Dyer & Sotiropoulou, 2017; Dyer et al., 2018; Tamburini et al., 2021)
	2 x Godox Witstro AD360 flashlights (360 W with light diffuser)	(Gargano et al., 2022)
UV radiation sources (UVL, RUV, UVIL)		
Continuous, LED	Dedo DLED7 UV 365 nm by Dedo Weigert Film GmbH coupled to a UV pass filter	(Cimino et al., 2023)
	Cultural Heritage Science Open Source (CHSOS) Fabrizio Ultraviolet LED lamp	(MacDonald-Korth, 2023)
	254 nm UV lamp, Spectroline MiniMAX UV-5F (5W lamp complete with UV-pass glass)	(Herrero-Cortell et al., 2018)
	UV high-Flux 365nm LED (filtered with UVpass glass) provided by CHSOS[a]	(Herrero-Cortell et al., 2018; Cosentino, 2014; Cosentino & Stout, 2014)
	2 x 365 nm (±10 nm, 3 W power) UV LED lamps (Madatec Srl, Milan, Italy) with 300–400 nm bandpass filter	(Gargano et al., 2022)
	Battery operated UV diode lamp (emission centered at 365 nm) with 3W power	(Titubante et al., 2022)
	2 x UV LEDs	(Rahrig et al., 2023)
	2 x 365 nm UV LED sources (3000 mW AC/battery operated)	(Es Sebar et al., 2023)
Continuous, non-LED	Philips PHLTUV36 fluorescent tubes	(Lanteri et al., 2019)
	UV Systems SuperBright UVA, peak 368 nm	(Beckett & Shugar, 2022; Chen & Smith, 2020)
	UV Systems LW370 TripleBright II Lights (output 368 nm, 5750K)	(Bradley et al., 2020; Chen & Smith, 2020)
	8 W 3UV lamp manufactured by UVP Analytik Jena (254 nm, 303 nm, 365 nm)	(Verri, 2019)
	Vilber Lourmat UV-A VL-215L lamp (365 nm)	(Pottier et al., 2019)
	2 x Wood's radiation sources (365 nm) filtered with a Schott DUG11[b] interference bandpass filter (280–400 nm)	(Dyer & Newman, 2020; Dyer & Sotiropoulou, 2017; Dyer et al., 2018, 2022; Tamburini et al., 2021)
Flash	modified Xenon flashes (two Nikon SB-80DX flashtubes)	(Verri, 2019; Verri & Saunders, 2014)
IR radiation source (IR)		
Continuous, halogen	Lowel Tota-light Tungsten Floodlight with a EMD 750watt 120-volt bulb	(MacDonald-Korth, 2023)
	Halogen studio lamps	(Cimino et al., 2023; Herrero-Cortell et al., 2018, 2020) (Rahrig et al., 2023)
	60 W incandescent lamps	(Titubante et al., 2022)
	Solux Halogen MR-16 Lights (output: 4700K)	(Bradley et al., 2020)
	Tungsten lamps	(Aguilar-Téllez et al., 2014)
	ARRILTE 750 Plus with a tungsten halogen lamp colour temperature 3200 K	(Cucci et al., 2024)

(Table 3 continued in next page)

(Table 3 continued from previous page)

Type of Source	Radiation Source	Reference
Flash	Classic Elinchrom 500 Xenon flashlights, each equipped with a softbox (diffuser)	(Dyer & Newman, 2020; Dyer & Sotiropoulou, 2017; Dyer et al., 2018; Tamburini et al., 2021)
	Elinchrom 6000 Micro AS powerpack with A3000N flash heads, each equipped with Rotalux softboxes (diffuser)	(Dyer et al., 2022)
	2 x Godox Witstro AD360 flashlights (360 W with light diffuser)	(Gargano et al., 2022)
	2x Profoto D1 500 W electronic flash	(Beckett & Shugar, 2022; Chen & Smith, 2020)
Visible radiation sources (VIL)		
Continuous, LED	American DJ RGB LED Lights, Model 648 LED PRO, Red Bulbs CL1 (Output: 629 nm)	(Bradley et al., 2020)
	CHSOS white light LED lamp filtered with the X-Nite CC1[c]	(Cosentino, 2014, 2016a) (Cosentino, 2014; Herrero-Cortell et al., 2018)
	Custom-made LED light source system with 3 narrow bands: red (630 nm); green (517 nm); blue (465 nm)	(Daveri et al., 2016)
	2 x high power LED (red, green, and blue) light sources (Eurolite LED PAR56 RGB spots 20W, 151 LEDs, beam angle 21deg) • red LEDs (λmax = 630 nm)	(Dyer & Newman, 2020; Dyer & Sotiropoulou, 2017)
	2 x LEDGO LG-1200s LED panels	(Wiseman et al., 2023)
	1 x LED light covered with 2 Schott BG38 filters	(Chen & Smith, 2020)
	1 Powersmith 50 W LED + Schott BG38 IR-blocking filter (6 mm-thick)	(Beckett & Shugar, 2022)
Continuous, metal halide lamp	Mini-Crimescope MCS-400 (SPEX Forensics) with interference-bandpass filters[d]	(Kakoulli et al., 2017; Mayberger et al., 2020; Radpour et al., 2021)
Visible radiation sources (VIVL)		
Continuous, LED	American DJ RGB LED lights, blue LEDs (dominant λ 461 nm)	(Mayberger et al., 2020)
	Custom-made LED light source system with 3 narrow bands red (630 nm); green (517 nm); blue (465 nm)	(Daveri et al., 2016)
	2 x high power LED (red, green and blue) light sources (Eurolite LED PAR56 RGB spots 20W, 151 LEDs, beam angle 21deg) • blue LEDs (λmax =465 nm)	(Dyer & Sotiropoulou, 2017; Dyer et al., 2018; Tamburini et al., 2021)
Continuous, metal halide lamp	Mini-Crimescope MCS-400 (SPEX Forensics) with interference-bandpass filters[e]	(Kakoulli et al., 2017) (Radpour et al., 2021)
Radiation sources for MBR		
Continuous, halogen	Solux MR-16 Halogen bulbs, 4700K	(Bradley et al., 2020) (Kriss et al., 2023)
Flash	2 x Classic Elinchrom 500 Xenon flashlights, each equipped with a softbox (diffuser)	(Dyer & Newman, 2020) (Dyer et al., 2018)

a. Cosentino & Stout (2014) specified that it is filtered with X-Nite CC1.

b. Dyer & Newman (2020) used DUG11X instead of DUG11.

c. The same lamp was used for all three references but was described differently in each of the publications. Horrero-Cortell et al. (2018) listed it as "CHSOS white light LED lamp filtered with the X-Nite CC1." Cosentino (2014) listed it as "white light LED lamp filtered with the X-Nite CC1 filter," and Cosentino (2015) included the lamp as an LED lamp (Cree LED 3000K 550 LUMEN) filtered with the X-Nite CC1 filter.

d. Kakoulli et al. (2017) and Radpour et al. (2021) photoexcitation λex max = 600 nm. Mayberger et al. (2020) λex = 535 nm and 555 nm.

e. Kakoulli et al. (2017) using photoexcitation λex max = 535 nm.

Tabla 3 | Fuentes de radiación utilizadas para la obtención de imágenes multibanda.

Tipo de fuente	Fuente de radiación	Referencia
Fuentes de luz visible (VIS)		
Continuas, halógenas	Lámparas halógenas de estudio	(Herrero-Cortell *et al.*, 2018; Rahrig *et al.*, 2023)
	2 lámparas halógenas (1250 W)	(Herrero-Cortell *et al.*, 2020)
	2 lámparas halógenas de tungsteno (800 W)	(Es Sebar *et al.*, 2023)
	Proyector de tungsteno Lowel Tota-light con una bombilla EMD de 750 vatios y 120 voltios	(MacDonald-Korth, 2023)
	Lámparas fotográficas con una temperatura de color de 5000 K	(Titubante *et al.*, 2022)
	Luz de tungsteno	(Radpour *et al.*, 2021)
Continuas, LED	Luces Genaray Spectro LED-14 (5600 K)	(Bradley *et al.*, 2020; Kriss *et al.*, 2023)
	2 paneles LEDGO LG-1200s LED	(Wiseman *et al.*, 2023)
Flash	2 flashes electrónicos Profoto D1 de 500 W	(Beckett & Shugar, 2022) (Chen & Smith, 2020)
	Generador Elinchrom 6000 Micro AS con cabezales de flash A3000N, cada uno equipado con softboxes Rotalux (difusor)	(Dyer *et al.*, 2022)
	2 flashes clásicos Elinchrom 500 Xenon, cada uno equipado con un softbox (difusor)	(Dyer & Sotiropoulou, 2017; Dyer *et al.*, 2018) (Tamburini *et al.*, 2021)
	2 flashes Godox Witstro AD360 (360 W con difusor de luz)	(Gargano *et al.*, 2022)
Fuentes de radiación UV (UVL, RUV, UVIL)		
Continuas, LED	Dedo DLED7 UV 365 nm de Dedo Weigert Film GmbH acoplado a un filtro de paso UV	(Cimino *et al.*, 2023)
	Cultural Heritage Science Open Source (CHSOS) Lámpara LED ultravioleta Fabrizio	(MacDonald-Korth, 2023)
	Lámpara UV de 254 nm, Spectroline MiniMAX UV-5F (lámpara de 5 W con cristal de paso UV)	(Herrero-Cortell *et al.*, 2018)
	LED UV de alto flujo de 365 nm (filtrado con vidrio UVpass) proporcionado por CHSOS[a]	(Herrero-Cortell *et al.*, 2018; Cosentino, 2014) (Cosentino & Stout, 2014)
	Lámparas LED UV de 2 x 365 nm (±10 nm, potencia de 3 W) (Madatec Srl, Milán, Italia) con filtro de paso de banda de 300-400 nm	(Gargano *et al.*, 2022)
	Lámpara LED UV alimentada por batería (emisión centrada en 365 nm) con potencia de 3 W	(Titubante *et al.*, 2022)
	2 LED UV	(Rahrig *et al.*, 2023)
	2 fuentes LED UV de 365 nm (3000 mW CA/funcionamiento con batería)	(Es Sebar *et al.*, 2023)
Continuo, sin LED	Tubos fluorescentes Philips PHLTUV36	(Lanteri *et al.*, 2019)
	Sistemas UV SuperBright UVA, pico de 368 nm	(Beckett & Shugar, 2022; Chen & Smith, 2020)
	Lámparas UV Systems LW370 TripleBright II (salida 368 nm, 5750 K)	(Bradley *et al.*, 2020; Chen & Smith, 2020)
	Lámpara 3UV de 8 W fabricada por UVP Analytik Jena (254 nm, 303 nm, 365 nm)	(Verri, 2019)
	Lámpara Vilber Lourmat UV-A VL-215L (365 nm)	(Pottier *et al.*, 2019)
	2 fuentes de radiación de Wood (365 nm) filtradas con un filtro de paso de banda de interferencia Schott DUG11[b] (280-400 nm)	(Dyer & Newman, 2020; Dyer & Sotiropoulou, 2017) (Dyer *et al.*, 2018, 2022; Tamburini *et al.*, 2021)
Flash	Flashes de xenón modificados (dos tubos de flash Nikon SB-80DX)	(Verri, 2019; Verri & Saunders, 2014)
Fuente de radiación IR (IR)		
Halógena continua	Proyector de tungsteno Lowel Tota-light con una bombilla EMD de 750 vatios y 120 voltios	(MacDonald-Korth, 2023)
	Lámparas halógenas de estudio	(Cimino *et al.*, 2023 (Herrero-Cortell *et al.*, 2018, 2020; Rahrig *et al.*, 2023)
	Lámparas incandescentes de 60 W	(Titubante *et al.*, 2022)
	Lámparas halógenas Solux MR-16 (potencia: 4700 K)	(Bradley *et al.*, 2020)
	Lámparas de tungsteno	(Aguilar-Téllez *et al.*, 2014)
	ARRILTE 750 Plus con lámpara halógena de tungsteno, temperatura de color 3200 K	(Cucci *et al.*, 2024)

(Tabla 3 continúa en la página siguiente)

(Tabla 3 continúa de la página anterior)

Tipo de fuente	Fuente de radiación	Referencia
Flash	Flash clásico Elinchrom 500 Xenon, cada uno equipado con un softbox (difusor)	(Dyer & Newman, 2020; Dyer & Sotiropoulou, 2017) (Dyer *et al.*, 2018; Tamburini *et al.*, 2021)
	Generador Elinchrom 6000 Micro AS con cabezales de flash A3000N, cada uno equipado con softboxes Rotalux (difusor)	(Dyer *et al.*, 2022)
	2 flashes Godox Witstro AD360 (360 W con difusor de luz)	(Gargano *et al.*, 2022)
	2 flashes electrónicos Profoto D1 de 500 W	(Beckett & Shugar, 2022; Chen & Smith, 2020)
Fuentes de radiación visible (VIL)		
Continuas, LED	Luces LED RGB American DJ, modelo 648 LED PRO, bombillas rojas CL1 (salida: 629 nm)	(Bradley *et al.*, 2020)
	Lámpara LED de luz blanca CHSOS filtrada con X-Nite CC1[c]	(Cosentino, 2014, 2016a) (Cosentino, 2014; Herrero-Cortell *et al.*, 2018)
	Sistema de fuente de luz LED personalizado con 3 bandas estrechas: rojo (630 nm); verde (517 nm); azul (465 nm)	(Daveri *et al.*, 2016)
	2 fuentes de luz LED de alta potencia (rojo, verde y azul) (Eurolite LED PAR56 RGB spots 20 W, 151 LED, ángulo de haz 21 grados) • LED rojos (λmax = 630 nm)	(Dyer & Newman, 2020; Dyer & Sotiropoulou, 2017)
	2 paneles LEDGO LG-1200s	(Wiseman *et al.*, 2023)
	1 luz LED cubierta con 2 filtros Schott BG38	(Chen & Smith, 2020)
	1 Powersmith 50 W LED + filtro bloqueador de infrarrojos Schott BG38 (6 mm de grosor)	(Beckett & Shugar, 2022)
Lámpara de halogenuros metálicos continua	Mini-Crimescope MCS-400 (SPEX Forensics) con filtros de paso de banda de interferencia[d]	(Kakoulli *et al.*, 2017; Mayberger *et al.*, 2020) (Radpour *et al.*, 2021)
Fuentes de radiación visible (VIVL)		
Continuas, LED	Luces LED RGB American DJ, LED azules (λ dominante 461 nm)	(Mayberger *et al.*, 2020)
	Sistema de fuente de luz LED personalizado con 3 bandas estrechas: rojo (630 nm); verde (517 nm); azul (465 nm)	(Daveri *et al.*, 2016)
	2 fuentes de luz LED de alta potencia (rojo, verde y azul) (Eurolite LED PAR56 RGB spots 20 W, 151 LED, ángulo de haz 21 grados) • LED azules (λmax = 465 nm)	(Dyer & Sotiropoulou, 2017; Dyer *et al.*, 2018; Tamburini *et al.*, 2021)
Lámpara de halogenuros metálicos continua	Mini-Crimescope MCS-400 (SPEX Forensics) con filtros de paso de banda de interferencia e	(Kakoulli *et al.*, 2017; Radpour *et al.*, 2021)
Fuentes de radiación para MBR		
Halógena continua	Solux MR-16 Bombillas halógenas, 4700 K	(Bradley *et al.*, 2020; Kriss *et al.*, 2023)
Flash	2 flashes clásicos Elinchrom 500 Xenon, cada uno equipado con un softbox (difusor)	(Dyer & Newman, 2020; Dyer *et al.*, 2018)

a. Cosentino & Stout(2014) especificaron que se filtra con X-Nite CC1.

b. Dyer & Newman, 2020) utilizaron DUG11X en lugar de DUG11.

c. Se utilizó la misma lámpara para las tres referencias, pero se describió de forma diferente en cada una de las publicaciones. Horrero-Cortell et al. (2018) la enumeraron como «lámpara LED de luz blanca CHSOS filtrada con X-Nite CC1». Cosentino(2014) la enumeró como «lámpara LED de luz blanca filtrada con el filtro X-Nite CC1», y Cosentino(2015) incluyó la lámpara como una lámpara LED (Cree LED 3000K 550 LUMEN) filtrada con el filtro X-Nite CC1.

d. Kakoulli et al. (2017) y Radpour et al. (2021) fotoexcitación λex max = 600 nm. Mayberger et al. (2020) λex = 535 nm y 555 nm.

e. Kakoulli et al. (2017) utilizando fotoexcitación λex max = 535 nm.

Cameras

As described in Pozeilov and Webb's chapter (2025, this volume, pp. 14-59), there are three available types of camera modifications: single wavelength, full-spectrum, and monochrome. Of these modifications, the full-spectrum UV-VIS-IR cameras are most widely used for conservation and cultural heritage documentation.[4] These offer the capabilities of being able to acquire the full suite of multiband images with a single camera while changing radiation sources and filters.

There are a few examples of point-and-shoot cameras[5] and a video camera[6] offering less expensive options than a modified DSLR for multiband imaging (Aguilar-Téllez et al., 2014; Cucci et al., 2012; Lanteri et al., 2019). There has even been research into modifying a smartphone and using a 3D-printed filter wheel as an affordable, adaptable, and portable system for multiband imaging (Billups, 2023). While there are options for less expensive or even do-it-yourself (DIY) modifications for cameras, a DSLR is recommended over these smaller format cameras (Warda et al., 2017). As described by Warda et al. (2017, p. 133):

> DSLR cameras have interchangeable lenses and larger sensors (and thus better image quality), and select models can be controlled by a computer through tethering software. A DSLR with a

[4] Examples of full-spectrum UV-VIS-IR modifications include: Canon 5Ds (Mathys et al., 2019), Canon 40D (Dyer et al., 2018; Dyer & Sotiropoulou, 2017; Tamburini et al., 2021), Fujifilm IS Pro (Rahrig et al., 2023), Fujifilm XT-30 (Es Sebar et al., 2023), Nikon D90 (Kakoulli et al., 2017; Radpour et al., 2021), Nikon D610 (Bradley et al., 2020; Kriss et al., 2023), Nikon D700 (Kotoula, 2015), Nikon D800 (Cosentino, 2013, 2014, 2016a; Cosentino & Stout, 2014).

[5] Cucci et al. (2012) uses two unmodified point-and-shoot cameras, one that is used for visible light photography and the second one that has a "night shot" mode that was used to take IR images.

[6] Aguilar-Téllez et al (2014) uses the "night shot" mode of a camcorder for multiband imaging.

Cámaras

Tal y como se describe en el capítulo de Pozeilov y Webb (2025, en este mismo volumen, pp. 14-59), existen tres tipos de modificaciones de cámaras disponibles: de longitud de onda única, de espectro completo y monocromáticas. De estas modificaciones, las cámaras UV-VIS-IR de espectro completo son las más utilizadas para la conservación y la documentación del patrimonio cultural.[4] Estas ofrecen la posibilidad de adquirir el conjunto completo de imágenes multibanda con una sola cámara, cambiando las fuentes de radiación y los filtros.

Hay algunos ejemplos de cámaras compactas[5] y una videocámara[6] que ofrecen opciones más económicas que una DSLR modificada para la obtención de imágenes multibanda (Aguilar-Téllez *et al.*, 2014; Cucci *et al.*, 2012; Lanteri *et al.*, 2019). Incluso se ha investigado la modificación de un teléfono inteligente y el uso de una rueda de filtros impresa en 3D como sistema asequible, adaptable y portátil para la obtención de imágenes multibanda (Billups, 2023). Aunque existen opciones más económicas o incluso modificaciones «hágalo usted mismo» (DIY) para las cámaras, se recomienda una DSLR en lugar de estas cámaras de formato más pequeño (Warda *et al.*, 2017). Tal y como describen Warda *et al.* (2017, p. 133) :

> Las cámaras DSLR tienen lentes intercambiables y sensores más grandes (y, por lo tanto, mejor calidad de imagen), y algunos modelos pueden controlarse desde un ordenador mediante un software de conexión. Una

[4] Algunos ejemplos de modificaciones de espectro completo UV-VIS-IR son: Canon 5Ds (Mathys *et al.*, 2019), Canon 40D (Dyer *et al.*, 2018; Dyer & Sotiropoulou, 2017; Tamburini *et al.*, 2021), Fujifilm IS Pro (Rahrig *et al.*, 2023), Fujifilm XT-30 (Es Sebar *et al.*, 2023), Nikon D90 (Kakoulli *et al.*, 2017; Radpour *et al.*, 2021), Nikon D610 (Bradley *et al.*, 2020; Kriss *et al.*, 2023), Nikon D700 (Kotoula, 2015), Nikon D800 (Cosentino, 2013, 2014, 2016a; Cosentino & Stout, 2014).

[5] Cucci *et al.* (2012) utiliza dos cámaras compactas sin modificar, una que se utiliza para la fotografía con luz visible y otra que tiene un modo de «fotografía nocturna» que se utilizó para tomar imágenes IR.

[6] Aguilar-Téllez *et al*(2014) utiliza el modo «fotografía nocturna» de una videocámara para obtener imágenes multibanda.

> fullframe sensor is even more advantageous for its superior image quality, especially with low signal levels—as may occur with some filters used in infrared and reflected ultraviolet photography.

Current DSLRs, with the full-spectrum modification, offer a high-resolution, high-quality tool for multiband imaging.

There are also some examples of medium format cameras being used for multiband imaging (Cimino et al., 2023; Dyer et al., 2022; Gargano et al., 2022; Herrero-Cortell et al., 2018). These cameras offer a more expensive and higher resolution option for these techniques, but these are not necessarily widely used for MBI.

In discussing the different cameras being used, it is important to note that different types of sensors have different spectral sensitivity and even the same sensor type made by different manufacturers will have differing sensitivity. These differences impact what is recorded in the image. Workflows have been developed which aim to reduce device dependency and improve comparability such as the CHARISMA imaging protocols (Dyer et al., 2013) and the scene-referred workflows developed by the Metropolitan Museum of Art (Geffert, 2018, 2021, 2023). Both approaches will be further discussed later in this chapter.

Additionally, the camera modification directly impacts what the camera is recording, and it is essential to note the type of modification and who did the modification in metadata, reports, and publications. Cameras automatically record metadata, which include details such as the camera manufacturer, the model, and the settings data (shutter speed, aperture, and ISO). However, the metadata of a modified camera does not include that it is modified or how it

> DSLR con un sensor de fotograma completo es aún más ventajosa por su calidad de imagen superior, especialmente con niveles de señal bajos, como puede ocurrir con algunos filtros utilizados en la fotografía infrarroja y ultravioleta reflejada.

Las cámaras DSLR actuales, con la modificación de espectro completo, ofrecen una herramienta de alta resolución y alta calidad para la obtención de imágenes multibanda.

También hay algunos ejemplos de cámaras de formato medio que se utilizan para la obtención de imágenes multibanda (Cimino *et al.*, 2023; Dyer *et al.*, 2022; Gargano *et al.*, 2022; Herrero-Cortell *et al.*, 2018). Estas cámaras ofrecen una opción más cara y de mayor resolución para estas técnicas, pero no se utilizan necesariamente de forma generalizada para la MBI.

Al analizar las diferentes cámaras que se utilizan, es importante tener en cuenta que los diferentes tipos de sensores tienen una sensibilidad espectral diferente e incluso el mismo tipo de sensor fabricado por diferentes fabricantes tendrá una sensibilidad diferente. Estas diferencias afectan a lo que se registra en la imagen. Se han desarrollado flujos de trabajo que tienen como objetivo reducir la dependencia de los dispositivos y mejorar la comparabilidad, como los protocolos de imagen CHARISMA (Dyer *et al.*, 2013) y los flujos de trabajo referidos a la escena desarrollados por el Museo Metropolitan Museum of Art (Geffert, 2018, 2021, 2023). Ambos enfoques se analizarán más adelante en este capítulo.

Además, la modificación de la cámara afecta directamente a lo que esta graba, por lo que es esencial indicar el tipo de modificación y quién la ha realizado en los metadatos, informes y publicaciones. Las cámaras graban automáticamente metadatos, que incluyen detalles como el fabricante de la cámara, el modelo y los datos de configuración (velocidad de obturación, apertura e ISO). Sin embargo, los metadatos de una cámara modificada

was modified. In order for the image to continue to be useful for conservators and heritage professionals in the future, it is important that the information about the modification (along with other information about the imaging system and setup) are recorded as part of the image. This chapter will more fully discuss metadata recommendations.

Lenses

Jiuan Jiuan Chen in her chapter, "Considerations for Setting Up Technical Imaging with Modified UV-VIS-IR RGB Cameras: Tools and Equipment," (2025, in this volume, pp. 198-239) discusses important considerations for lenses being used for MBI including the advantages (not refocusing while acquiring an image set) and disadvantages (high cost) of an apochromatic lens. Many standard photographic lenses will require refocusing images acquired in different spectral bands and additional registration post-processing. Additionally, there is the consideration of the coatings of photographic lenses that may block UV radiation and produce hotspots when recording in the IR (Kolari Vision Lens Hotspot Database, n.d.). Chen notes that most lenses transmit UVA, but RUV recording in shorter wavelength ranges will require a quartz lens (Warda et al., 2017). Warda et al. (2017) provides a more in-depth discussion about camera lenses and selection.

Lens information is not always included in publications and is less reported than the camera information. However, when reported, several studies are using the Jenoptik CoastalOpt 60 mm UV-VIS-IR APO macro lens (Beckett & Shugar, 2022; Bradley et al., 2020; Chen & Smith, 2020; Kriss et al., 2023; Mathys et al., 2019; Rahrig et al., 2023; Webb et al., 2014, 2023). The next widely used type of lens and focal lengths are prime lenses around 50 mm to 60 mm

no incluyen que está modificada ni cómo se ha modificado. Para que la imagen siga siendo útil para los conservadores y los profesionales del patrimonio en el futuro, es importante que la información sobre la modificación (junto con otra información sobre el sistema de imagen y la configuración) se registre como parte de la imagen. En este capítulo se tratarán con más detalle las recomendaciones sobre metadatos.

Objetivos

Jiuan Jiuan Chen, en su capítulo «Consideraciones para la configuración de imágenes técnicas con cámaras RGB UV-VIS-IR modificadas: herramientas y equipos», (2025, en este volumen, pp. 198-239) analiza aspectos importantes que deben tenerse en cuenta en relación con las lentes utilizadas para la MBI, incluidas las ventajas (no es necesario volver a enfocar mientras se adquiere un conjunto de imágenes) y las desventajas (alto coste) de las lentes apocromáticas. Muchos objetivos fotográficos estándar requieren reenfocar las imágenes adquiridas en diferentes bandas espectrales y un posprocesamiento de registro adicional. Además, hay que tener en cuenta los recubrimientos de las lentes fotográficas, que pueden bloquear la radiación UV y producir distorsiones tipo '*hot spot*' al registrara en el IR (Kolari Vision Lens Hotspot Database, s. f.). Chen señala que la mayoría de las lentes transmiten UVA, pero la grabación de RUV en rangos de longitud de onda más cortos requerirá una lente de cuarzo (Warda *et al.*, 2017). Warda *et al.* (2017) ofrece un análisis más detallado sobre las lentes de las cámaras y su selección.

La información sobre las lentes no siempre se incluye en las publicaciones y se indica menos que la información sobre las cámaras. Sin embargo, cuando se indica, varios estudios utilizan la lente macro Jenoptik CoastalOpt 60 mm UV-VIS-IR APO (Beckett y Shugar, 2022; Bradley *et al.*, 2020; Chen y Smith, 2020; Kriss *et al.*, 2023; Mathys *et al.*, 2019; Rahrig *et al.*, 2023; Webb *et al.*, 2014, 2023). El siguiente tipo de lente y distancias focales más utilizados son las lentes fijas de entre 50 mm y 60 mm

(Cosentino, 2014; Cucci et al., 2024; Dyer et al., 2018; Dyer & Sotiropoulou, 2017; Es Sebar et al., 2023; Herrero-Cortell et al., 2020; Radpour et al., 2021; Tamburini et al., 2021) which follows with general recommendations and best practices for conservation documentation (Warda et al., 2017). The lens is an important component of the imaging system and impacts how and what is being recorded in an image, so it is also essential to include lens information in metadata,[7] reports, and publications. This information is important for the reproducibility and comparability of the image in addition to its continued use for conservators and heritage professionals in the future.

Radiation Sources

Pozeilov and Webb's chapter, "Introduction to Multiband Imaging Techniques," (2025, in this volume, pp. 14-59), presents the different types of light/radiation sources available and being used for multiband imaging. The review of the literature and the resulting Table 3 show that all these different types of light/radiation sources are being used. This table includes the information about radiation sources that authors provided in their publications. The information will be inconsistent between authors and publications and may not include the complete information about the source. There is a range of information that is included in publications about the radiation sources from little to no information to manufacture, model, specifications, and wavelength ranges.

The spectral output of radiation sources is important to what can be and is recorded in the image. With sources used for visible light imaging, the different types of lights can impact the color of the

[7] Information about a lens, if the lens manufacturer is different from the manufacturer of the camera, may not be automatically included in the metadata or may be included as incorrect information. This is particularly the case for the Jenoptik CoastalOpt 60 mm lens and information about this lens is not recorded in the image metadata.

(Cosentino, 2014; Cucci *et al.*, 2024; Dyer *et al.*, 2018; Dyer y Sotiropoulou, 2017; Es Sebar *et al.*, 2023; Herrero-Cortell *et al.*, 2020; Radpour *et al.*, 2021; Tamburini *et al.*, 2021), que sigue las recomendaciones generales y las mejores prácticas para la documentación de la conservación (Warda *et al.*, 2017). El objetivo es un componente importante del sistema de imagen y afecta a cómo y qué se registra en una imagen, por lo que también es esencial incluir la información de la lente en los metadatos,[7] informes y publicaciones. Esta información es importante para la reproducibilidad y comparabilidad de las imágenes, además de su uso continuado por parte de conservadores y profesionales del patrimonio en el futuro.

Fuentes de radiación

El capítulo de Pozeilov y Webb, «Introducción a las técnicas de imagen multibanda» (2025, en este mismo volumen, pp. 14-59), presenta los diferentes tipos de fuentes de luz/radiación disponibles y que se utilizan para la imagen multibanda. La revisión de la literatura y la Tabla 3 resultante muestran que se están utilizando todos estos diferentes tipos de fuentes de luz/radiación. Esta tabla incluye la información sobre las fuentes de radiación que los autores proporcionaron en sus publicaciones. La información será inconsistente entre autores y publicaciones y puede que no incluya la información completa sobre la fuente. Hay una variedad de información que se incluye en las publicaciones sobre las fuentes de radiación, desde poca o ninguna información hasta la fabricación, el modelo, las especificaciones y los rangos de longitud de onda.

La salida espectral de las fuentes de radiación es importante para lo que se puede registrar y se registra en la imagen. Con las fuentes utilizadas para la obtención

[7] La información sobre una lente, si el fabricante de la lente es diferente del fabricante de la cámara, puede no incluirse automáticamente en los metadatos o puede incluirse como información incorrecta. Este es particularmente el caso de la lente Jenoptik CoastalOpt de 60 mm, cuya información no se registra en los metadatos de la imagen.

image. White balance and color profiling as part of image post-processing helps to minimize the impact of the differences in the radiation sources. Pozeilov and Webb's chapter explores differences in radiation sources by including measurements of spectral output of the sources alongside images of targets to show how these differences impact the resulting imagery (2025, in this volume, pp. 14-59). The difference in radiation sources for reflectance images is less of a problem. Luminescence techniques are going to be the most sensitive to the differences in the radiation sources and any related filtration on the radiation sources (Chen, 2025, in this volume, pp. 198-239).

A ready example of this challenge is the wide variety of radiation sources used for UVL imaging. There are many different types of UV radiation sources available (gas discharge lamps, metal halide lamps, fluorescent tubes, LEDs, and electronic flashes) (Davies, 2018) which vary in the wavelength output (both the radiation source and any filtration of the source) and intensity (Tragni et al., 2005; Webb, 2019). The difference in wavelengths emitted from the UV radiation sources and their intensity can impact the resulting color and intensity of the luminescence (Tragni et al., 2005). The range of wavelengths emitted by the UV source can include a broad or narrow range of wavelengths and can also include parasitic radiation beyond UV wavelengths (both VIS and IR radiation). In both cases, this can influence the resulting luminescence with the parasitic radiation potentially causing confusion with the simultaneous perception of actual luminescent color of the material and reflected light (Tragni et al., 2005). Verri further described this challenge and the importance of understanding the properties of the radiation source:

de imágenes de luz visible, los diferentes tipos de luces pueden afectar al color de la imagen. El balance de blancos y el perfilado de colores, como parte del posprocesamiento de la imagen, ayudan a minimizar el impacto de las diferencias en las fuentes de radiación. El capítulo de Pozeilov y Webb explora las diferencias en las fuentes de radiación incluyendo mediciones de la salida espectral de las fuentes junto con imágenes de las cartas para mostrar cómo estas diferencias afectan a las imágenes resultantes (2025, en este mismo volumen, pp. 14-59). La diferencia en las fuentes de radiación para las imágenes de reflectancia es menos problemática. Las técnicas de luminiscencia serán las más sensibles a las diferencias en las fuentes de radiación y a cualquier filtración relacionada con las fuentes de radiación (Chen, 2025, en este mismo volumen, pp. 198-239).

Un ejemplo claro de este reto es la gran variedad de fuentes de radiación utilizadas para la obtención de imágenes UVL. Existen muchos tipos diferentes de fuentes de radiación UV (lámparas de descarga de gas, lámparas de halogenuros metálicos, tubos fluorescentes, LED y flashes electrónicos) (Davies, 2018) que varían en la longitud de onda emitida (tanto la fuente de radiación como cualquier filtro de la fuente) y en la intensidad (Tragni *et al.*, 2005; Webb, 2019). La diferencia en las longitudes de onda emitidas por las fuentes de radiación UV y su intensidad puede afectar al color y la intensidad resultantes de la luminiscencia (Tragni *et al.*, 2005). El rango de longitudes de onda emitidas por la fuente UV puede incluir un rango amplio o estrecho de longitudes de onda y también puede incluir radiación parásita más allá de las longitudes de onda UV (tanto radiación VIS como IR). En ambos casos, esto puede influir en la luminiscencia resultante, ya que la radiación parásita puede causar confusión con la percepción simultánea del color luminiscente real del material y la luz reflejada (Tragni *et al.*, 2005). Verri describió con más detalle este reto y la importancia de comprender las propiedades de la fuente de radiación:

> A thorough understanding of the properties of the radiation source is fundamental, as CH materials are normally highly heterogeneous and more than one luminophore might be present. This means that the same object may look different if excited at 303 nm or 365 nm, or with a broader or narrower band of excitation wavelengths, as in the case of a xenon flashtube. In addition, most UV sources also emit in the violet-blue range, which may mask the presence of weak emissions. Therefore, filters must be used to clean the emission, by transmitting UV radiation and blocking the unwanted violet-blue component. (2019, p. 68)

The ability to compare UVL images is a significant issue which directly relates to the wide variety of UV radiation sources available and how the differences in the sources impact the resulting imagery. Tragni et al. (2005, p. 11) highlight the challenges associated with the presentation of UVL information in publications noting that many articles fail to specify the UV source used or the UV wavelengths used to irradiate the sample. Additionally, results are often reported with subjective descriptions of luminescent colors, lacking visual references, and the color descriptions can vary between authors. While this report is nearly 20 years old, there are still issues in how UVL and MBI are reported in publications that challenge how observations can be accurately compared. These challenges extend to other luminescence techniques like VIL and VIVL.

Two takeaways from the review and current state for radiation sources are (1) the importance of understanding the output of radiation sources and the needed filtration and (2) improved documentation about the radiation sources in reports and publications.

> Es fundamental comprender a fondo las propiedades de la fuente de radiación, ya que los materiales del patrimonio cultural suelen ser muy heterogéneos y pueden contener más de un luminóforo. Esto significa que un mismo objeto puede tener un aspecto diferente si se excita a 303 nm o a 365 nm, o con una banda más amplia o más estrecha de longitudes de onda de excitación, como en el caso de un tubo de flash de xenón. Además, la mayoría de las fuentes de UV también emiten en el rango violeta-azul, lo que puede enmascarar la presencia de emisiones débiles. Por lo tanto, se deben utilizar filtros para limpiar la emisión, transmitiendo la radiación UV y bloqueando el componente violeta-azul no deseado. (2019, p. 68)

La posibilidad de comparar imágenes UVL es una cuestión importante que está directamente relacionada con la gran variedad de fuentes de radiación UV disponibles y con la forma en que las diferencias entre las fuentes afectan a las imágenes resultantes. Tragni *et al.* (2005, p. 11) destacan los retos asociados a la presentación de información UVL en publicaciones, señalando que muchos artículos no especifican la fuente UV utilizada ni las longitudes de onda UV utilizadas para irradiar la muestra. Además, los resultados suelen presentarse con descripciones subjetivas de los colores luminiscentes, sin referencias visuales, y las descripciones de los colores pueden variar entre los distintos autores. Aunque este informe tiene casi 20 años, siguen existiendo problemas en la forma en que se presentan la UVL y la MBI en las publicaciones, lo que dificulta la comparación precisa de las observaciones. Estos retos se extienden a otras técnicas de luminiscencia, como la VIL y la VIVL.

Las dos conclusiones de la revisión y del estado actual de las fuentes de radiación son: (1) la importancia de comprender la salida de las fuentes de radiación y la filtración necesaria y (2) la mejora de la documentación sobre las fuentes de radiación en los informes y publicaciones.

Table 4 | Filters and Associated Imaging Technique/Modality.

Technique/ Modality	Filter	Investigated range	Reference
VIS (with full-spectrum modified camera)	BG 38		(Keller et al., 2019)
	CHSOS Robertina v.2 Technical Photography Vis Filter	400-600 nm	(MacDonald-Korth, 2023)
	HOYA UV&IR Cut + 455 nm long-pass filter	400-700 nm	(Es Sebar et al., 2023)
	IDAS-UIBAR interference UV-IR blocking bandpass filter (c. 380–700 nm)	c.380–700 nm	(Bradley et al., 2020; Dyer & Sotiropoulou, 2017) (Dyer et al., 2018; Tamburini et al., 2021)
	MidOpt BP550	405–690 nm	(Rahrig et al., 2023)
	Peca 916	400-700	(Radpour et al., 2021)
	X-Nite CC1		(Beckett & Shugar, 2022; Chen & Smith, 2020) (Cosentino, 2014; Cosentino & Stout, 2014) (Herrero-Cortell et al., 2018, 2020) (MacDonald-Korth, 2023)
UVL	B + W 021		(Kotoula, 2015)
	CHSOS Robertina v.2 Technical Photography Vis Filter	400-600 nm band-pass filter	(MacDonald-Korth, 2023)
	HOYA UV&IR Cut	400-700 nm	(Es Sebar et al., 2023)
	IDAS-UIBAR filter + Kodak 2E pale yellow optical Wratten filter (410 nm longpass)		(Bradley et al., 2020)
	Kodak 2E + Peca 918		(Warda et al., 2017)
	Kodak 2E + Peca 918 + X-Nite CC1		(Beckett & Shugar, 2022; Chen & Smith, 2020)
	Kodak Wratten 2B (light yellow) + 85B (amber)		(Lanteri et al., 2019)
	Schott KV418 cut-on filter (50% transmission at c. 418 nm)	c. 420-700 nm	(Dyer et al., 2022)
	Schott KV418 cut-on filter (50% transmission at c.418 nm) +IDAS-UIBAR bandpass filter (c. 380–700 nm)	c.420–700 nm	(Dyer & Sotiropoulou, 2017; Dyer et al., 2018) (Tamburini et al., 2021)
	UV-/IR-Cut Baader BG38		(Keller et al., 2019)
	X-Nite CC1 + BW 420		(Cosentino, 2014, 2015; Cosentino & Stout, 2014) (Herrero-Cortell et al., 2018)
	X-NiteCC1 filter (IR-cut filter) and an X-NiteVBP filter (400–700 nm bandpass filter)		(MacDonald-Korth, 2023)
RUV	B+W 403 + X-Nite CC1		(Beckett & Shugar, 2022; Chen & Smith, 2020) (Cosentino, 2014, 2015; Cosentino & Stout, 2014) (Herrero-Cortell et al., 2018)
	Baader U	320-380 nm	(Es Sebar et al., 2023)
	CHSOS Robertina v.2 Technical Photography Filters UV filter	300-375 nm band-pass filter	(MacDonald-Korth, 2023)
	Hoya 330 + Schott BG38		(Kotoula, 2015)
	MidOpt BP365 + MidOpt SP730	320–410 nm	(Rahrig et al., 2023)
	Schott DUG11 interference bandpass filter (280–400nm)	c.350–400 nm	(Dyer et al., 2018; Tamburini et al., 2021)
	Schott DUG11X interference bandpass filter (280–400nm)		(Dyer & Newman, 2020)
	UG 1 + BG 38		(Keller et al., 2019)
	X-Nite BP1 filter (320-670 nm) + X-Nite 330 filter (270-375 nm)		(Bradley et al., 2020)
IR	CHSOS Robertina v.2 Technical Photography Filters IR filter	a long-pass filter beginning transmission at 950 nm	(MacDonald-Korth, 2023)
	Heliopan 1000		(Cosentino, 2016a)
	Heliopan RG1000		(Cosentino & Stout, 2014; Herrero-Cortell et al., 2018)
	Heliopan RG1000b		(Cosentino, 2014; Herrero-Cortell et al., 2020)
	Hoya IRI72		(Aguilar-Téllez et al., 2014)
	Hoya RM100 Infrared Filter		(Herrero-Cortell et al., 2018)
	Kodak Wratten No. 87 filter (50% transmittance at c. 800 nm)	c. 750-1100 nm	(Dyer et al., 2022)
	MidOpt LP850	850–1100 nm	(Rahrig et al., 2023)
	MidOpt LP1000	990–1100 nm	(Rahrig et al., 2023)
	Schott RG830 cut-on filter (50% transmittance at c.830 nm)	c.800–1100 nm	(Dyer & Newman, 2020; Dyer et al., 2018) (Keller et al., 2019; Tamburini et al., 2021)
	X-Nite 715		(Beckett & Shugar, 2022)
	X-Nite 830		(Bradley et al., 2020)
	X-Nite 850		(Beckett & Shugar, 2022)
	X-Nite 1000		(Beckett & Shugar, 2022; Chen & Smith, 2020)

(Table 4 continued in next page)

(Table 4 continued from previous page)

Technique/ Modality	Filter	Investigated range	Reference
VIL	Heliopan RG1000		(Cosentino, 2016a, 2016b; Herrero-Cortell et al., 2018; Keller et al., 2019)
	Kodak Wratten 87C	790–940 nm	(Wiseman et al., 2023)
	Peca 908		(Kakoulli et al., 2017)
	Peca 910		(Radpour et al., 2021)
	Schott RG830 cut-on filter (50% transmittance at c. 830 nm)	800-1100 nm	(Dyer & Newman, 2020; Dyer & Sotiropoulou, 2017; Keller et al., 2019)
	X-Nite 715		(Beckett & Shugar, 2022; Chen & Smith, 2020)
	X-Nite 830		(Bradley et al., 2020)
	X-Nite 850		(Beckett & Shugar, 2022)
	X-Nite 1000		(Beckett & Shugar, 2022)
	blue-induced infrared luminescence images (BIL): B+W 092 IR 695 or Kodak Wratten IR filter 87C green-induced infrared images (GIL): B+W 092 IR 695 or Kodak Wratten IR filter 87C red-induced infrared images (RIL): Kodak Wratten IR filter 87C visible-induced infrared luminescence images (VIL): HOYA 1000		(Daveri et al., 2016)
VIVL	IDAS-UIBAR bandpass filter (400–700 nm) and either a Lee No. 21 (50% transmission at 560 nm) or a Lee No. 16 (50% transmission at c. 540 nm) polyester filter	c. 520–700 nm for the IDAS-UIBAR and Lee No. 21 filter combination and c. 475–700 nm for the IDAS-UIBAR and Lee No. 16 filter combination	(Dyer & Sotiropoulou, 2017)
	IDAS-UIBAR bandpass filter (400–700 nm) + Tiffen Orange 21 filter (50% transmission at 550 nm)	c.540–700 nm	(Dyer et al., 2018; Dyer & Newman, 2020; Tamburini et al., 2021)
	Peca 916		(Radpour et al., 2021)
	Peca 916 + Red 25 Tiffen filter (max transmission over 85% above 590 nm)	~580 and 700 nm	(Kakoulli et al., 2017)
	Tiffen 23A red filter (50% transmittance ~580 nm)		(Mayberger et al., 2020)
	blue-induced Visible luminescence images (BIVL): B+W 090 and B+W 486 green-induced Visible luminescence images (GIVL): B+W 040 and B+W 486 red-induced infrared luminescence images (RIVL): B+W 092 IR 695 filter		(Daveri et al., 2016)
MBR	Cultural Heritage Science Open Source (CHSOS) Antonello set		(MacDonald-Korth, 2023)
	MidOpt BP 660 dark red bandpass filter (c. 640-680nm) then MidOpt BP735 infrared bandpass filter (715-780nm)	c.640-680 nm c.715-780 nm	(Bradley et al., 2020; Dyer et al., 2018) (Dyer & Newman, 2020; Kriss et al., 2023)

Filters

Filters directly relate to the radiation sources and can either be used for the radiation sources or on the camera. Table 4 shows the incredible range of filters being used for the different imaging techniques. This table includes the information about filters that authors provided in their publication.

Filtros

Los filtros están directamente relacionados con las fuentes de radiación y pueden utilizarse tanto para las fuentes de radiación como en la cámara. La Tabla 4 muestra la increíble variedad de filtros que se utilizan para las diferentes técnicas de imagen. Esta tabla incluye la información sobre los filtros que los autores proporcionaron

Tabla 4 | Filtros y técnica/modalidad de imagen asociada.

Técnica/ Modalidad	Filtro	Rango investigado	Referencia
VIS (con cámara modificada de espectro completo)	BG 38		(Keller *et al.*, 2019)
	CHSOS Robertina v.2 Filtro Vis para fotografía técnica	400-600 nm	(MacDonald-Korth, 2023)
	HOYA UV&IR Cut + filtro de paso largo de 455 nm	400-700 nm	(Es Sebar *et al.*, 2023)
	Filtro de paso de banda con bloqueo UV-IR por interferencia IDAS-UIBAR (aprox. 380-700 nm)	c.380–700 nm	(Bradley *et al.*, 2020; Dyer & Sotiropoulou, 2017; Dyer *et al.*, 2018; Tamburini *et al.*, 2021)
	MidOpt BP550	405-690 nm	(Rahrig *et al.*, 2023)
	Peca 916	400-700	(Radpour *et al.*, 2021)
	X-Nite CC1		(Beckett & Shugar, 2022; Chen & Smith, 2020; Cosentino, 2014; Cosentino & Stout, 2014; Herrero-Cortell *et al.*, 2018, 2020; MacDonald-Korth, 2023)
UVL	B + W 021		(Kotoula, 2015)
	CHSOS Robertina v.2 Filtro técnico para fotografía Vis	Filtro de paso de banda de 400-600 nm	(MacDonald-Korth, 2023)
	HOYA UV&IR Cut	400-700 nm	(Es Sebar *et al.*, 2023)
	Filtro IDAS-UIBAR + filtro óptico Wratten amarillo pálido Kodak 2E (paso largo de 410 nm)		(Bradley *et al.*, 2020)
	Kodak 2E + Peca 918		(Warda *et al.*, 2017)
	Kodak 2E + Peca 918 + X-Nite CC1		(Beckett & Shugar, 2022; Chen & Smith, 2020)
	Kodak Wratten 2B (amarillo claro) + 85B (ámbar)		(Lanteri *et al.*, 2019)
	Filtro de corte Schott KV418 (50 % de transmisión a aproximadamente 418 nm)	aprox. 420-700 nm	(Dyer *et al.*, 2022)
	Filtro de corte Schott KV418 (50 % de transmisión a aproximadamente 418 nm) + filtro de paso de banda IDAS-UIBAR (aproximadamente 380-700 nm)	aprox. 420-700 nm	(Dyer & Sotiropoulou, 2017; Dyer *et al.*, 2018) (Tamburini *et al.*, 2021)
	Corte UV/IR Baader BG38		(Keller *et al.*, 2019)
	X-Nite CC1 + BW 420		(Cosentino, 2014, 2015; Cosentino & Stout, 2014; Herrero-Cortell *et al.*, 2018)
	Filtro X-NiteCC1 (filtro de corte IR) y filtro X-NiteVBP (filtro de paso de banda de 400-700 nm)		(MacDonald-Korth, 2023)
RUV	B+W 403 + X-Nite CC1		(Beckett & Shugar, 2022; Chen & Smith, 2020) (Cosentino, 2014, 2015; Cosentino & Stout, 2014; Herrero-Cortell *et al.*, 2018)
	Baader U	320-380 nm	(Es Sebar *et al.*, 2023)
	CHSOS Robertina v.2 Filtros técnicos para fotografía Filtro UV	Filtro de paso de banda de 300-375 nm	(MacDonald-Korth, 2023)
	Hoya 330 + Schott BG38		(Kotoula, 2015)
	MidOpt BP365 + MidOpt SP730	320-410 nm	(Rahrig *et al.*, 2023)
	Filtro de paso de banda de interferencia Schott DUG11 (280-400 nm)	c.350–400 nm	(Dyer *et al.*, 2018; Tamburini *et al.*, 2021)
	Filtro pasabanda de interferencia Schott DUG11X (280-400 nm)		(Dyer & Newman, 2020)
	UG 1 + BG 38		(Keller *et al.*, 2019)
	Filtro X-Nite BP1 (320-670 nm) + filtro X-Nite 330 (270-375 nm)		(Bradley *et al.*, 2020)
IR	CHSOS Robertina v.2 Filtros técnicos para fotografía Filtro IR	Filtro de paso largo con transmisión a partir de 950 nm	(MacDonald-Korth, 2023)
	Heliopan 1000		(Cosentino, 2016a)
	Heliopan RG1000		(Cosentino & Stout, 2014; Herrero-Cortell *et al.*, 2018)
	Heliopan RG1000b		(Cosentino, 2014; Herrero-Cortell *et al.*, 2020)
	Hoya IR172		(Aguilar-Téllez *et al.*, 2014)
	Filtro infrarrojo Hoya RM100		(Herrero-Cortell *et al.*, 2018)
	Filtro Kodak Wratten n.º 87 (50 % de transmitancia a aproximadamente 800 nm)	aprox. 750-1100 nm	(Dyer *et al.*, 2022)
	MidOpt LP850	850-1100 nm	(Rahrig *et al.*, 2023)
	MidOpt LP1000	990-1100 nm	(Rahrig *et al.*, 2023)

(Tabla 4 continúa en la página siguiente)

(Tabla 4 continúa de la página anterior)

Técnica/ Modalidad	Filtro	Rango investigado	Referencia
IR	Filtro de corte Schott RG830 (50 % de transmitancia a aproximadamente 830 nm)	aprox. 800-1100 nm	(Dyer & Newman, 2020; Dyer *et al.*, 2018) (Keller *et al.*, 2019; Tamburini *et al.*, 2021)
	X-Nite 715		(Beckett & Shugar, 2022)
	X-Nite 830		(Bradley *et al.*, 2020)
	X-Nite 850		(Beckett & Shugar, 2022)
	X-Nite 1000		(Beckett & Shugar, 2022) (Chen & Smith, 2020)
VIL	Heliopan RG1000		(Cosentino, 2016a, 2016b; Herrero-Cortell *et al.*, 2018; Keller *et al.*, 2019)
	Kodak Wratten 87C	790-940 nm	(Wiseman *et al.*, 2023)
	Peca 908		(Kakoulli *et al.*, 2017)
	Peca 910		(Radpour *et al.*, 2021)
	Filtro de corte Schott RG830 (50 % de transmitancia a aproximadamente 830 nm)	800-1100 nm	(Dyer & Newman, 2020; Dyer & Sotiropoulou, 2017; Keller *et al.*, 2019)
	X-Nite 715		(Beckett & Shugar, 2022; Chen & Smith, 2020)
	X-Nite 830		(Bradley *et al.*, 2020)
	X-Nite 850		(Beckett & Shugar, 2022)
	X-Nite 1000		(*Beckett & Shugar, 2022*)
	Imágenes de luminiscencia infrarroja inducida por azul (BIL): B+W 092 IR 695 o filtro infrarrojo Kodak Wratten 87C Imágenes infrarrojas inducidas por el verde (GIL): B+W 092 IR 695 o filtro infrarrojo Kodak Wratten 87C Imágenes infrarrojas inducidas por el rojo (RIL): filtro infrarrojo Kodak Wratten 87C Imágenes de luminiscencia infrarroja inducida por el visible (VIL): HOYA 1000		(Daveri *et al.*, 2016)
VIVL	Filtro de paso de banda IDAS-UIBAR (400-700 nm) y un filtro de poliéster Lee n.º 21 (50 % de transmisión a 560 nm) o Lee n.º 16 (50 % de transmisión a aproximadamente 540 nm)	aprox. 520-700 nm para la combinación de filtros IDAS-UIBAR y Lee n.º 21 y aprox. 475-700 nm para la combinación de filtros IDAS-UIBAR y Lee n.º 16	(Dyer & Sotiropoulou, 2017)
	Filtro de paso de banda IDAS-UIBAR (400-700 nm) + filtro Tiffen Orange 21 (50 % de transmisión a 550 nm)	c.540-700 nm	(Dyer *et al.*, 2018; Dyer & Newman, 2020) (Tamburini *et al.*, 2021)
	Peca 916		(Radpour *et al.*, 2021)
	Peca 916 + filtro Tiffen rojo 25 (transmisión máxima superior al 85 % por encima de 590 nm)	~580 y 700 nm	(Kakoulli *et al.*, 2017)
	Filtro rojo Tiffen 23A (transmitancia del 50 % ~580 nm)		(Mayberger *et al.*, 2020)
	Imágenes de luminiscencia visible inducida por azul (BIVL): B+W 090 y B+W 486 Imágenes de luminiscencia visible inducida por el verde (GIVL): B+W 040 y B+W 486 Imágenes de luminiscencia infrarroja inducida por el rojo (RIVL): filtro B+W 092 IR 695		(Daveri *et al.*, 2016)
MBR	Cultural Heritage Science Open Source (CHSOS) Conjunto Antonello		(MacDonald-Korth, 2023)
	Filtro de paso de banda rojo oscuro MidOpt BP 660 (aprox. 640-680 nm) y filtro de paso de banda infrarrojo MidOpt BP735 (715-780 nm)	aprox. 640-680 nm c.715-780 nm	(Bradley *et al.*, 2020) (Dyer *et al.*, 2018) (Dyer & Newman, 2020) (Kriss *et al.*, 2023)

Similar to Table 3, the information may be inconsistent between authors and publications and may not include the complete information about the filter(s). The organization of this information is challenging due to the inconsistencies of the information included and when more than one filter is used, these may be listed in different orders.

As Chen (2025, in this volume, pp. 198-239) has observed, there is an absence of a strict standardization that delineates the filters that are required for each technique. While some of these filters may be considered 'equivalents,' it should be noted that 'equivalents' are not the same filters and will provide different outcomes in the final images. Both Chen and Pozeilov and Webb provide some visual examples of how different filters can impact the imaging results (in production; in production). Thiboutot (2020) noted challenges with the comparison of VIL images for study of Egyptian blue as part of the APPEAR project because of the variation in equipment (with the author listing five different filters used for VIL), capture conditions, and post-processing.

Similar to the considerations regarding the radiation sources, it is important to both know and report the transmission properties of the filters and the wavelength range they cover. This information is crucial not only for understanding and interpreting resulting imagery but also for increasing the comparability and reproducibility of multiband imaging workflows.

Targets

As outlined by Keller et al. (2019), targets can be used for (1) verifying and optimizing the performance of the imaging system components (camera, radiation sources, filters); (2) calibration of the

en su publicación. Al igual que en la Tabla 3, la información puede ser inconsistente entre autores y publicaciones y puede no incluir la información completa sobre los filtros. La organización de esta información es difícil debido a las inconsistencias de la información incluida y, cuando se utiliza más de un filtro, estos pueden aparecer en diferentes órdenes.

Como ha observado Chen (2025, en este mismo volumen, pp. 198-239), no existe una estandarización estricta que delimite los filtros necesarios para cada técnica. Si bien algunos de estos filtros pueden considerarse «equivalentes», cabe señalar que los «equivalentes» no son los mismos filtros y proporcionarán resultados diferentes en las imágenes finales. Tanto Chen como Pozeilov y Webb proporcionan algunos ejemplos visuales de cómo los diferentes filtros pueden afectar a los resultados de las imágenes (en producción; en producción). Thiboutot(2020) señaló las dificultades que plantea la comparación de imágenes VIL para el estudio del azul egipcio como parte del proyecto APPEAR, debido a la variación en los equipos (el autor enumera cinco filtros diferentes utilizados para VIL), las condiciones de captura y el posprocesamiento.

Al igual que en el caso de las fuentes de radiación, es importante conocer e informar sobre las propiedades de transmisión de los filtros y el rango de longitudes de onda que cubren. Esta información es crucial no solo para comprender e interpretar las imágenes resultantes, sino también para aumentar la comparabilidad y la reproducibilidad de los flujos de trabajo de imágenes multibanda.

Cartas y tarjetas de calibración

Tal y como describen Keller *et al.* (2019), las cartas y tarjetas pueden utilizarse para (1) verificar y optimizar el rendimiento de los componentes del sistema de imagen (cámara, fuentes de radiación, filtros); (2) calibrar las imágenes (para mejorar la reproducibilidad); y (3)

images (to improve reproducibility); and (3) comparison with reference materials that relate to the object being imaged. Targets (e.g., greyscale, color targets, measurement scales) can act as technical metadata and provide a visual reference for the viewer (Warda et al., 2017, p. 42). Standardized greyscale targets and diffuse reflectance standards are used for reflectance techniques to check exposure and white balance, while standardized color targets can be used to create camera profiles and increase color accuracy (Warda et al., 2017, p. 43). Targets are really important for reproducibility and comparability. As noted by Keller et al., "The use of targets in each image ensures that all conditions of capture, such as lighting and light emission, exposure and filter-transmission are comparable" (2019, p. 217).

There are a variety of commercially available targets that are being used that include the AIC Photodocumentation Target (AIC PhD Target), X-Rite ColorChecker, UVInnovations Target-UV, spectral diffuse reflectance standards, and the CHSOS TP-MSI calibration card (Table 5). Commercial targets do not always cover all the techniques or correspond to the materials in cultural heritage objects, so custom targets are created and used. Custom-built test targets can be made with materials that are more representative of an object and even the layering of materials which provides a reference for the object being imaged and the target can be used to provide a better understanding of the advantages and limitations of an imaging system (Cucci et al., 2019). This includes pigment references and targets (both commercial and custom) with CHSOS providing two options for commercially available pigment targets (standard pigments; modern and contemporary pigments) while others have created their own pigment references (Herrero-Cortell et al., 2020; Keller et al., 2019; Kriss et al., 2023; Verri, 2019; Verri &

comparar con materiales de referencia relacionados con el objeto que se está captando. Las cartas (por ejemplo, escala de grises, tarjetas de color, escalas de medición) pueden actuar como metadatos técnicos y proporcionar una referencia visual para el espectador (Warda *et al.*, 2017, p. 42). Las cartas estandarizadas en escala de grises y los estándares de reflectancia difusa se utilizan para las técnicas de reflectancia con el fin de comprobar la exposición y el balance de blancos, mientras que las tarjetas de color estandarizadas pueden utilizarse para crear perfiles de cámara y aumentar la precisión del color (Warda *et al.*, 2017, p. 43). Las tarjetas o cartas son muy importantes para la reproducibilidad y la comparabilidad. Como señalan Keller *et al.*, «el uso de estas en cada imagen garantiza que todas las condiciones de captura, como la iluminación y la emisión de luz, la exposición y la transmisión del filtro, sean comparables» (2019, p. 217).

Existe una gran variedad de cartas disponibles en el mercado que se están utilizando, entre los que se incluyen la de fotodocumentación AIC (AIC PhD), X-Rite ColorChecker, UVInnovations Target-UV, estándares de reflectancia difusa espectral y la tarjeta de calibración CHSOS TP-MSI (Tabla 5). Las cartas comerciales no siempre cubren todas las técnicas ni se corresponden con los materiales del patrimonio cultural, por lo que se crean y utilizan cartas o tarjetas personalizadas. Estas referencias personalizadas pueden fabricarse con materiales más representativos de un objeto e incluso con capas de materiales que proporcionan una referencia para el objeto que se va a fotografiar, y la tarjeta puede utilizarse para comprender mejor las ventajas y limitaciones de un sistema de imagen (Cucci *et al.*, 2019). Esto incluye referencias y muestras de pigmentos (tanto comerciales como personalizados), y CHSOS ofrece dos opciones de referencias de pigmentos disponibles en el mercado (pigmentos estándar; pigmentos modernos y contemporáneos), mientras que otros han creado sus propias referencias de pigmentos (Herrero-Cortell *et al.*, 2020; Keller *et al.*, 2019; Kriss *et al.*, 2023; Verri, 2019; Verri y Saunders, 2014). La Tabla 5 ofrece ejemplos de

Table 5 | Commercial and Custom Targets Being Used for Multiband Imaging.

Commercial Targets	AIC PhD Target	(Chen & Smith, 2020) (Cosentino, 2013, 2014, 2015, 2016a) (Herrero-Cortell et al., 2018, 2020) (Pottier et al., 2019) (Warda et al., 2017)
	ColorChecker (X-Rite)	(Aguilar-Téllez et al., 2014) (Bläuer & Keller, 2020) (Bradley et al., 2020) (Chen & Smith, 2020) (Cosentino, 2014, 2015, 2016a) (Dyer et al., 2013) (Es Sebar et al., 2023) (Radpour et al., 2021) (Titubante et al., 2022) (Warda et al., 2017)
	Diffuse Reflectance Standards	PTFE diffuse reflectance standards (Keller et al., 2019) Spectralon 99% diffuse reflectance standard (Labsphere) (Bradley et al., 2020; Dyer et al., 2013; Kriss et al., 2023; Radpour et al., 2021; Titubante et al., 2022) Set of Spectralon diffuse reflectance standards (white, grey, and black) (Labsphere) (Bläuer & Keller, 2020; Daveri et al., 2016; Dyer et al., 2013, 2018; Verri, 2019)
	Pigment Checker and TP-MSI Calibration Card (CHSOS)a	(Cosentino, 2014, 2015)
	Target-UV (UV Innovations)	(Chen & Smith, 2020) (Cimino et al., 2023)
	Miscellaneous targets (not as widely used as the above)	Spydercube Black level control and chrome ball for light source position controlling (Bläuer & Keller, 2020) 100% absorption with light trap, polished chromed metal sphere, white luminous pigment coating (Keller et al., 2019) Lastolite EzyBalance 18% grey for white balance (Rahrig et al., 2023) GoldenThread DICE Device Level Target (DLT) and Object Level Target (Image Science Associates) (Cimino et al., 2023; Wiseman et al., 2023) ColorGauge target (Image Science Associates) (Verri, 2019) X-Rite ColorChecker Digital SG (Wiseman et al., 2023)
Custom targets and references	References for UVL: "3 emitters activated by the LED UV and UV254 lamps: a section of a card for forensic UV photography (orange fluorescence), a swatch of zinc white (yellow fluorescence), and a fluorescent paint (green fluorescence)" (Cosentino, 2014). Also referenced in Herrero-Cortell et al. (2018) and (2015).	
	Reference for MBR and Romano-Egyptian funerary portraits: reference paint-out boards that included five different binding material and pigments (Egyptian blue, orpiment, madder, red ochre, gypsum, lead white, and vine black) (Bradley et al., 2020).	
	Reference for MBR: same paint-out boards as Bradley et al. (2020) in addition to panels with expanded range of pigments bound in animal glue and coated with resins and linseed oil (Kriss et al., 2023). Additional pigments included smalt, cerulean blue, Egyptian blue, ultramarine blue, cobalt blue, and indigo.	
	Test panels for UVL (McGlinchey Sexton, 2018)	
	Target for UVL (Pozeilov, 2023)	
	Target for VIL and UVIL: one-off produced pigment targets with Egyptian blue (VIL, UVIL), cadmium red (VIL, UVIL), cadmium yellow (VIL, UVIL), titanium dioxide (UVIL) (Keller et al., 2019)	
	Reference for VIL: red cadmium (Cosentino, 2014; Warda et al., 2017)	

[a] The TP-MSI Calibration Card is currently sold with the Pigment Checker from CHSOS, but the calibration card can be used separately from the Pigment Checker. The Pigment Checker was developed before the calibration card and has evolved over several version (currently on version 5 for the Pigment Checker Standard). In addition to the Standard version, there is also a Pigment Checker that includes modern and contemporary pigments. While not included in the reference list in this table, the TP-MSI Calibration Card is used in case studies in this volume.

Tabla 5 | Tarjetas y cartas comerciales y personalizados que se utilizan para la obtención de imágenes multibanda.

Tarjetas y cartas comerciales	AIC PhD Target	(Chen & Smith, 2020) (Cosentino, 2013, 2014, 2015, 2016a) (Herrero-Cortell *et al.*, 2018, 2020) (Pottier *et al.*, 2019) (Warda *et al.*, 2017)
	ColorChecker (X-Rite)	(Aguilar-Téllez *et al.*, 2014) (Bläuer & Keller, 2020) (Bradley *et al.*, 2020) (Chen & Smith, 2020) (Cosentino, 2014, 2015, 2016a) (Dyer *et al.*, 2013) (Es Sebar *et al.*, 2023) (Radpour *et al.*, 2021) (Titubante *et al.*, 2022) (Warda *et al.*, 2017)
	Estándares de reflectancia difusa	Estándares de reflectancia difusa de PTFE (Keller *et al.*, 2019) Estándar de reflectancia difusa Spectralon 99 % (Labsphere) (Bradley *et al.*, 2020; Dyer *et al.*, 2013; Kriss *et al.*, 2023; Radpour *et al.*, 2021; Titubante *et al.*, 2022) Conjunto de estándares de reflectancia difusa Spectralon (blanco, gris y negro) (Labsphere) (Bläuer & Keller, 2020; Daveri *et al.*, 2016; Dyer et al., 2013, 2018; Verri, 2019)
	Comprobador de pigmentos y tarjeta de calibración TP-MSI (CHSOS)[a]	(Cosentino, 2014, 2015)
	Target-UV (UV Innovations)	(Chen & Smith, 2020) (Cimino *et al.*, 2023)
	Cartas de calibración (no tan utilizados como los anteriores)	Spydercube Control del nivel de negro y bola cromada para controlar la posición de la fuente de luz (Bläuer & Keller, 2020) 100 % de absorción con trampa de luz, esfera metálica cromada pulida, recubrimiento de pigmento luminoso blanco (Keller *et al.*, 2019) Lastolite EzyBalance 18 % gris para el balance de blancos (Rahrig *et al.*, 2023) GoldenThread DICE Device Level Target (DLT) y Object Level Target (Image Science Associates) (Cimino *et al.*, 2023; Wiseman *et al.*, 2023) ColorGauge target (Image Science Associates) (Verri, 2019) X-Rite ColorChecker Digital SG (Wiseman *et al.*, 2023)
Cartas de calibración y referencias personalizados	Referencias para UVL: «3 emisores activados por las lámparas LED UV y UV254: una sección de una tarjeta para fotografía forense UV (luminiscencia naranja), una muestra de blanco de zinc (luminiscencia amarilla) y una pintura fluorescente (luminiscencia verde)» (Cosentino, 2014). También se hace referencia a ello en Herrero-Cortell *et al.*, 2018 y 2015.	
	Referencia para MBR y retratos funerarios romano-egipcios: tableros de pintura de referencia que incluían cinco materiales aglutinantes y pigmentos diferentes (azul egipcio, oropimente, rubia, ocre rojo, yeso, blanco de plomo y negro de vid) (Bradley *et al.*, 2020).	
	Referencia para MBR: mismas tablas de pintura que Bradley *et al.* (2020) además de paneles con una gama ampliada de pigmentos ligados con cola animal y recubiertos con resinas y aceite de linaza (Kriss *et al.*, 2023). Los pigmentos adicionales incluían esmalte, azul cerúleo, azul egipcio, azul ultramar, azul cobalto e índigo.	
	Paneles de prueba para UVL (McGlinchey Sexton, 2018)	
	Carta para UVL (Pozeilov, 2023)	
	Carta para VIL y UVIL: tarjetas de pigmentos producidos de forma única con azul egipcio (VIL, UVIL), rojo cadmio (VIL, UVIL), amarillo cadmio (VIL, UVIL), dióxido de titanio (UVIL) (Keller *et al.*, 2019)	
	Referencia para VIL: cadmio rojo (Cosentino, 2014; Warda *et al.*, 2017)	

[a] La tarjeta de calibración TP-MSI se vende actualmente con el Pigment Checker de CHSOS, pero la tarjeta de calibración se puede utilizar independientemente del Pigment Checker. El Pigment Checker se desarrolló antes que la tarjeta de calibración y ha evolucionado a lo largo de varias versiones (actualmente se encuentra en la versión 5 para el Pigment Checker Standard). Además de la versión estándar, también existe un Pigment Checker que incluye pigmentos modernos y contemporáneos. Aunque no se incluye en la lista de referencias de esta tabla, la tarjeta de calibración TP-MSI se utiliza en los estudios de casos de este volumen.

Saunders, 2014). Table 5 provides examples of targets being used, both commercial and custom. Even though targets are recommended for multiband imaging (Dyer et al., 2013; Warda et al., 2017), there are still instances where they are not being used which prevents calibration and limits the use of the images (Keller et al., 2019, p. 212).

Processing

Published studies on MBI often include inconsistent levels of detail regarding the processing workflows. While some authors offer thorough descriptions of software and processing steps involved, others omit this information entirely. Processing information is important to understanding the information in the image and informing interpretation. There is no standardized approach to processing or to documenting the processing steps which makes it hard to reproduce, compare, and interpret images. Dyer et al. (2013) and Warda et al. (2017) provide more comprehensive overviews for the "pre-processing" steps in addition to false color processing for FCIR and FCUV.

Image processing of multiband images can include correction processes like color profiling, white balance, desaturation or conversion to greyscale images. Color profiling ensures consistency when using different cameras, while white balancing adjusts when using of different lighting or radiation sources (Cosentino, 2014). Dyer et al. (2013) includes additional correction processes in their processing protocols integrated into their nip2 workspaces in the free imaging processing system VIPS: flat fielding (correction for non-uniform illumination), color calibration (correction for camera response), ambient stray light correction, and pigment-binder interaction correction. Image "pre-processing" steps are being performed

referencias utilizadas, tanto comerciales como personalizados. Aunque se recomiendan tarjetas específicas para la obtención de imágenes multibanda (Dyer *et al.*, 2013; Warda *et al.*, 2017), todavía hay casos en los que no se utilizan, lo que impide la calibración y limita el uso de las imágenes (Keller *et al.*, 2019, p. 212).

Procesamiento

Los estudios publicados sobre MBI suelen incluir niveles inconsistentes de detalle en cuanto a los flujos de trabajo de procesamiento. Mientras que algunos autores ofrecen descripciones exhaustivas del software y los pasos de procesamiento involucrados, otros omiten por completo esta información. La información sobre el procesamiento es importante para comprender la información de la imagen y fundamentar la interpretación. No existe un enfoque estandarizado para el procesamiento o la documentación de los pasos de procesamiento, lo que dificulta la reproducción, comparación e interpretación de las imágenes. Dyer *et al.* (2013) y Warda *et al.* (2017) ofrecen una visión general más completa de los pasos de «preprocesamiento», además del procesamiento de colores falsos para FCIR y FCUV.

El procesamiento de imágenes multibanda puede incluir procesos de corrección como el perfilado de color, el balance de blancos, la desaturación o la conversión a imágenes en escala de grises. El perfilado de color garantiza la coherencia cuando se utilizan diferentes cámaras, mientras que el balance de blancos se ajusta cuando se utilizan diferentes fuentes de iluminación o radiación (Cosentino, 2014). Dyer *et al.* (2013) incluyen procesos de corrección adicionales en sus protocolos de procesamiento integrados en sus espacios de trabajo nip2 en el sistema gratuito de procesamiento de imágenes VIPS: campo plano (corrección de la iluminación no uniforme), calibración del color (corrección de la respuesta de la cámara), corrección de la luz difusa ambiental y corrección

using Adobe Photoshop and Camera RAW (Warda et al., 2017), nip2 and VIPS using the CHARISMA workspaces (Dyer et al., 2013), and RawTherapee (Rahrig et al., 2023). Additional free and open-source software include ImageJ and GIMP (Kriss et al., 2023).

Going beyond these "pre-processing" steps, image processing and data analysis can include channel substitution for false color processing, image subtraction for MBR or statistical analysis like Principal Component Analysis (PCA). Software packages that are being used for this image processing and analysis include Photoshop (Cosentino & Stout, 2014), ImageJ (Mathys et al., 2019; Pottier et al., 2019) and HyerCube (Cosentino, 2016b; Rahrig et al., 2023).

Areas of Research and Development

The review of the literature has resulted in some categories of the main areas of research: (1) reproducibility and comparability; (2) testing and development of aspects of the imaging systems used; (3) image processing and analysis; and (4) integration with multi-light techniques and photogrammetry. The following will cover each of these areas touching on the related research. Examining these areas of research and development provides insight into the current state of MBI and helps identify potential future directions.

Reproducibility and Comparability

The flexibility that makes MBI techniques more widely available and lower barrier can also lead to more variety in the imaging results which impacts quality and interpretation directly relating

de la interacción entre el pigmento y el aglutinante. Los pasos de «preprocesamiento» de imágenes se realizan utilizando Adobe Photoshop y Camera RAW (Warda *et al.*, 2017), nip2 y VIPS utilizando los espacios de trabajo CHARISMA (Dyer *et al.*, 2013), y RawTherapee (Rahrig *et al.*, 2023). Otros programas gratuitos y de código abierto son ImageJ y GIMP (Kriss *et al.*, 2023).

Más allá de estos pasos de «preprocesamiento», el procesamiento de imágenes y el análisis de datos pueden incluir la sustitución de canales para el procesamiento de colores falsos, la sustracción de imágenes para MBR o análisis estadísticos como el análisis de componentes principales (PCA). Entre los paquetes de software que se utilizan para este procesamiento y análisis de imágenes se incluyen Photoshop (Cosentino y Stout, 2014), ImageJ (Mathys *et al.*, 2019; Pottier *et al.*, 2019) y HyerCube (Cosentino, 2016b; Rahrig *et al.*, 2023).

Áreas de investigación y desarrollo

La revisión de la bibliografía ha dado como resultado algunas categorías de las principales áreas de investigación: (1) reproducibilidad y comparabilidad; (2) ensayo y desarrollo de aspectos de los sistemas de imagen utilizados; (3) procesamiento y análisis de imágenes; y (4) integración con técnicas multilumínicas y fotogrametría. A continuación se tratará cada una de estas áreas, abordando las investigaciones relacionadas. El examen de estas áreas de investigación y desarrollo proporciona una visión del estado actual de la MBI y ayuda a identificar posibles orientaciones futuras.

Reproducibilidad y comparabilidad

La flexibilidad que hace que las técnicas de MBI sean más accesibles y tengan menos barreras también puede dar lugar a una mayor variedad en los resultados de las imágenes, lo que repercute en la calidad y la

to reproducibility and comparability. The previous section and tables provide evidence of both the flexibility of multiband imaging but also the challenges with reproducibility and comparability of the techniques and resulting images. Multiband images are used to record the condition, inform the care and treatment, and increase the understanding of materials and manufacture of an object; therefore, these images are important records of an object in time that are included in conservation reports and archived in institutional repositories with object records. Ensuring that these images are both internally reproducible and externally comparable is crucial for applications such as for before-and-after treatment documentation or monitoring change over time and for effectively sharing with other institutions and researchers.

Chen and Smith (2020) emphasized the importance of a standardized workflow for reliable and repeatable imaging touching on the importance of being able to compare images taken in different imaging environments. An aspect of their standardized image capture and processing is to "maintain a high level of consistency and efficiency, to minimize the handling of the object, and most importantly to eliminate unnecessary light exposure" (Chen & Smith, 2020, p. 272).

An important study that informs the understanding of the current state of MBI for conservation and the documentation of cultural heritage is the research by Jones et al. (2020) to determine best practices in multispectral imaging (MSI) analysis of historical artefacts.[8] While Jones et al.'s investigation focuses on MSI, which is beyond the scope of this volume, there are a lot of parallels between the development and challenges of MBI and MSI.

[8] See terminology chapter (Keats et al., 2025, in this volume, pp. 138-197) for defining and differentiating multispectral and multiband imaging.

interpretación directamente relacionadas con la reproducibilidad y la comparabilidad. La sección anterior y las tablas proporcionan pruebas tanto de la flexibilidad de las imágenes multibanda como de los retos que plantean la reproducibilidad y la comparabilidad de las técnicas y las imágenes resultantes. Las imágenes multibanda se utilizan para registrar el estado, informar sobre los cuidados y el tratamiento, y aumentar la comprensión de los materiales y la fabricación de un objeto; por lo tanto, estas imágenes son registros importantes de un objeto en el tiempo que se incluyen en los informes de conservación y se archivan en repositorios institucionales con registros de objetos. Garantizar que estas imágenes sean reproducibles internamente y comparables externamente es fundamental para aplicaciones como la documentación del antes y el después del tratamiento o el seguimiento de los cambios a lo largo del tiempo, así como para compartirlas de forma eficaz con otras instituciones e investigadores.

Chen y Smith (2020) destacaron la importancia de un flujo de trabajo estandarizado para obtener imágenes fiables y repetibles, y mencionaron la importancia de poder comparar imágenes tomadas en diferentes entornos de imagen. Un aspecto de su captura y procesamiento de imágenes estandarizado es «mantener un alto nivel de coherencia y eficiencia, minimizar la manipulación del objeto y, lo que es más importante, eliminar la exposición innecesaria a la luz» (Chen y Smith, 2020, p. 272).

Un estudio importante que aporta información para comprender el estado actual de la MBI para la conservación y la documentación del patrimonio cultural es la investigación de Jones *et al.* (2020) para determinar las mejores prácticas en el análisis de imágenes multiespectrales (MSI) de objetos históricos.[8] Aunque la investigación de Jones *et al.* se centra en la MSI, que queda fuera del alcance de este volumen, existen muchos paralelismos

[8] Véase el capítulo de terminología (Keats *et al.*, 2025, en este mismo volumen, pp. 138-197) para definir y diferenciar la obtención de imágenes multiespectrales y multibanda.

Similar to MSI as reported by Jones et al., there is no current standard for MBI for imaging cultural heritage, and the documentation of current MBI techniques for CH objects is often inconsistent increasing the challenges for interpretation, comparison, reuse, and reproduction of results (2020, p. 340).

Jones et al. noted that "the systems used, processing techniques applied, the metadata recorded, and even the data management change depending on the user, artefact and institution" (2020, p. 340), which is also the case for MBI as can be seen with the tables summarizing equipment and is reported by Dyer et al. (2013, p. Foreword). The lack of standardization and the variation in equipment, capture, and image processing dependent on the user, object, and institution makes cross-comparison between researchers, departments, and institutions particularly difficult (Dyer et al., 2013).

There have been initiatives working to address challenges of reproducibility and comparability (the CHARISMA imaging protocols and the scene-referred workflow) and an important collaborative scholarship project that illustrates the importance and potential of cross-comparison of multiband image sets (the APPEAR project). The following will further describe these initiatives.

CHARISMA Imaging Protocols

The CHARISMA imaging protocols were published in 2013 as a user manual (Dyer et al., 2013) that responded to the needs to improve the repeatability and comparability of multiband[9] imaging

[9] Dyer et al. (2013) used "multispectral imaging" to reference the techniques that we are defining as "multiband imaging" in this volume. We will be using multiband imaging, but this terminology is not consistent with the user manual. See chapter on terminology (Keats et al., 2025, in this volume, pp. 138-197) to learn more about our decision to use "multiband imaging."

entre el desarrollo y los retos de la MBI y la MSI. Al igual que la MSI, según informan Jones *et al.*, actualmente no existe una norma para la MBI en la obtención de imágenes del patrimonio cultural, y la documentación de las técnicas actuales de MBI para objetos del patrimonio cultural es a menudo inconsistente, lo que aumenta los retos de interpretación, comparación, reutilización y reproducción de los resultados (2020, p. 340).

Jones *et al.* señalaron que «los sistemas utilizados, las técnicas de procesamiento aplicadas, los metadatos registrados e incluso la gestión de datos varían en función del usuario, objeto y la institución» (2020, p. 340), lo que también ocurre con la MBI, como se puede ver en las tablas que resumen los equipos y como informan Dyer *et al.* (2013, p. Prólogo). La falta de estandarización y la variación en los equipos, la captura y el procesamiento de imágenes, que dependen del usuario, el objeto y la institución, dificultan especialmente la comparación cruzada entre investigadores, departamentos e instituciones (Dyer *et al.*, 2013).

Se han puesto en marcha iniciativas para abordar los retos de reproducibilidad y comparabilidad (los protocolos de imagen CHARISMA y el flujo de trabajo referido a la escena) y un importante proyecto académico colaborativo que ilustra la importancia y el potencial de la comparación cruzada de conjuntos de imágenes multibanda (el proyecto APPEAR). A continuación se describen con más detalle estas iniciativas.

Protocolos de imagen CHARISMA

Los protocolos de imagen CHARISMA se publicaron en 2013 como un manual de usuario (Dyer *et al.*, 2013), que respondía a la necesidad de mejorar la repetibilidad y comparabilidad de las técnicas de imagen multibanda[9], facilitando la comparación y la

[9] Dyer *et al.* (2013) utilizaron el término «imágenes multiespectrales» para referirse a las técnicas que definimos como «imágenes multibanda» en este volumen. Utilizaremos el término «imágenes multibanda», pero esta terminología no es

techniques facilitating comparison and interpretation for scientists, conservators, archaeologists, and curators. The development of this user manual was part of the Cultural Heritage Advanced Research Infrastructures: Synergy for a Multidisciplinary Approach to Conservation/Restoration (CHARISMA) project funded by the European Union FP 7 Research Infrastructures program. The manual was developed from research conducted at the British Museum to understand experimental factors and phenomena that lead to issues related to the devices used for imaging. This research yielded insights into the challenges associated with the comparison of imaging results. As noted by Dyer et al. (2013, p. Foreword),

> ...the equipment, capture and processing of images—particularly those used in luminescence imaging—have tended to be highly dependent on individual users and the set-up they employ making cross-comparison between different institutions and researchers very difficult. It has thus become evident that there is a need to establish a clear set of widely-accessible methods and protocols from which to work.

The authors of the manual worked to optimize and standardize experimental procedures and acquisition protocols to improve reproducibility and inter-comparison of resulting imagery and to develop robust image calibration and correction protocols and create free, open-access post-processing software tools. The focus was on techniques using readily available equipment and on compiling user-friendly practical materials and resources to reach a wide range of users. The manual includes theory for acquisition and post-processing, practical details about setups, equipment recommendations, and acquisition protocols. The post-processing software tools

interpretación para científicos, conservadores, arqueólogos y conservadores. El desarrollo de este manual de usuario formó parte del proyecto Infraestructuras de Investigación Avanzada del Patrimonio Cultural: Sinergia para un Enfoque Multidisciplinar de la Conservación/Restauración (CHARISMA), financiado por el programa de Infraestructuras de Investigación FP 7 de la Unión Europea. El manual se elaboró a partir de una investigación realizada en el British Museum para comprender los factores experimentales y los fenómenos que dan lugar a problemas relacionados con los dispositivos utilizados para la obtención de imágenes. Esta investigación proporcionó información sobre los retos asociados a la comparación de los resultados de las imágenes. Como señalan Dyer *et al.* (2013, p. Prólogo),

> ...el equipo, la captura y el procesamiento de imágenes, en particular las utilizadas en la obtención de imágenes por luminiscencia, han tendido a depender en gran medida de los usuarios individuales y de la configuración que emplean, lo que dificulta mucho la comparación entre diferentes instituciones e investigadores. Por lo tanto, se ha hecho evidente la necesidad de establecer un conjunto claro de métodos y protocolos ampliamente accesibles a partir de los cuales trabajar.

Los autores del manual trabajaron para optimizar y estandarizar los procedimientos experimentales y los protocolos de adquisición con el fin de mejorar la reproducibilidad y la comparación entre las imágenes resultantes, así como para desarrollar protocolos sólidos de calibración y corrección de imágenes y crear herramientas de software de procesamiento post es gratuitas y de libre acceso. Se prestó especial atención a las técnicas que utilizan equipos fácilmente disponibles y a la recopilación de materiales y recursos prácticos y fáciles de usar para llegar a una amplia gama de usuarios. El manual incluye teoría sobre la adquisición y el posprocesamiento,

coherente con el manual del usuario. Consulte el capítulo sobre terminología (Keats *et al.*, 2025, en este mismo volumen, pp. 138-197) para obtener más información sobre nuestra decisión de utilizar el término «imágenes multibanda».

are "add-ins" to nip2 (Cupitt, 2013), a graphical user-interface that is part of VIPS, an open-source image processing system.[10]

The user manual and post-processing software tools are incredible contributions to the development of MBI for conservation and cultural heritage documentation. These offered important developments for improving reproducibility and comparability between users and institutions. Despite being published over a decade ago, the manual continues to be an invaluable resource for the community as it includes fundamental information about the techniques, acquisition, and processing. As with any resource regarding constantly changing technologies, there is an opportunity for updates and development. There are additional MBI techniques being used that are not covered in the manual, VIVL and MBR, in addition to transmitted imaging techniques. The software requires maintenance and updates that is not necessarily covered beyond the CHARISMA project (2009-2014), so there are some limitations and challenges with the continued use of the software tools.

In February 2020, the British Museum hosted a workshop to discuss updates to the CHARISMA imaging protocols organized by Joanne Dyer. The manual had been published in 2013, so this was an opportunity to bring together experts and practitioners from around the world to review the history of the manual and initiative, understand the current status of the protocols and needs of user, and discuss ways forward. The first day included sessions with short presentations focused on users' experiences with the CHARISMA imaging protocols and other approaches being used. The second day included sessions focusing on improving and augmenting the current method with presentations on

[10] VIPS can be accessed at https://github.com/libvips.

detalles prácticos sobre configuraciones, recomendaciones de equipos y protocolos de adquisición. Las herramientas de software de posprocesamiento son «complementos» de nip2 (Cupitt, 2013), una interfaz gráfica de usuario que forma parte de VIPS, un sistema de procesamiento de imágenes de código abierto. [10]

El manual de usuario y las herramientas de software de posprocesamiento son contribuciones increíbles al desarrollo de la MBI para la conservación y la documentación del patrimonio cultural. Estos ofrecieron importantes avances para mejorar la reproducibilidad y la comparabilidad entre usuarios e instituciones. A pesar de haber sido publicado hace más de una década, el manual sigue siendo un recurso inestimable para la comunidad, ya que incluye información fundamental sobre las técnicas, la adquisición y el procesamiento. Al igual que con cualquier recurso relacionado con tecnologías en constante cambio, existe la posibilidad de actualizaciones y desarrollos. Existen otras técnicas de MBI que no se tratan en el manual, como VIVL y MBR, además de las técnicas de imagen transmitida. El software requiere un mantenimiento y actualizaciones que no están necesariamente cubiertos más allá del proyecto CHARISMA (2009-2014), por lo que existen algunas limitaciones y retos para el uso continuado de las herramientas de software.

En febrero de 2020, el British Museum acogió un taller para debatir las actualizaciones de los protocolos de imagen de CHARISMA, organizado por Joanne Dyer. El manual se había publicado en 2013, por lo que esta fue una oportunidad para reunir a expertos y profesionales de todo el mundo con el fin de revisar la historia del manual y la iniciativa, comprender la situación actual de los protocolos y las necesidades de los usuarios, y debatir el camino a seguir. El primer día se celebraron sesiones con breves presentaciones centradas en las experiencias de los usuarios con los protocolos de imagen CHARISMA y otros enfoques utilizados. El segundo día se celebraron

[10] Se puede acceder a VIPS en https://github.com/libvips.

terminology, standards, challenges with different setups, color calibration, new techniques, portable equipment, and potential extensions to 3D datasets. The workshop was an incredible opportunity to bring together experts and practitioners to discuss developments, challenges, and ways forward, but the global pandemic of COVID-19 shutdown the world and stalled momentum.

Scene-Referred Workflow and Standards

Some ongoing efforts include Scott Geffert, General Manager of the Metropolitan Museum of Art Imaging Department, working on standardization of imaging throughout the departments of his institution building this work on unified workflows and international standards (Geffert, 2018; ISO 19264-1:2021, 2021; ISO/TR 19263-1:2017, 2017). While the initial focus is internal to the Met, the intention for the efforts is to extend beyond the museum and be shared with the imaging community. The standardization effort started with visible light imaging and reproduction work with the acknowledgement that there are many variables to control in the workflow (many cameras, light sources, processing software) creating challenges with repeatability. Geffert and his team have developed a scene-referred workflow defined by, "Image color and tone information from any imaging system can be measurably traced back to the scene you captured" providing a device-independent workflow for visible light imaging (Geffert, 2021). The workflow relies on camera calibration and validation using a color chart and linear greyscale to produce repeatable, accurate images that are comparable across departments. The developed workflow has been shared beyond the Met at a workshop at the 2023 American Institute for Conservation (AIC) Annual Meeting and as a pdf document (Geffert & Heins, 2023). Extending beyond visible light imaging, these efforts for standardization have

sesiones centradas en la mejora y ampliación del método actual, con presentaciones sobre terminología, normas, retos con diferentes configuraciones, calibración del color, nuevas técnicas, equipos portátiles y posibles ampliaciones a conjuntos de datos 3D. El taller fue una oportunidad increíble para reunir a expertos y profesionales con el fin de debatir los avances, los retos y las formas de avanzar, pero la pandemia mundial de COVID-19 paralizó el mundo y frenó el impulso.

Flujo de trabajo y estándares referidos a la escena

Entre las iniciativas en curso se encuentra la de Scott Geffert, director general del Departamento de Imagen del Metropolitan Museum of Art (Met), que trabaja en la estandarización de la imagen en todos los departamentos de su institución, basándose en flujos de trabajo unificados y normas internacionales (Geffert, 2018; ISO19264-1:2021, 2021; ISO/TR 19263-1:2017, 2017). Aunque el enfoque inicial es interno al Met, la intención es que los esfuerzos se extiendan más allá del museo y se compartan con la comunidad de imágenes. El esfuerzo de estandarización comenzó con el trabajo de imágenes y reproducción de luz visible, reconociendo que hay muchas variables que controlar en el flujo de trabajo (muchas cámaras, fuentes de luz, software de procesamiento), lo que crea desafíos con la repetibilidad. Geffert y su equipo han desarrollado un flujo de trabajo basado en la escena, definido como «la información sobre el color y el tono de la imagen de cualquier sistema de imagen puede rastrearse de forma cuantificable hasta la escena que se ha capturado», lo que proporciona un flujo de trabajo independiente del dispositivo para la imagen de luz visible (Geffert, 2021). El flujo de trabajo se basa en la calibración y validación de la cámara utilizando una carta de colores y una escala de grises lineal para producir imágenes repetibles y precisas que sean comparables entre departamentos. El flujo de trabajo desarrollado se ha compartido más allá del Met en un taller en la Reunión Anual del American Institute for Conservation (AIC) de 2023 y como documento pdf (Geffert y Heins, 2023).

continued with the development of a 3-channel, multiband LED light panels (Geffert, 2023; Geffert et al., 2025, in this volume, pp. 512-543) and continued work to create scene-referred workflows for UV and IR techniques (Geffert, 2021).

These efforts emphasize the importance of standards to provide a foundation to our imaging efforts and aid in the support of repeatable, comparable, and accurate imaging results. Even though the initial efforts are focusing on internal standardization at the Met, the overall objective is for these standardization efforts to reach and benefit the larger imaging community.

APPEAR Project

An important example of collaborative scholarship that uses multiband images to study the materials and manufacturing process of heritage objects, specifically ancient mummy portraits from Roman Egypt, is the Ancient Panel Paintings: Examination, Analysis, and Research (APPEAR) Project (Svoboda & Cartwright, 2020). The project started in 2013 as a technical study with 7 partner institutions and as of early 2024 included 59 collaborating institutions (M. Svoboda, personal communication, February 2, 2024). "Partner institutions participate by examining, analyzing, and researching the history, material, methods, and technology of the artworks within their collections and contributing the results to a database that is used as a platform for study, investigation, and comparison" (Svoboda & Cartwright, 2020, p. 1). The project is building "collective data" allowing scholars to study a larger body of information that enables comparisons and can provide new insight on artistic practice, materials, and techniques (Svoboda & Cartwright, 2020, p. 1). Developments in imaging and scientific analysis have contributed to advances in detection and interpretation of materials and techniques helping with the understanding

Más allá de la imagen con luz visible, estos esfuerzos de estandarización han continuado con el desarrollo de paneles de luz LED multibanda de 3 canales (Geffert, 2023; Geffert *et al.*, 2025, en este mismo volumen, pp. 512-543) y el trabajo continuo para crear flujos de trabajo referidos a la escena para técnicas UV e IR (Geffert, 2021).

Estos esfuerzos enfatizan la importancia de las normas para proporcionar una base a nuestros esfuerzos de obtención de imágenes y ayudar a respaldar resultados de imágenes repetibles, comparables y precisos. Aunque los esfuerzos iniciales se centran en la estandarización interna del Met, el objetivo general es que estos esfuerzos de estandarización lleguen y beneficien a la comunidad de obtención de imágenes en general.

Proyecto APPEAR

Un ejemplo importante de investigación colaborativa que utiliza imágenes multibanda para estudiar los materiales y el proceso de fabricación de objetos patrimoniales, concretamente retratos funerarios antiguos del Egipto romano, es el proyecto Ancient Panel Paintings: Examination, Analysis, and Research (APPEAR) (Svoboda y Cartwright, 2020). El proyecto se inició en 2013 como un estudio técnico con siete instituciones asociadas y, a principios de 2024, contaba con 59 instituciones colaboradoras (M. «Las instituciones asociadas participan examinando, analizando e investigando la historia, los materiales, los métodos y la tecnología de las obras de arte de sus colecciones y aportando los resultados a una base de datos que se utiliza como plataforma para el estudio, la investigación y la comparación» (Svoboda y Cartwright, 2020, p. 1). El proyecto está creando «datos colectivos» que permiten a los estudiosos examinar un conjunto más amplio de información que facilita las comparaciones y puede aportar nuevos conocimientos sobre la práctica artística, los materiales y las técnicas (Svoboda y Cartwright, 2020, p. 1). Los avances en el campo de la imagen y el análisis científico han contribuido a mejorar la detección y la interpretación de los materiales y las

of these portraits and how they are made (Svoboda & Cartwright, 2020, p. 2). Specifically multiband imaging has been used for recording these objects to better understand the materials and manufacture and to map the distribution of materials, both original and from conservation treatments (Bradley et al., 2020; Dyer & Newman, 2020; Mayberger et al., 2020; Roberts, 2020; Thiboutot, 2020).

This project and the use of multiband images as part of collective data and collaborative scholarship would greatly benefit from resulting images that are comparable between institutions despite using different cameras, lenses, radiation sources, filters, and processing. Dyer and Newman (2020) provided an important contribution emphasizing the importance of standardize methodologies for both acquisition and processing, pointing to the CHARISMA imaging protocols (Dyer et al., 2013), and providing an innovative approach to more standardized interpretation of multiband images. Dyer and Newman (2020, p. 58) noted, "In general, without standardization, the images obtained from these methods very much depend on the individual users and the setup employed, making cross-comparison between different institutions and researchers very difficult and decreasing the value of these data sets as documentation aids." As such a large collaboration with many contributors, it has been impossible to enforce a standard imaging protocol and ensure standardized results, but over the years of the project the techniques have improved likely due to the wide use of multiband imaging and research developing systematic imaging approaches as part of the project (M. Svoboda, personal communication, February 2, 2024).

técnicas, lo que ha ayudado a comprender estos retratos y cómo se realizaron (Svoboda y Cartwright, 2020, p. 2). Concretamente, se han utilizado imágenes multibanda para registrar estos objetos con el fin de comprender mejor los materiales y la fabricación, y para cartografiar la distribución de los materiales, tanto los originales como los procedentes de tratamientos de conservación (Bradley *et al*., 2020; Dyer y Newman, 2020; Mayberger *et al*., 2020; Roberts, 2020; Thiboutot, 2020).

Este proyecto y el uso de imágenes multibanda como parte de datos colectivos y estudios colaborativos se beneficiarían enormemente de las imágenes resultantes que son comparables entre instituciones a pesar de utilizar diferentes cámaras, lentes, fuentes de radiación, filtros y procesamiento. Dyer and Newman (2020) hicieron una importante contribución al destacar la importancia de estandarizar las metodologías tanto para la adquisición como para el procesamiento, señalando los protocolos de imagen CHARISMA (Dyer *et al*., 2013), y proporcionando un enfoque innovador para una interpretación más estandarizada de las imágenes multibanda. Dyer and Newman (2020, p. 58) señalaron: «En general, sin estandarización, las imágenes obtenidas con estos métodos dependen en gran medida de los usuarios individuales y de la configuración empleada, lo que dificulta mucho la comparación cruzada entre diferentes instituciones e investigadores y disminuye el valor de estos conjuntos de datos como ayudas para la documentación». Al tratarse de una colaboración tan amplia con muchos colaboradores, ha sido imposible aplicar un protocolo de imagen estándar y garantizar resultados estandarizados, pero a lo largo de los años del proyecto las técnicas han mejorado, probablemente debido al amplio uso de la imagen multibanda y a la investigación para desarrollar enfoques sistemáticos de imagen como parte del Proyecto (M. Svoboda, comunicación personal, February 2, 2024).

Testing and Development of Imaging Systems

Testing and development of components of imaging systems (cameras, radiation sources, and targets) has been an area of active research.

Cameras

While modified consumer DSLRs are the most widely used recording devices for multiband imaging, there are efforts to develop lower cost options like the modification of smartphones that was presented by Sean Billups (Billups, n.d., 2023). Billups' work aimed to create an affordable, adaptable, and portable system for multiband imaging. He has developed modifications for a few smartphones, custom 3D printed cases to hold a filter wheel, and custom modules for different LED lighting systems. The lower cost of some smartphone models, 3D printed components, and smaller filters reduces the cost of a multiband imaging system pushing the potential access of these techniques. A modified smartphone could offer a low-barrier option for students or professionals in the field. While DSLRs with interchangeable lenses and larger sensors are going to offer the best option for high-quality, high-resolution results, research like this is important for continuing to push access and lower the cost of these techniques.

Radiation Sources

Multiband imaging currently requires multiple radiation sources, so efforts to develop radiation sources like Verri and Saunders (2014) and Geffert et al. (2025, this volume, pp. 512-543) reduce the equipment needed, increase the efficiency of image acquisition, and potentially reduce some costs associated with the imaging techniques. Verri and Saunders (2014) presented the modification of

Pruebas y desarrollo de sistemas de imagen

Las pruebas y el desarrollo de componentes de sistemas de imagen (cámaras, fuentes de radiación y tarjetas de calibración) han sido un área de investigación activa.

Cámaras

Aunque las cámaras réflex digitales modificadas son los dispositivos de grabación más utilizados para la obtención de imágenes multibanda, se están realizando esfuerzos para desarrollar opciones más económicas, como la modificación de teléfonos inteligentes presentada por Sean Billups (Billups, s. f., 2023). El trabajo de Billups tenía como objetivo crear un sistema asequible, adaptable y portátil para la obtención de imágenes multibanda. Ha desarrollado modificaciones para algunos teléfonos inteligentes, fundas personalizadas impresas en 3D para alojar una rueda de filtros y módulos personalizados para diferentes sistemas de iluminación LED. El menor coste de algunos modelos de teléfonos inteligentes, los componentes impresos en 3D y los filtros más pequeños reducen el coste de un sistema de obtención de imágenes multibanda, lo que aumenta el acceso potencial a estas técnicas. Un smartphone modificado podría ofrecer una opción de bajo coste para estudiantes o profesionales del sector. Aunque las cámaras réflex digitales con lentes intercambiables y sensores más grandes seguirán siendo la mejor opción para obtener resultados de alta calidad y alta resolución, investigaciones como esta son importantes para seguir impulsando el acceso y reduciendo el coste de estas técnicas.

Fuentes de radiación

Actualmente, la obtención de imágenes multibanda requiere múltiples fuentes de radiación, por lo que los esfuerzos por desarrollar fuentes de radiación como las de Verri y Saunders (2014) y Geffert *et al.* (2025, en este mismo volumen, pp. 512-543) reducen el equipo necesario, aumentan la eficiencia de la adquisición de imágenes

speedlight flashes for reflectance and luminescence imaging as a single radiation source and portable option for imaging *in situ* with the presence of considerable ambient light. Geffert et al. presented the development of a low-cost, 3-channel LED light panel (UV, VIS, IR) to standardize and reduce the variability in radiation sources being used between departments at the Met. Verri and Saunders (2014) were pushing the potential for portable sources and *in situ* imaging with ambient light, while Geffert et al. are working on the standardization of radiation sources within an institution to improve the repeatability, comparability, and accuracy of the results. These are both important efforts for reducing the number of radiation sources needed and increasing the efficiency of image acquisition with the potential of reducing some costs for multiband imaging.

Targets

Targets are important for multiband imaging, and there are different targets used for different imaging techniques as previously discussed. Targets are important for verifying and optimizing the performance of the imaging system components (camera, radiation sources, filters), image calibration to increase reproducibility of results, and as a reference to sample materials that relate to the object being imaged (Keller et al., 2019, p. 209).

Studies include examples of custom targets specific to the object and materials imaged that aid in the interpretation of the imaging results and to understand the potential of the imaging techniques. One example being the use of indigo and Egyptian blue pigment samples and paint out boards in the study of MBR by Bradley et al. (2020). Another example, Keller et al. (2019) created a custom target with Egyptian blue, cadmium red, and cadmium yellow for VIL and UVIL and titanium dioxide for UVIL.

y pueden reducir algunos costes asociados a las técnicas de obtención de imágenes. Verri y Saunders (2014) presentaron la modificación de los flashes de velocidad para la obtención de imágenes de reflectancia y luminiscencia como una única fuente de radiación y una opción portátil para la obtención de imágenes *in situ* con la presencia de una luz ambiental considerable. Geffert *et al.* presentaron el desarrollo de un panel de luz LED de 3 canales (UV, VIS, IR) de bajo coste para estandarizar y reducir la variabilidad de las fuentes de radiación utilizadas entre los departamentos del Met. Verri y Saunders (2014) impulsaron el potencial de las fuentes portátiles y la obtención de imágenes *in situ* con luz ambiental, mientras que Geffert *et al.* están trabajando en la estandarización de las fuentes de radiación dentro de una institución para mejorar la repetibilidad, la comparabilidad y la precisión de los resultados. Ambos son esfuerzos importantes para reducir el número de fuentes de radiación necesarias y aumentar la eficiencia de la adquisición de imágenes, con el potencial de reducir algunos costes de la obtención de imágenes multibanda.

Cartas de calibración

Las cartas de caibración son importantes para la obtención de imágenes multibanda y, como se ha comentado anteriormente, existen diferentes tarjetas que se utilizan para diferentes técnicas de obtención de imágenes. Son importantes para verificar y optimizar el rendimiento de los componentes del sistema de obtención de imágenes (cámara, fuentes de radiación, filtros), la calibración de imágenes para aumentar la reproducibilidad de los resultados y como referencia para los materiales de muestra relacionados con el objeto que se está fotografiando (Keller *et al.*, 2019, p. 209).

Los estudios incluyen ejemplos de cartas personalizadas específicas para el objeto y los materiales fotografiados que ayudan a interpretar los resultados de las imágenes y a comprender el potencial de las técnicas de imagen. Un ejemplo es el uso de muestras de pigmentos índigo y azul egipcio y tarjetas pintadas en el estudio de

While custom targets are not new, Keller et al. (2019) strongly recommended the use of pigment targets and contributed an innovative approach to the creation of the targets recognizing the influence of the substrate and binder especially for the evaluation of luminescence.

In addition to the creation and use of custom targets, there are examples of additions to and development of targets recognizing the limitations of available targets (Cosentino, 2014, 2015; Pozeilov, 2023). Cosentino (2014, 2015) has incorporated additions to the AIC PhD target specifically for UVL imaging including materials that luminesce orange and green and zinc white which luminesces yellow. These three additions with the luminesce of the red patch of the AIC PhD target are used as references and processing of UVL images. Pozeilov (2023) presented a simple, low-cost option for a UVL target to evaluate aspects of the imaging environment (i.e., camera filtration, radiation source emission, and ambient radiation) using PTFE[11] tape and highly reflective metal sheet. This target is not intended to be a replacement for scientific standards needed for the calibration or control analytical instrumentation and scientific data. However, the target provides a low-cost solution when it may not be possible to purchase expensive commercial targets like the Spectralon reflectance standards or the UVInnovations Target-UV.

Existing targets do not currently cover the full range of multiband techniques and even some of the existing targets can be out of reach due to high costs. Continued research and development of targets for multiband imaging will be important for verifying and optimizing the performance of the imaging systems, image calibration for increased

[11] Polytetrafluoroethylene (PTFE) is used to create Spectralon diffuse reflectance targets and PTFE tape offers a comparable, low-cost surface response.

MBR realizado por Bradley *et al.* (2020). Otro ejemplo es el de Keller *et al.* (2019), que crearon una tarjeta personalizada con azul egipcio, rojo cadmio y amarillo cadmio para VIL y UVIL, y dióxido de titanio para UVIL. Aunque las cartas y tarjetas personalizadas no son nuevas, Keller *et al.* (2019) recomendaron encarecidamente el uso de referencias de pigmentos y contribuyeron con un enfoque innovador a la creación de estas, reconociendo la influencia del sustrato y el aglutinante, especialmente para la evaluación de la luminiscencia.

Además de la creación y el uso de cartas personalizadas, hay ejemplos de adiciones y desarrollos de tarjetas que reconocen las limitaciones de las disponibles (Cosentino, 2014, 2015; Pozeilov, 2023). Cosentino (2014, 2015) ha incorporado adiciones a la carta AIC PhD específicamente para la obtención de imágenes UVL, incluyendo materiales que luminiscen en naranja y verde y blanco de zinc, de luminiscencia amarilla.. Estas tres adiciones, junto con la luminiscencia del parche rojo de la AIC PhD, se utilizan como referencias y para el procesamiento de imágenes UVL. Pozeilov (2023) presentó una opción sencilla y económica para una carta UVL con el fin de evaluar aspectos del entorno de imagen (es decir, el filtrado de la cámara, la emisión de la fuente de radiación y la radiación ambiental) utilizando cinta PTFE[11] y láminas metálicas altamente reflectantes. Este ejemplar no pretende sustituir los estándares científicos necesarios para la calibración o el control de los instrumentos analíticos y los datos científicos. Sin embargo, el modelo proporciona una solución de bajo coste cuando no es posible adquirir referencias comerciales caras, como los estándares de reflectancia Spectralon o el UVInnovations Target-UV.

Las tarjetas existentes actualmente no cubren toda la gama de técnicas multibanda e incluso algunas de las existentes pueden estar fuera del alcance debido a sus

[11] El politetrafluoroetileno (PTFE) se utiliza para crear patrones de reflectancia difusa Spectralon y la cinta de PTFE ofrece una respuesta superficial comparable y de bajo coste.

comparability and reproducibility of results, and to support the interpretation of results through comparing the response of reference materials.

Image Processing and Analysis

Developing and testing image processing and analysis methods has also been an area of active research. Bradley et al. (2020) and Kriss et al. (2023) provided important studies to test MBI techniques like MBR to refine variables in image capture and processing to improve the results and interpretation.[12] Bradley et al. noted:

> As with many imaging techniques, shifts in camera position or lighting between captures and uneven lighting can confound processing and undermine the usefulness of reflectance and color standards. Unlike with many other imaging techniques, suboptimal captures not only lower the quality of MBR results but can actually create misleading or erroneous images. (2020, p. 71)

Bradley et al. focused on setup and capture to create consistent results, while Kriss et al. focused on evaluating the influence of exposure and post-processing that can affect the final MBR output. Kriss et al. showed differences in greyscale conversion processes testing four methods in Adobe Camera RAW and Photoshop and how different methods can impact the MBR results. This is an important consideration that carries over to other MBI techniques and would be worth further testing.

[12] While MBR is used for characterizing and mapping indigo, other blue materials (e.g., lapis lazuli and ultramarine, cobalt-containing blues, and Egyptian blue, to a lesser extend) respond similarly, so there are limitations to the technique (Bradley et al., 2020). Bradley et al. emphasize the importance of knowledge about the object's historical context and corroboration by other imaging and analysis.

elevados costes. La investigación y el desarrollo continuos de cartas y tarjetas para la obtención de imágenes multibanda serán importantes para verificar y optimizar el rendimiento de los sistemas de captura, calibrar las imágenes para aumentar la comparabilidad y la reproducibilidad de los resultados, y apoyar la interpretación de los resultados mediante la comparación de la respuesta de los materiales de referencia.

Procesamiento y análisis de imágenes

El desarrollo y la prueba de métodos de procesamiento y análisis de imágenes también ha sido un área de investigación activa. Bradley *et al.* (2020) y Kriss *et al.* (2023) proporcionaron importantes estudios para probar técnicas de MBI como MBR con el fin de refinar las variables en la captura y el procesamiento de imágenes para mejorar los resultados y la interpretación.[12] Bradley *et al.* señalaron:

> Al igual que con muchas técnicas de imagen, los cambios en la posición de la cámara o la iluminación entre capturas y la iluminación desigual pueden confundir el procesamiento y socavar la utilidad de los estándares de reflectancia y color. A diferencia de muchas otras técnicas de imagen, las capturas subóptimas no solo reducen la calidad de los resultados del MBR, sino que pueden crear imágenes engañosas o erróneas. (2020, p. 71)

Bradley *et al.* se centraron en la configuración y la captura para crear resultados consistentes, mientras que Kriss *et al.* se centraron en evaluar la influencia de la exposición y el posprocesamiento de que pueden afectar al resultado final del MBR. Kriss *et al.* mostraron diferencias en los procesos de conversión a escala de grises probando cuatro métodos en Adobe Camera RAW y

[12] Aunque el MBR se utiliza para caracterizar y cartografiar el índigo, otros materiales azules (por ejemplo, el lapislázuli y el azul ultramar, los azules que contienen cobalto y, en menor medida, el azul egipcio) responden de manera similar, por lo que esta técnica tiene sus limitaciones (Bradley *et al.*, 2020). Bradley *et al.* destacan la importancia de conocer el contexto histórico del objeto y de corroborarlo con otras imágenes y análisis.

Some studies offer examples of new potentials for further processing and analysis of multiband image sets including novel false color image processing and statistical analysis. Case studies included in this volume by Raïch et al. (2025, this volume pp. 482-511) and Sharma (2025, this volume, pp. 330-359) introduced new combinations for false color processing. Raïch et al. used both reflected and transmitted IR images to create false color images for painting analysis, and Sharma used three reflected IR bands for a multiband IR reflected false color image, a combination of UV-induced visible and infrared luminesce images, and a combination of VIL and VIVL images for studying hand-colored photographs (2025, this volume, pp. 330-359). Radpour et al. (2021) created false color composite images that combine VIL and VIVL results with a greyscale VIS image as a new approach to produce 3D 'chemical' maps of pigments on photogrammetric 3D models to visualize artistic production and past conservation treatments. Rahrig et al. (2023) proposed new processing workflows to create hybrid images from PCA and a paintings version of normalized difference vegetation index (NDVI) to reveal features and differentiate materials and damages of mural paintings that are otherwise not visible in single band spectral images.

Principal Component Analysis (PCA) is a statistical analysis technique that helps with data compression of large image sets and feature extraction (Jones et al., 2020). While PCA is widely used for MSI and hyperspectral imaging (HSI), it is not as commonly used for MBI. Published case studies provide some examples of the use PCA with multiband image sets to enhance features from VIS and IR images of a carved ivory horn (Mathys et al., 2019), recover writings from fire-damaged collection of medieval manuscriptions (Pottier et al., 2019), and reveal features and differential materials in mural paintings (Rahrig et al., 2023).

Photoshop y cómo los diferentes métodos pueden afectar a los resultados del MBR. Se trata de una consideración importante que se traslada a otras técnicas de MBI y que merecería la pena seguir investigando.

Algunos estudios ofrecen ejemplos de nuevas posibilidades para el procesamiento y análisis adicionales de conjuntos de imágenes multibanda, incluyendo el novedoso procesamiento de imágenes en falso color y el análisis estadístico. Los estudios de casos incluidos en este volumen por Raïch *et al.* (2025, en este mismo volumen pp. 482-511) y Sharma (2025, en este mismo volumen pp. 330-359) introdujeron nuevas combinaciones para el procesamiento en falso color. Raïch *et al.* utilizaron imágenes IR reflejadas y transmitidas para crear imágenes en falso color para el análisis de pinturas, y Sharma utilizó tres bandas IR reflejadas para una imagen multibanda IR reflejada en falso color, una combinación de imágenes luminiscentes visibles e infrarrojas inducidas por UV, y una combinación de imágenes VIL y VIVL para estudiar fotografías coloreadas a mano (2025, en este mismo volumen pp. 330-359). Radpour *et al.* (2021) crearon imágenes compuestas en falso color que combinan los resultados de VIL y VIVL con una imagen VIS en escala de grises como un nuevo enfoque para producir mapas «químicos» en 3D de pigmentos en modelos fotogramétricos en 3D para visualizar la producción artística y los tratamientos de conservación realizados en el pasado. Rahrig *et al.* (2023) propusieron nuevos flujos de trabajo de procesamiento para crear imágenes híbridas a partir del PCA y una versión para pinturas del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) con el fin de revelar características y diferenciar materiales y daños de pinturas murales que de otro modo no serían visibles en imágenes espectrales de banda única.

El análisis de componentes principales (PCA) es una técnica de análisis estadístico que ayuda a comprimir datos de grandes conjuntos de imágenes y a extraer características (Jones *et al.*, 2020). Aunque el PCA se utiliza ampliamente para la MSI y la imagen hiperespectral

Integration with Multi-Light Techniques and Photogrammetry

Multi-Light Techniques

Combining MBI with multi-light techniques, like reflectance transformation imaging (RTI) and photometric stereo, is not necessarily new. There have been case studies of using IR-RTI for painted ceramic and wooden surfaces (Kotoula & Earl, 2014b); RUV, UVL, and IR RTI for ceramic vessels and fragments (Kotoula, 2015); VIS, IR, and transmitted VIS and IR RTI of papyri (Kotoula & Earl, 2014a); and IR RTI of papyrus (Piquette, 2017). Kotoula and Earl (2014b) referenced examples that are not formally published including IRR RTI to investigate underdrawing, paint layers, and past conservation treatments on a painting (Gabov & Bevan, 2010); IR RTI to document and increase legibility of the Dead Sea Scrolls (Caine & Magen, 2011), and IR RTI to study the underdrawing of a panel painting (Castriota & Serotta, 2011).

More recent research in integrating MBI and multi-light imaging has focused on investigation of different wavelengths and spectral regions to improve the recording of surfaces that may otherwise present challenges for documentation. Hameeuw (2018) and Hameeuw et al. (2025, in this volume, pp. 242-263) presented studies that showed shorter wavelengths (wavelengths below 500 nm) can be beneficial in recording surface shape of objects that otherwise may be problematic to record due to material, color, glossiness, translucency, and transparency focusing on metal coins and stone seals. Salvant et al. (2019) used UVL photometric stereo for detect and monitor protrusions on a painting, using UV instead of VIS to increase the accuracy of the shape estimation. Ciortan et al. (2021) explored Fluorescence Transformation Imaging (FTI), a UVL variant of

(HSI), no es tan habitual en la MBI. Los estudios de casos publicados proporcionan algunos ejemplos del uso del PCA con conjuntos de imágenes multibanda para mejorar las características de las imágenes VIS e IR de un cuerno de marfil tallado (Mathys *et al.*, 2019), recuperar escritos de una colección de manuscritos medievales dañados por el fuego (Pottier *et al.*, 2019), y revelar características y materiales diferenciales en pinturas murales (Rahrig *et al.*, 2023).

Integración con técnicas multilumínicas y fotogrametría

Técnicas multilumínicas

La combinación de MBI con técnicas multilumínicas, como la imagen por transformación de reflectancia (RTI) y el estéreo fotométrico, no es necesariamente nueva. Se han realizado estudios de casos sobre el uso de IR-RTI para superficies pintadas de cerámica y madera (Kotoula y Earl, 2014b); RUV, UVL e IR RTI para vasijas y fragmentos de cerámica (Kotoula, 2015); VIS, IR y VIS e IR transmitidos RTI de papiros (Kotoula y Earl, 2014a); e IR RTI de papiro (Piquette, 2017). Kotoula y Earl (2014b) hicieron referencia a ejemplos que no se han publicado formalmente, incluyendo IRR RTI para investigar el dibujo subyacente, las capas de pintura y los tratamientos de conservación anteriores en una pintura (Gabov y Bevan, 2010); IR RTI para documentar y aumentar la legibilidad de los Rollos del Mar Muerto (Caine y Magen, 2011), e IR RTI para estudiar el dibujo subyacente de una pintura sobre tabla (Castriota y Serotta, 2011).

Las investigaciones más recientes sobre la integración de la MBI y la imagen multilumínicas se han centrado en el estudio de diferentes longitudes de onda y regiones espectrales para mejorar el registro de superficies que, de otro modo, podrían presentar dificultades para su documentación. Hameeuw (2018) y Hameeuw *et al.* (2025, en este mismo volumen, pp. 242-263) presentaron estudios que demostraban que las longitudes de onda más cortas

RTI, for the documentation of fluorescent objects. Kitanovski and Hardeberg (2021) investigated the potential of spectral RTI (narrow visible light bands between 400-700 nm) to improve the recording of translucent materials. Ciortan et al. (2021) and Kitanovski and Hardeberg (2021) were both working with test objects and did not include cultural heritage objects in the investigations.

Integration of MBI with multi-light techniques has included both highlight-based techniques (Kotoula, 2015; Kotoula & Earl, 2014b; Piquette, 2017) and dome-based methods (Ciortan et al., 2018, 2021; Hameeuw, 2018; Kotoula & Earl, 2014b). Highlight-based multi-light techniques can be a lower barrier, more flexible option for integrating with MBI. Domes can be expensive, especially domes with multiple wavelengths, and the object size that can be recorded is limited by the size of the dome. While highlight-based methods are flexible and lower cost, there are challenges related to UV highlight-based multi-light techniques including available radiation sources that work well for this technique and the safety of the object and user in terms of UV radiation exposure.

Multiband imaging and multi-light imaging techniques are complementary techniques and when integrated can offer important information for the documentation and study of heritage objects and materials.

Photogrammetry

There are several examples exploring the integration of MBI and 3D imaging, specifically photogrammetry, with these studies developing in three different directions: (1) the creation of undistorted orthophotos with different MBI techniques to record large wall paintings and murals that are otherwise difficult to record; (2) the mapping the

(por debajo de 500 nm) pueden ser beneficiosas para registrar la forma de la superficie de objetos que, de otro modo, podrían ser problemáticos de registrar debido al material, el color, el brillo, la translucidez y la transparencia, centrándose en monedas de metal y sellos de piedra. Salvant *et al.* (2019) utilizaron estereometría fotométrica UVL para detectar y monitorizar protuberancias en una pintura, utilizando UV en lugar de VIS para aumentar la precisión de la estimación de la forma. Ciortan *et al.* (2021) exploraron la imagen por transformación de fluorescencia (FTI), una variante UVL de RTI, para la documentación de objetos luminiscentes. Kitanovski y Hardeberg (2021) investigaron el potencial de la RTI espectral (bandas estrechas de luz visible entre 400 y 700 nm) para mejorar el registro de materiales translúcidos. Ciortan *et al.* (2021) y Kitanovski y Hardeberg (2021) trabajaron con objetos de prueba y no incluyeron objetos del patrimonio cultural en sus investigaciones.

La integración de MBI con técnicas multilumínicas ha incluido tanto técnicas basadas en resaltes (Kotoula, 2015; Kotoula y Earl, 2014b; Piquette, 2017) y métodos basados en cúpulas (Ciortan *et al.*, 2018, 2021; Hameeuw, 2018; Kotoula y Earl, 2014b). Las técnicas multilumínicas basadas en reflejos pueden ser una opción más flexible y con menos barreras para la integración con MBI. Las cúpulas pueden ser caras, especialmente las que tienen múltiples longitudes de onda, y el tamaño del objeto que se puede registrar está limitado por el tamaño de la cúpula. Si bien los métodos basados en reflejos son flexibles y de menor costo, existen desafíos relacionados con las técnicas de luz múltiple basadas en reflejos UV, incluyendo las fuentes de radiación disponibles que funcionan bien para esta técnica y la seguridad del objeto y del usuario en términos de exposición a la radiación UV.

Las técnicas de imagen multibanda y de imagen multilumínica son técnicas complementarias y, cuando se integran, pueden ofrecer información importante para la documentación y el estudio de objetos y materiales patrimoniales.

multiband image results as textures onto a 3D model for a more complete record of a three-dimensional object; and (2) the use of multiband imaging and specific bands to improve the resulting 3D reconstruction.

The first approach has focused on the use of photogrammetry to create orthoimages, or undistorted images, of oversized "flat" objects, specifically wall paintings (Rahrig et al., 2023) and murals (Rose & Kerr, 2025, in this volume, pp. 310-329), that are otherwise difficult to record with visible light and other spectral bands. As noted by Rose and Kerr (2025, in this volume, pp. 310-329), traditional image capture of large-scale objects like wall paintings and murals, results in low-resolution and distorted images due to the scale of the artworks, limited space to acquire overall images, and lens and perspective distortions from acquiring tiled images from less-than-ideal positions. Combining photogrammetry and multiband imaging offers a flexible workflow that helps to avoid complex setups (e.g., rails to move the camera and lights) for recording multiple spectral bands at high resolution of large areas (Rahrig et al. 2023). The combination of photogrammetry and multiband imaging, that is presented by both Rose and Kerr (2025, in this volume, pp. 310-329) and Rahrig et al. (2023), results in high-resolution, undistorted multiband orthoimages that can be important for studying the artwork—the manufacture and artist's process, materials, and condition—that can help to inform and document the conservation treatment and increase the overall understanding of the object. While surface shape information can be extracted from these image sets (*Capturing High-Resolution 3D Documentation of a Diego Rivera Mural*, n.d.; *Virtual Preservation of "Pan American Unity,"* n.d.)[13],

[13] While Cultural Heritage Imaging (CHI) only did visible light photogrammetry of the Diego Rivera mural (and not multiband imaging), this is an important project in showing the use of orthomosaics for conservation and

Fotogrametría

Existen varios ejemplos que exploran la integración de la MBI y la imagen 3D, concretamente la fotogrametría, y estos estudios se desarrollan en tres direcciones diferentes: (1) la creación de ortofotos sin distorsiones con diferentes técnicas de MBI para registrar grandes pinturas murales y murales que, de otro modo, serían difíciles de registrar; (2) el mapeo de los resultados de las imágenes multibanda como texturas en un modelo 3D para obtener un registro más completo de un objeto tridimensional; y (2) el uso de imágenes multibanda y bandas específicas para mejorar la reconstrucción 3D resultante.

El primer enfoque se ha centrado en el uso de la fotogrametría para crear ortoimágenes, o imágenes sin distorsiones, de objetos «planos» de gran tamaño, concretamente pinturas murales (Rahrig *et al.*, 2023) y murales (Rose y Kerr, 2025, en este mismo volumen, pp. 310-329), que de otro modo serían difíciles de registrar con luz visible y otras bandas espectrales. Como señalan Rose y Kerr (2025, en este mismo volumen, pp. 310-329), la captura tradicional de imágenes de objetos a gran escala, como pinturas murales y murales, da como resultado imágenes de baja resolución y distorsionadas debido a la escala de las obras de arte, el espacio limitado para adquirir imágenes generales y las distorsiones de la lente y la perspectiva al adquirir imágenes en mosaico desde posiciones menos que ideales. La combinación de la fotogrametría y la imagen multibanda ofrece un flujo de trabajo flexible que ayuda a evitar configuraciones complejas (por ejemplo, rieles para mover la cámara y las luces) para registrar múltiples bandas espectrales con alta resolución en grandes áreas (Rahrig *et al.* 2023). La combinación de fotogrametría e imágenes multibanda, presentada tanto por Rose y Kerr (2025, en este mismo volumen, pp. 310-329) como por Rahrig *et al.* (2023), da como resultado ortoimágenes multibanda de alta resolución y sin distorsiones que pueden ser importantes para estudiar la obra de arte —la fabricación y el proceso del artista, los materiales y el estado— y que pueden ayudar a informar y documentar

the main focus is the production of high-resolution, undistorted 2D images to document the conservation state and study the materials and manufacture of oversized, predominantly flat paintings.

The second approach has focused on mapping multiband images onto a 3D model in order to study the multiband imaging results in the round for three-dimensional objects. Multiband images of three-dimensional objects tend to be 2D images which can be limiting in the complete recording of the object and restrictive in the analysis of the multiband results. The following includes some specific examples of this approach. Nocerino et al. (2018) mapped VIS and UVL images (UVA and UVB bands acquired) onto 3D geometry (both photogrammetry and 3D scanning) for the investigation of condition and past conservation interventions of a restored ancient Attic vase. Lanteri et al. (2019) produced IR and UVL photogrammetry models as part of the conservation process for a 17th century wooden reliquary bust to record the original materials, the condition, and past conservation interventions. Mathys et al. (2019) found that the IR and UVL photogrammetry enhanced the visibility of engravings on an ivory horn and decorated antler respectively. Frank et al. (2021) focused on the workflow to integrate photogrammetry, RTI, and MBI results to contribute to the visualization, documentation, and analysis of archaeological objects and materials. The integration of these techniques aimed to facilitate the detailed study of objects, materials, and difficult-to-perceive features using Blender to create an animated visualization. Radpour et al. (2021) integrated VIS, VIVL, VIL and UVL with photogrammetry for visualizing material composition of a Hellenistic terracotta funerary head vase in

linking digital elevation maps (DEMs) with color data (from visible light images but could be other spectral bands) informing the creation of a condition map.

el tratamiento de conservación y aumentar la comprensión general del objeto. Si bien se puede extraer información sobre la forma de la superficie de estos conjuntos de imágenes(*Capturing High-Resolution 3D Documentation of a Diego Rivera Mural*, s. f.; *Virtual Preservation of «Pan American Unity»*, s. f.)[13], el objetivo principal es la producción de imágenes 2D de alta resolución y sin distorsiones para documentar el estado de conservación y estudiar los materiales y la fabricación de pinturas de gran tamaño, predominantemente planas.

El segundo enfoque se ha centrado en mapear imágenes multibanda en un modelo 3D con el fin de estudiar los resultados de las imágenes multibanda en tres dimensiones para objetos tridimensionales. Las imágenes multibanda de objetos tridimensionales suelen ser imágenes 2D, lo que puede limitar el registro completo del objeto y restringir el análisis de los resultados multibanda. A continuación se incluyen algunos ejemplos específicos de este enfoque. Nocerino *et al.* (2018) mapearon imágenes VIS y UVL (bandas UVA y UVB adquiridas) en geometría 3D (tanto fotogrametría como escaneo 3D) para investigar el estado y las intervenciones de conservación anteriores de un jarrón ático antiguo restaurado. Lanteri *et al.* (2019) crearon modelos de fotogrametría IR y UVL como parte del proceso de conservación de un busto relicario de madera del siglo XVII para registrar los materiales originales, el estado y las intervenciones de conservación anteriores. Mathys *et al.* (2019) descubrieron que la fotogrametría IR y UVL mejoraba la visibilidad de los grabados en un cuerno de marfil y una cornamenta decorada, respectivamente. Frank *et al.* (2021) se centraron en el flujo de trabajo para integrar los resultados de la fotogrametría, el RTI y el MBI con el fin de contribuir a la visualización, documentación y análisis de objetos y materiales arqueológicos. La integración de estas técnicas tenía como objetivo facilitar

[13] Aunque Cultural Heritage Imaging (CHI) solo realizó fotogrametría con luz visible del mural de Diego Rivera (y no imágenes multibanda), se trata de un proyecto importante que muestra el uso de ortomosaicos para la conservación y la vinculación de mapas digitales de elevación (DEM) con datos de color (procedentes de imágenes de luz visible, pero que podrían ser otras bandas espectrales) que sirven de base para la creación de un mapa de condiciones.

3D. The authors presented an innovative fusion technique of luminescence image data (VIVL and VIL) with VIS images as false color composite input images for the 3D reconstruction of one of the bands that was used to visualize madder lake and Egyptian blue while the UVL band of the 3D reconstruction mapped surface condition and previous conservation interventions. Es Sebar et al. (2023) integrated VIS, UVL, RUV, and FCUV with photogrammetry to inform the conservation treatment of two parts of an Egyptian wooden sculpture, specifically investigating surface materials and revealing past interventions. In summary, this second approach of integrating MBI and photogrammetry allows for the spatial distribution of materials (based on the reflectance and luminescence characteristics), the visualization of the conservation state and past interventions, the enhanced of the visibility of features of objects in the round with the 3D model allowing for the rotation of the object in different bands which "facilitates a more comprehensive interpretation of an object" (Radpour et al., 2021, p. 8).

The third approach has focused on improving 3D reconstructions of objects by using a modified camera and wavelength selection (Webb et al., 2023). Materials respond differently to different wavelengths, and wavelengths within and beyond visible light may increase the local contrast of an object or feature, which can improve the input image quality for the photogrammetry processing. Webb et al. (2023) found that reflected IR input images for photogrammetry reduced the impact of specular reflections and improved the image contrast, as compared to visible light, when recording and monitoring a large crack on a curved, dark shiny surface of a varnished wooden sculpture. Wavelength selection can be valuable and solve some otherwise tough 3D reconstruction problems (e.g., dark,

el estudio detallado de objetos, materiales y características difíciles de percibir utilizando Blender para crear una visualización animada. Radpour *et al.* (2021) integraron VIS, VIVL, VIL y UVL con fotogrametría para visualizar en 3D la composición material de un jarrón funerario helenístico de terracota con forma de cabeza. Los autores presentaron una innovadora técnica de fusión de datos de imágenes de luminiscencia (VIVL y VIL) con imágenes VIS como imágenes compuestas en falso color para la reconstrucción en 3D de una de las bandas que se utilizó para visualizar el lago de rubia y el azul egipcio, mientras que la banda UVL de la reconstrucción en 3D mapeó el estado de la superficie y las intervenciones de conservación anteriores. Es Sebar *et al.* (2023) integraron VIS, UVL, RUV y FCUV con fotogrametría para informar el tratamiento de conservación de dos partes de una escultura egipcia de madera, investigando específicamente los materiales de la superficie y revelando intervenciones pasadas. En resumen, este segundo enfoque de integración de MBI y fotogrametría permite la distribución espacial de los materiales (basada en las características de reflectancia y luminiscencia), la visualización del estado de conservación y las intervenciones pasadas, la mejora de la visibilidad de las características de los objetos en el modelo 3D, lo que permite la rotación del objeto en diferentes bandas, lo que «facilita una interpretación más completa de un objeto» (Radpour *et al.*, 2021, p. 8).

El tercer enfoque se ha centrado en mejorar las reconstrucciones 3D de los objetos mediante el uso de una cámara modificada y la selección de la longitud de onda (Webb *et al.*, 2023). Los materiales responden de forma diferente a las distintas longitudes de onda, y las longitudes de onda dentro y fuera de la luz visible pueden aumentar el contraste local de un objeto o característica, lo que puede mejorar la calidad de la imagen de entrada para el procesamiento fotogramétrico. Webb *et al.* (2023) descubrieron que las imágenes de entrada IR reflejadas para fotogrametría reducían el impacto de los reflejos especulares y mejoraban el contraste de la imagen, en comparación con la luz visible, al grabar y supervisar una gran grieta en una superficie

shiny, semi-transparent surfaces), but it is only useful if the surface properties change dramatically with different wavelengths.

There is no question that multi-light techniques and 3D reconstruction offer complementary information to MBI and that we will continue to see continued integration of these approaches.

Future of Multiband Imaging

In the realm of spectral imaging for conservation and of cultural heritage objects, we are going to see continued advances in MSI and HSI with some instruments becoming less expensive and more widely used. While there may be aspects of MSI that become "lower barrier," MBI techniques will continue to be widely used and invaluable tools for conservation and cultural heritage document. The case studies in this volume provided examples of the value of the techniques for conservation, art history, and the study of heritage objects and materials.

While we will continue to see the development and use of more sophisticated analytical techniques, MBI will continue to be valuable for conservation and cultural heritage documentation because it is low barrier and flexible. The flexibility at the heart of multiband imaging techniques means that there are lots of directions of development. This chapter identifies key areas of research and development for MBI, which will guide future strategies.

Testing and development of components of the imaging systems (camera, radiation sources, and targets) used for MBI will continue to be an area of research and development. Lower cost systems (like modified point-and-shot cameras

curva, oscura y brillante de una escultura de madera barnizada. La selección de la longitud de onda puede ser valiosa y resolver algunos problemas de reconstrucción 3D que de otro modo serían difíciles (por ejemplo, superficies oscuras, brillantes y semitransparentes), pero solo es útil si las propiedades de la superficie cambian drásticamente con diferentes longitudes de onda.

No hay duda de que las técnicas multilumínicas y la reconstrucción 3D ofrecen información complementaria a la MBI y que seguiremos viendo una integración continua de estos enfoques.

El futuro de la imagen multibanda

En el ámbito de la imagen espectral para la conservación y los objetos del patrimonio cultural, vamos a ver avances continuos en MSI y HSI, con algunos instrumentos que serán menos costosos y se utilizarán más ampliamente. Si bien puede haber aspectos de MSI que se conviertan en «barreras más bajas», las técnicas MBI seguirán siendo herramientas ampliamente utilizadas y valiosísimas para la conservación y la documentación del patrimonio cultural. Los estudios de casos de este volumen proporcionan ejemplos del valor de estas técnicas para la conservación, la historia del arte y el estudio de los objetos y materiales patrimoniales.

Aunque seguiremos viendo el desarrollo y el uso de técnicas analíticas más sofisticadas, la MBI seguirá siendo valiosa para la conservación y la documentación del patrimonio cultural, ya que es flexible y presenta pocas barreras. La flexibilidad que caracteriza a las técnicas de imagen multibanda significa que hay muchas direcciones de desarrollo. En este capítulo se identifican las áreas clave de investigación y desarrollo de la MBI, que servirán de guía para las estrategias futuras.

Las pruebas y el desarrollo de los componentes de los sistemas de imagen (cámara, fuentes de radiación y

and smartphones) can increase access to students and professionals working in the field, and this research and development will continue to push how and where MBI is used. Research and development related to radiation sources is important for reducing the number of radiation sources needed for MBI, increasing the efficiency of image acquisition, and potentially reducing some costs for multiband imaging. Existing targets are limited in the range of techniques that are covered and some are quite expensive. Continued research and development of targets for multiband imaging is important to fill the gaps of existing targets along with improving the verification, calibration, and interpretation potential.

Multi-light techniques and 3D reconstruction offer complementary information to MBI, and we will continue to see continued integration of these approaches and further development of that integration. For both multi-light techniques and photogrammetry, there is an interesting challenge for the visualization, sharing, and archiving of the integrated results. There may be specialized software used by universities and research labs (e.g., KU Leuven and the MSI PLD), but there is not necessarily a widely available option for viewing and sharing the integrated results. It will be important for conservators and curators to be able to view and study these results and make annotations about their observations and findings. SketchFab, an online platform to publish and share 3D content, offers an option to share models resulting from MBI and photogrammetry (Lanteri et al., 2019; Mathys et al., 2019), and there is also the option to export a PDF of the 3D model for sharing (Lanteri et al., 2019). PDFs do not offer a layered visualization of multiple bands, and SketchFab requires more creative approaches for providing layered visualization like importing different MBI bands as material channels (e.g., VIS

tarjetas y cartas de calibración) utilizados para la MBI seguirán siendo un área de investigación y desarrollo. Los sistemas de menor coste (como las cámaras compactas modificadas y los teléfonos inteligentes) pueden aumentar el acceso de los estudiantes y los profesionales que trabajan en este campo, y esta investigación y desarrollo seguirá impulsando cómo y dónde se utiliza la MBI. La investigación y el desarrollo relacionados con las fuentes de radiación son importantes para reducir el número de fuentes de radiación necesarias para la MBI, aumentar la eficiencia de la adquisición de imágenes y reducir potencialmente algunos costes de la imagen multibanda. Las tarjetas y cartas existentes tienen un alcance limitado en cuanto a las técnicas que cubren y algunos son bastante caros. Es importante continuar con la investigación y el desarrollo de elementos de calibración para la imagen multibanda a fin de colmar las lagunas de las cartas y tarjetas existentes y mejorar el potencial de verificación, calibración e interpretación.

Las técnicas multilumínicas y la reconstrucción 3D ofrecen información complementaria a la MBI, y seguiremos viendo una integración continua de estos enfoques y un mayor desarrollo de dicha integración. Tanto para las técnicas multilumínicas como para la fotogrametría, existe un reto interesante para la visualización, el intercambio y el archivo de los resultados integrados. Puede que haya software especializado utilizado por universidades y laboratorios de investigación (por ejemplo, KU Leuven y el MSI PLD), pero no existe necesariamente una opción ampliamente disponible para ver y compartir los resultados integrados. Será importante que los conservadores-restauradores y comisarios puedan ver y estudiar estos resultados y hacer anotaciones sobre sus observaciones y hallazgos. SketchFab, una plataforma en línea para publicar y compartir contenido 3D, ofrece la opción de compartir modelos resultantes de MBI y fotogrametría (Lanteri *et al.*, 2019; Mathys *et al.*, 2019), y también existe la opción de exportar un PDF del modelo 3D para compartirlo (Lanteri *et al.*, 2019). Los PDF no ofrecen una visualización en capas de múltiples bandas,

> Final render, IR > Bump map, UVL > Anisotropy) (Sketchfab 3D Model "Ramesse II - Multiband Imaging," 2024).

Exporting orthomosaics of large relatively two-dimensional objects, like wall paintings and murals, offer more possibilities for sharing, visualization and archiving. While the recording of the Diego Rivero mural "Pan American Unity" by Cultural Heritage Imaging (CHI) does not include multiband imaging, the results of the visible light orthomosaic and a 2D elevation map are layered in an online exhibition using an International Image Interoperability Framework (IIIF) 2D image viewer (*Virtual Preservation of "Pan American Unity,"* n.d.). The viewer allows zooming in and out, changing visibility of layers and changing opacity/transparency of layers, and the layers could easily be multiband orthomosaics.

Reproducibility and comparability continue to be a challenge for multiband imaging despite important initiatives that work to address these issues. It will be important to continue research and development in this area revisiting the potential of updating the CHARISMA imaging protocols (Dyer et al., 2013), additional large-scale collaborative projects like the APPEAR project that push the potential of multiband imaging as "collective data" and collaborative scholarship (Svoboda & Cartwright, 2020), and extending the scene-referred workflow beyond visible light to include MBI techniques (Geffert, 2021). Efforts like the standardization of methods and interpretation (Dyer et al., 2018; Dyer & Newman, 2020) are also important examples of improving and standardizing workflows and methods for continued research and development.

A common theme amongst these referenced efforts and initiatives focusing on reproducibility and comparability is that the results are freely available,

y SketchFab requiere enfoques más creativos para proporcionar una visualización en capas, como importar diferentes bandas MBI como canales de material (por ejemplo, VIS > Renderizado final, IR > Mapa de relieve, UVL > Anisotropía) (Modelo 3D de Sketchfab «Ramesse II - Multiband Imaging», 2024).

La exportación de ortomosaicos de objetos grandes relativamente bidimensionales, como pinturas murales y murales, ofrece más posibilidades de compartir, visualizar y archivar. Aunque la grabación del mural «Unidad Panamericana» de Diego Rivero realizada por Cultural Heritage Imaging (CHI) no incluye imágenes multibanda, los resultados del ortomosaico de luz visible y un mapa de elevación en 2D se superponen en una exposición en línea utilizando un visor de imágenes en 2D del Marco Internacional de Interoperabilidad de Imágenes (IIIF) (*Conservación virtual de «Unidad Panamericana»*, s. f.). El visor permite acercar y alejar la imagen, cambiar la visibilidad de las capas y modificar su opacidad/transparencia, y las capas podrían ser fácilmente ortomosaicos multibanda.

La reproducibilidad y la comparabilidad siguen siendo un reto para las imágenes multibanda, a pesar de las importantes iniciativas que se están llevando a cabo para abordar estas cuestiones. Será importante continuar la investigación y el desarrollo en este ámbito, revisando el potencial de actualización de los protocolos de imagen CHARISMA (Dyer *et al.*, 2013), proyectos colaborativos a gran escala adicionales como el proyecto APPEAR, que impulsan el potencial de las imágenes multibanda como «datos colectivos» y la investigación colaborativa (Svoboda y Cartwright, 2020), y la ampliación del flujo de trabajo referido a la escena más allá de la luz visible para incluir técnicas MBI (Geffert, 2021). Esfuerzos como la estandarización de métodos e interpretación (Dyer *et al.*, 2018; Dyer y Newman, 2020) también son ejemplos importantes de mejora y estandarización de flujos de trabajo y métodos para la investigación y el desarrollo continuos.

shared resources, an important example of how we can and should move forward with improved reproducibility and comparability for multiband imaging. These initiatives, papers, presentations, and guides have been shared through freely available online resources and publications (Dyer et al., 2013; Geffert & Heins, 2023; Svoboda & Cartwright, 2020), open-access publications (Dyer et al., 2018, 2022), and available recorded presentations (Geffert, 2021) increasing the access to and potential of this information. Even this volume follows in this nature as an open-access, bi-lingual publication for the conservation community.

Metadata is essential for the identification, management, access, use and reuse, and preservation of digital resources (FADGI Technical Guidelines, 2023, p. 93). Guidelines and resources exist for metadata related to cultural heritage: the release of the IPTC cultural heritage panel plugin to add descriptive and rights information about cultural heritage objects ("IPTC Cultural Heritage Panel," 2016), a general discussion in the FADCI guidelines for 2D, visible light digitizing cultural heritage materials (FADGI Technical Guidelines, 2023, pp. 93–103), and a recent volume focused on 3D imaging that speaks to the challenges with variability and gaps in documentation of paradata and metadata for 3D cultural heritage digitization (Ioannides et al., 2025). Cultural Heritage Imaging (CHI) developed the Digital Lab Notebook (DLN) to manage photographic data, information about digital representations, and context metadata for computational photographic technologies initially implemented for RTI and photogrammetry but also useful for multiband imaging and other documentary photography (*Digital Lab Notebook*, n.d.; Mudge & Schroer, 2025). Warda et al. (2017, pp. 85–88) and Edwards & Oey (2018) provide templates and workflows for metadata related to multiband imaging for conservation documentation.

Un tema común entre estas iniciativas y esfuerzos referenciados que se centran en la reproducibilidad y la comparabilidad es que los resultados son recursos compartidos y de libre acceso, un ejemplo importante de cómo podemos y debemos avanzar con una mejor reproducibilidad y comparabilidad para la obtención de imágenes multibanda. Estas iniciativas, artículos, presentaciones y guías se han compartido a través de recursos y publicaciones en línea de libre acceso (Dyer *et al*., 2013; Geffert y Heins, 2023; Svoboda & Cartwright, 2020), publicaciones de acceso abierto (Dyer *et al*., 2018, 2022), y presentaciones grabadas disponibles (Geffert, 2021), lo que aumenta el acceso y el potencial de esta información. Incluso este volumen sigue esta naturaleza como una publicación bilingüe de acceso abierto para la comunidad conservacionista.

Los metadatos son esenciales para la identificación, gestión, acceso, uso y reutilización, y conservación de los recursos digitales (Directrices técnicas de la FADGI, 2023, p. 93). Existen directrices y recursos para los metadatos relacionados con el patrimonio cultural: el lanzamiento del complemento del panel de patrimonio cultural IPTC para añadir información descriptiva y sobre derechos de los objetos del patrimonio cultural («Panel de patrimonio cultural IPTC», 2016), un debate general en las directrices FADCI para la digitalización en 2D y con luz visible de materiales del patrimonio cultural (Directrices técnicas FADGI, 2023, pp. 93-103), y un volumen reciente centrado en la obtención de imágenes 3D que aborda los retos que plantean la variabilidad y las lagunas en la documentación de paradatos y metadatos para la digitalización del patrimonio cultural en 3D (Ioannides *et al*., 2025). Cultural Heritage Imaging (CHI) desarrolló el Digital Lab Notebook (DLN) para gestionar datos fotográficos, información sobre representaciones digitales y metadatos contextuales para tecnologías fotográficas computacionales implementadas inicialmente para RTI y fotogrametría, pero también útiles para imágenes multibanda y otra fotografía documental(*Digital Lab Notebook*, s. f.; Mudge y Schroer, 2025). Warda *et al.* (2017, pp. 85-88) y Edwards y

Table 6 | Recommendations for Documenting the Pipeline of Multiband Imaging in Cultural Heritage (Building off Table from Jones et al. for Multispectral Imaging (2020)). Green highlighted elements are important for including in publications.

Stage of pipeline		Essential documentation	Preferable documentation
System	Camera	Make, model, sensor size and type, bit-depth, modifications (what modification and who did the modification)	
	Lens	Make, model	
	Radiation Sources	Make, model, type (flash, halogen, LED, etc.), wavelengths, quantity, diffusers	Spectral output of the sources (if possible)
	Filters	Make, model, wavelength ranges	Transmission measurements (if possible)
	Setup	Distance from lights to artefact and from artifact to camera	Background material, room conditions, use of weights and supports
Object	Properties	Size and shape, material, provenance/age, damage and conservation treatment, catalogue number	
Capture Sequence	Properties	Quantity, wavelengths, filters, shutter speed, aperture f/stop, ISO, metadata recorded during capture, software, resolution	
	Exposure/Calibration Process	Targets (make, model) and related technique, method of exposure estimation (If applicable) method of flat field correction, software, material for flat field correction	
Processing	Exposure/Calibration Process	Method, implementation, justification, software	
	Other Processing Methods	(If applicable) method, justification, software	
Data Management	Storage	Where the images are stored, file structure of the storage, when the images were last modified	When the images were uploaded
	Distribution	How the images are distributed, file structure, what the files contain	File size
	Interface	The viewing platform used, any standard or framework it is built on (e.g. if it is IIIF compliant)	
Metadata		Metadata standard, who recorded the metadata, what they recorded, where it was recorded, the date it was recorded and date it was last modified	

While some templates, workflows, and tools exist, as noted by Jones et al. (2020, p. 346), "it is recognised that metadata for images in art conservation research is often lacking, and cannot be assumed to be thoroughly recorded." There are not specific customized set of metadata elements for conservation documentation or multiband imaging (Warda et al., 2017, p. 85), and significant variability and in some cases the lack of information

Oey (2018) proporcionan plantillas y flujos de trabajo para los metadatos relacionados con las imágenes multibanda para la documentación de la conservación.

Aunque existen algunas plantillas, flujos de trabajo y herramientas, como señalan Jones *et al.* (2020, p. 346), «se reconoce que los metadatos para las imágenes en la investigación sobre conservación del arte suelen ser insuficientes y no se puede dar por sentado que se registren de forma exhaustiva». No existe un conjunto específico de elementos de metadatos personalizados para

Tabla 6 | Recomendaciones para documentar el proceso de obtención de imágenes multibanda en el patrimonio cultural (basado en la tabla de Jones *et al.* para imágenes multiespectrales(2020)). Los elementos resaltados en verde son importantes para incluir en las publicaciones.

Etapa del proceso		Documentación esencial	Documentación preferible
Sistema	Cámara	Marca, modelo, tamaño y tipo de sensor, profundidad de bits, modificaciones (qué modificación y quién la realizó)	
	Lente	Marca, modelo	
	Fuentes de radiación	Marca, modelo, tipo (flash, halógeno, LED, etc.), longitudes de onda, cantidad, difusores	Salida espectral de las fuentes (si es posible)
	Filtros	Marca, modelo, rangos de longitud de onda	Mediciones de transmisión (si es posible)
	Configuración	Distancia entre las luces y el objeto, y entre el objeto y la cámara	Material de fondo, condiciones de la sala, uso de pesos y soportes
Objeto	Propiedades	Tamaño y forma, material, procedencia/antigüedad, daños y tratamiento de conservación, número de catálogo	
Secuencia de captura	Propiedades	Cantidad, longitudes de onda, filtros, velocidad de obturación, apertura f/stop, ISO, metadatos registrados durante la captura, software, resolución	
	Proceso de exposición/ calibración	Objetivos (marca, modelo) y técnica relacionada, método de estimación de la exposición (Si procede) método de corrección de campo plano, software, material para la corrección de campo plano	
Procesamiento	Proceso de exposición/ calibración	Método, implementación, justificación, software	
	Otros métodos de procesamiento	(Si procede) método, justificación, software	
Gestión de datos	Almacenamiento	Dónde se almacenan las imágenes, estructura de archivos del almacenamiento, cuándo se modificaron las imágenes por última vez	Cuándo se cargaron las imágenes
	Distribución	Cómo se distribuyen las imágenes, estructura de archivos, qué contienen los archivos	Tamaño del archivo
	Interfaz	La plataforma de visualización utilizada, cualquier estándar o marco en el que se basa (por ejemplo, si es compatible con IIIF)	
Metadatos		Estándar de metadatos, quién registró los metadatos, qué se registró, dónde se registró, la fecha en que se registró y la fecha de la última modificación	

included about the equipment, image acquisition, and processing was observed in the review of literature for this chapter.

As a community, we need to provide better metadata and detailed documentation for MBI in reports and publications. This will improve how we can reproduce, compare, and reuse the data, thereby improving interpretation, interoperability, and dissemination (Jones et al., 2020, p. 340). Table 6 includes suggestions for

la documentación de conservación o la obtención de imágenes multibanda (Warda *et al.*, 2017, p. 85), y en la revisión de la bibliografía para este capítulo se observó una variabilidad significativa y, en algunos casos, la falta de información sobre el equipo, la adquisición de imágenes y el procesamiento.

Como comunidad, debemos proporcionar mejores metadatos y documentación detallada para la MBI en informes y publicaciones. Esto mejorará la forma en que

MBI metadata and documentation developed from Jones et al. (2020, p. 346). While Table 6 offers recommendations for overall documentation, this is more than what can be included for a publication. The highlighted green rows in Table 6 identify the information that is essential for publications.

Notable examples for documentation in publications that contribute significantly to reproducibility and serve as valuable resources for the community include: the reference tables in Chen and Smith (2020, p. 277), which provide details about lighting equipment and setup, filtration, image capture settings, image processing, and exposure parameters; the summary in Dyer et al. (2018, p. 10) which outlines imaging techniques alongside relevant information about radiation sources (manufacturer, model, filtration, number of sources, and wavelength range) and filters (manufacturer, model, and wavelength range); and Dyer et al. (2022, p. 2861), which compiles key observations and interpretations from the investigation (e.g., color in VIS; transparent/opaque properties in IR; color in IRFC; and the intensity and color of luminescence in UVL).

In addition to improved metadata and documentation, we need a better understanding of the equipment and imaging systems that we are using. The tables throughout this chapter show the wide range of equipment being used for multiband imaging, which illustrates the wide use and the flexibility of the imaging techniques. However, as repeatedly stated, this flexibility that encourages the wide use also impacts the reliability, accuracy, reproducibility, and comparability. Further research and testing of the equipment, including the characterization of modified cameras, irradiance measurements of radiation sources, and transmission measurements of filters, would enhance our understanding of the tools and their impact on the resulting imagery. This will need to be conducted by labs who have this equipment

podemos reproducir, comparar y reutilizar los datos, mejorando así la interpretación, la interoperabilidad y la difusión (Jones *et al.*, 2020, p. 340). La Tabla 6 incluye sugerencias para los metadatos y la documentación de MBI desarrolladas a partir de Jones *et al.* (2020, p. 346). Si bien la Tabla 6 ofrece recomendaciones para la documentación general, esto es más de lo que se puede incluir en una publicación. Las filas resaltadas en verde en la Tabla 6 identifican la información que es esencial para las publicaciones.

Entre los ejemplos destacados de documentación en publicaciones que contribuyen de manera significativa a la reproducibilidad y sirven como recursos valiosos para la comunidad se incluyen: las tablas de referencia de Chen y Smith (2020, p. 277), que proporcionan detalles sobre el equipo y la configuración de iluminación, la filtración, los ajustes de captura de imágenes, el procesamiento de imágenes y los parámetros de exposición; el resumen de Dyer et al. (2018, p. 10), que describe las técnicas de imagen junto con información relevante sobre las fuentes de radiación (fabricante, modelo, filtración, número de fuentes y rango de longitudes de onda) y los filtros (fabricante, modelo y rango de longitudes de onda); y Dyer *et al.* (2022, p. 2861), que recopila las observaciones e interpretaciones clave de la investigación (por ejemplo, el color en VIS; las propiedades transparentes/opacas en IR; el color en IRFC; y la intensidad y el color de la luminiscencia en UVL).

Además de mejorar los metadatos y la documentación, necesitamos comprender mejor los equipos y los sistemas de imagen que utilizamos. Las tablas que aparecen a lo largo de este capítulo muestran la amplia gama de equipos que se utilizan para la obtención de imágenes multibanda, lo que ilustra el amplio uso y la flexibilidad de las técnicas de imagen. Sin embargo, como se ha repetido en varias ocasiones, esta flexibilidad que fomenta el uso generalizado también repercute en la fiabilidad, la precisión, la reproducibilidad y la comparabilidad. Una mayor investigación y prueba de los equipos, incluida la caracterización

and these capabilities recognizing that this is not feasible for all heritage professionals to do on their own. A collaborative effort would be most effective to cover the range of cameras, filters, and radiation sources being used. The measurements and results would then need to be shared with the wider community either through open access publications or a shared database. A better understanding of the equipment through measurements and evaluation addresses a challenge with the standardization of multiband imaging that it may continue to evade. Multiband imaging is widely used because of its flexibility and the ability to use a range of equipment. Measurements allow us to better understand the equipment and how the variation in the equipment impacts the resulting imagery and thus best inform the interpretation of the results.

In conclusion, it is crucial to recognize and acknowledge the balance of accuracy, reliability, and access as they relate to multiband imaging (Webb, 2019). While the flexibility of these techniques contributes to their widespread use, it also introduces challenges regarding accuracy, reliability, reproducibility, and comparability. Enhancing these aspects is vital for conservation applications such as comparing images before, during, and after treatment; monitoring objects or collections over time; and comparing results of similar objects. However, some steps that improve these factors may increase the costs and complexity, potentially making the techniques less affordable and available. As MBI techniques continue to develop, it is essential to maintain this balance, acknowledging that flexibility is at the heart of multiband imaging, while also striving towards enhanced reproducibility and comparability.

de las cámaras modificadas, las mediciones de irradiancia de las fuentes de radiación y las mediciones de transmisión de los filtros, mejoraría nuestra comprensión de las herramientas y su impacto en las imágenes resultantes. Esto deberá ser realizado por laboratorios que cuenten con estos equipos y capacidades, reconociendo que no es factible que todos los profesionales del patrimonio lo hagan por su cuenta. Lo más eficaz sería realizar un esfuerzo colaborativo para abarcar toda la gama de cámaras, filtros y fuentes de radiación que se utilizan. A continuación, las mediciones y los resultados deberían compartirse con la comunidad en general, ya sea a través de publicaciones de acceso abierto o de una base de datos compartida. Una mejor comprensión del equipo mediante mediciones y evaluaciones aborda un reto con la estandarización de las imágenes multibanda que puede seguir eludiendo. La imagen multibanda se utiliza ampliamente debido a su flexibilidad y a la posibilidad de utilizar una amplia gama de equipos. Las mediciones nos permiten comprender mejor los equipos y cómo las variaciones en los mismos afectan a las imágenes resultantes, lo que nos permite interpretar mejor los resultados.

En conclusión, es fundamental reconocer y tener en cuenta el equilibrio entre la precisión, la fiabilidad y el acceso en lo que se refiere a la imagen multibanda (Webb, 2019). Si bien la flexibilidad de estas técnicas contribuye a su uso generalizado, también plantea retos en cuanto a la precisión, la fiabilidad, la reproducibilidad y la comparabilidad. Mejorar estos aspectos es vital para aplicaciones de conservación como la comparación de imágenes antes, durante y después del tratamiento; el seguimiento de objetos o colecciones a lo largo del tiempo; y la comparación de resultados de objetos similares. Sin embargo, algunas medidas que mejoran estos factores pueden aumentar los costes y la complejidad, lo que podría hacer que las técnicas sean menos asequibles y accesibles. A medida que las técnicas de MBI siguen desarrollándose, es esencial mantener este equilibrio, reconociendo que la flexibilidad es el núcleo de la imagen multibanda, al tiempo que se lucha por mejorar la reproducibilidad y la comparabilidad.

References | Bibliografía

Aguilar-Téllez, D. M., Ruvalcaba-Sil, J. L., Claes, P., & González-González, D. (2014). False Color and Infrared Imaging for the Identification of Pigments in Paintings. *MRS Proceedings*, *1618*, 3–15. https://doi.org/10.1557/opl.2014.451

Aldrovandi, A., Buzzegoli, E., Keller, A., & Kunzelman, D. (2005). Investigation of Painted Surfaces with a Reflected UV False Color Technique. *Art '05 - 8th International Conference on "Non Destructive Investigations and Microanalysis for the Diagnostics and Conservation of the Cultural and Environmental Heritage*, 1–19.

Barrantes-Madrigal, M. D., Zúñiga-Salas, T., Arce-Tucker, R. E., Chavarría-Sibaja, A., Sánchez-Solís, J., Mena-Vega, J., Acuña-Umaña, K., Gómez-Tencio, M., Wang-Qiu, K., Lizano-Sánchez, F., Marín-Cruz, C., & Herrera-Sancho, O. A. (2021). Revealing time's secrets at the National Theatre of Costa Rica via innovative software for cultural heritage research. *Scientific Reports*, *11*(1), 8560. https://doi.org/10.1038/s41598-021-88066-1

Beckett, F., & Shugar, A. (2022). Following the Light: Use of Multimodal Imaging and Fiber Optic Spectroscopy to Evaluate Aging in Daylight Fluorescent Artists' Pigments. *Colorants*, *1*(2), 208–225. https://doi.org/10.3390/colorants1020013

Billups, S. (n.d.). *Multispectral imaging smartphone camera*. Hackaday. Retrieved January 24, 2024, from https://hackaday.io/project/185259-multispectral-imaging-smartphone-camera

Billups, S. (2023). Modifying Smartphones for Multimodal Imaging. *2023 AIC General Sessions Postprints*, *2*, 105–115.

Bläuer, C., & Keller, A. T. (2020). Mainly red and a hidden blue – Laboratory and MSI investigations on the Carolingian wall paintings in the Chapel of the Holy Cross of Müstair (Switzerland). *Journal of Cultural Heritage*, *42*, 72–80. https://doi.org/10.1016/j.culher.2019.07.024

Bradley, L., Ford, J., Kriss, D., Schussler, V., Pozzi, F., Basso, E., & Bruno, L. (2020). Evaluating Multiband Reflectance Image Subtraction for the Characterization of Indigo in Romano-Egyptian Funerary Portraits. In M. Svoboda & C. R. Cartwright (Eds.), *Mummy Portraits of Roman Egypt: Emerging Research from the APPEAR Project* (1st ed.). Getty Publications. https://www.getty.edu/publications/mummyportraits/part-one/7/

Bridgeman, C. F., & Gibson, H. L. (1963). Infrared Luminescence in the Photographic Examination of Paintings and Other Art Objects. *Studies in Conservation*, *8*(3), 77–83.

Caine, M., & Magen, M. (2011, July 7). *Pixels & Parchment. The application of RTI and Infrared imaging to the Dead Sea Scrolls*. Electronic Visualisation adn the Arts (EVA), London.

Capturing High-Resolution 3D Documentation of a Diego Rivera Mural. (n.d.). Cultural Heritage Imaging. Retrieved January 21, 2024, from https://culturalheritageimaging.org/What_We_Do/Projects/rivera-mural/index.html

Castriota, B., & Serotta, A. (2011, April). Newsgram: News in brief from the Conservation Center (Institute of Fine Arts, New York University). *NewsGram: News in Brief from the Conservation Center*, *4*.

Chen, J. J. (2025). Considerations for Setting Up Technical Imaging with Modified UV-VIS-IR RGB Cameras: Tools and Equipment. In E. K. Webb, M. À. Herrero-Cortell, & M. Picollo (Eds.), *CONSERVATION 360°, Multiband Imaging Techniques with Silicon-Based Sensors* (Vol. 4). Editorial Universitat Politècnica de València.

Chen, J. J., & Smith, T. J. (2020). Documentation of Salted Paper Prints with a Modified Digital Camera. *Journal of the American Institute for Conservation*, *59*(3–4), 271–285. https://doi.org/10.1080/01971360.2019.1643527

Cimino, D., Marchioro, G., De Paolis, P., & Daffara, C. (2023). Evaluating the integration of Thermal Quasi-Reflectography in manuscript imaging diagnostic protocols to improve non-invasive materials investigation. *Journal of Cultural Heritage*, *62*, 72–77. https://doi.org/10.1016/j.culher.2023.04.009

Ciortan, I. M., Tinsae, G. D., Andrea, G., Ruggero, P., Alberto, J.-V., & Enrico, G. (2018). Artworks in the spotlight: Characterization with a multispectral LED dome. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *364*, 012025. https://doi.org/10.1088/1757-899X/364/1/012025

Ciortan, I. M., Giachetti, A., George, S., & Hardeberg, J. Y. (2021). Fluorescence transformation imaging. In R. Groves & H. Liang (Eds.), *Optics for Arts, Architecture, and Archaeology VIII* (p. 42). SPIE. https://doi.org/10.1117/12.2593651

Cosentino, A. (2013). A Practical Guide to Panoramic Multispectral Imaging. *E-Conservation*, *25*, 76–85.

Cosentino, A. (2014). Identification of pigments by multispectral imaging; a flowchart method. *Heritage Science*, *2*(1), 8. https://doi.org/10.1186/2050-7445-2-8

Cosentino, A. (2015). Practical notes on ultraviolet technical photography for art examination. *Conservar Património*, *21*, 53–62. https://doi.org/10.14568/cp2015006

Cosentino, A. (2016a). Infrared Technical Photography for Art Examination. *E-Preservation Science*, *13*, 1–6.

Cosentino, A. (2016b). Transmittance spectroscopy and transmitted multispectral imaging to map covered paints. *Conservar Património*, *24*, 37–45. https://doi.org/10.14568/cp2015021

Cosentino, A., & Stout, S. (2014). Photoshop and Multispectral Imaging for Art Documentation. *E-Preservation Science*, *11*, 91–98.

Cucci, C., Donell, S., Zucchini, E., Picollo, M., Stefani, L., & Lippi, D. (2024). Fifteenth century Florentine mural investigated in situ with VNIR Hyperspectral Imaging and NIR Photography supports interpretation as a bloodletting scene. *Scientific Reports*, *14*(1), 11698. https://doi.org/10.1038/s41598-024-58972-1

Cucci, C., Picollo, M., & Vervat, M. (2012). Trans-illumination and trans-irradiation with digital cameras: Potentials and limits of two imaging techniques used for the diagnostic investigation of paintings. *Journal of Cultural Heritage*, *13*(1), 83–88. https://doi.org/10.1016/j.culher.2011.07.002

Cucci, C., Webb, E. K., Casini, A., Ginanni, M., Prandi, E., Stefani, L., Vitorino, T., & Picollo, M. (2019). Short-wave infrared reflectance hyperspectral imaging for painting investigations: A methodological study. *Journal of the American Institute for Conservation*, *58*(1–2), 16–36. https://doi.org/10.1080/01971360.2018.1543102

Cupitt, J. (2013). *A nip2 workspace for technical imaging* [Dataset]. GitHub. https://github.com/BritishMuseum/bm-charisma

Daveri, A., Vagnini, M., Nucera, F., Azzarelli, M., Romani, A., & Clementi, C. (2016). Visible-induced luminescence imaging: A user-friendly method based on a system of interchangeable and tunable LED light sources. *Microchemical Journal*, *125*, 130–141. https://doi.org/10.1016/j.microc.2015.11.019

Davies, A. (2018). *Digital Ultraviolet and Infrared Photography*. Routledge.

Diego Rivera's San Francisco Masterpiece Virtual Preservation of "Pan American Unity." (n.d.). [Exhibit]. Stanford Libraries. Retrieved January 21, 2024, from https://exhibits.stanford.edu/rivera

Digital Lab Notebook. (n.d.). Cultural Heritage Imaging. Retrieved March 10, 2025, from https://culturalheritageimaging.org/Technologies/Digital_Lab_Notebook/

Dyer, J., Derham, A., O'Flynn, D., Tamburini, D., Heady, T., & Ramos, I. (2022). Studying Saraha: Technical and Multi-Analytical Investigation of the Painting Materials and Techniques in an 18th Century Tibetan Thangka. *Heritage*, *5*(4), 2851–2880. https://doi.org/10.3390/heritage5040148

Dyer, J., & Newman, N. (2020). Multispectral Imaging Techniques Applied to the Study of Romano-Egyptian Funerary Portraits at the British Museum. In M. Svoboda & C. R. Cartwright (Eds.), *Mummy Portraits of Roman Egypt: Emerging Research from the APPEAR Project* (1st ed.). Getty Publications. https://www.getty.edu/publications/mummyportraits/part-one/6/

Dyer, J., & Sotiropoulou, S. (2017). A technical step forward in the integration of visible-induced luminescence imaging methods for the study of ancient polychromy. *Heritage Science*, *5*(1), 24. https://doi.org/10.1186/s40494-017-0137-2

Dyer, J., Tamburini, D., O'Connell, E. R., & Harrison, A. (2018). A multispectral imaging approach integrated into the study of Late Antique textiles from Egypt. *PLOS ONE*, *13*(10), e0204699. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0204699

Dyer, J., Verri, G., & Cupitt, J. (2013). *Multispectral Imaging in Reflectance and Photo-induced Luminescence modes: A User Manual*. The British Museum.

Edwards, G., & Oey, M. (Eds.). (2018). *Digital Imaging Workflow for Treatment Documentation*. Library of Congress. https://www.loc.gov/preservation/resources/ImageDoc/index.html

Es Sebar, L., Lombardo, L., Buscaglia, P., Cavaleri, T., Lo Giudice, A., Re, A., Borla, M., Aicardi, S., & Grassini, S. (2023). 3D Multispectral Imaging for Cultural Heritage Preservation: The Case Study of a Wooden Sculpture of the Museo Egizio di Torino. *Heritage*, *6*(3), 2783–2795. https://doi.org/10.3390/heritage6030148

Falco, C. M. (2009). High resolution digital camera for infrared reflectography. *Review of Scientific Instruments*, *80*(7), 071301. https://doi.org/10.1063/1.3174431

Frank, E., Heath, S., & Stein, C. (2021). Integration of Photogrammetry, Reflectance Transformation Imaging (RTI), and Multiband Imaging (MBI) for Visualization, Documentation, and Analysis of Archaeological and Related Materials. *ISAW Papers*, *21*. https://dlib.nyu.edu/awdl/isaw/isaw-papers/21/

Fuster-López, L., Herrero-Cortell, M. A., Izzo, F. C., García-Castillo, A. M., Picollo, M., Cucci, C., & Martínez-López, M. (2023). Selective cracks: Mapping damage from pigment-medium interaction in three neoplasticist oil paintings. *Preprints of the 20th Triennial Conference of ICOM-CC València 2023*. ICOM-CC, Valencia.

Gabov, A., & Bevan, G. (2010, January 10). IRR RTI using the OSIRIS. *RTIiCAN's Blog*. https://rtiican.wordpress.com/2010/01/10/irr-rti-using-osiris/

Gargano, M., Longoni, M., Pesce, V., Palandri, M. C., Canepari, A., Ludwig, N., & Bruni, S. (2022). From Materials to Technique: A Complete Non-Invasive Investigation of a Group of Six Ukiyo-E Japanese Woodblock Prints of the Oriental Art Museum E. Chiossone (Genoa, Italy). *Sensors*, *22*(22), 8772. https://doi.org/10.3390/s22228772

Geffert, S. (2018). Establishing a Roadmap for Scene-Referred Raw Imaging Workflow. *Archiving Conference*, *15*(1), 105–109. https://doi.org/10.2352/issn.2168-3204.2018.1.0.23

Geffert, S. (2021, March 1). *Museum Imaging: Opportunities Through Standards* [American Institute of Conservation (AIC) Imaging Working Group (IWG)]. https://youtu.be/xNnlu0h4zDU?si=Q5Oe9WfRfhoAviR5

Geffert, S. (2023, May 19). *Standardization of Multiband Illumination for Conservation Documentation*. American Institute for Conservation (AIC) 51st Annual Meeting, Jacksonville, FL.

Geffert, S., & Heins, C. (2023). *Scene Referred Color Managed Image Capture Workflow (v 1.0, May 2023)*. The Metropolitan Museum of Art.

Geffert, S., Webb, E. K., Ruiz Molina, M., Kriss, D., & Suh, K. (2025). Standardization of Multiband Radiation for Conservation Documentation: Validation Phase for a Multichannel LED Prototype Fixture Created at The Metropolitan Museum of Art (Met MCLED). In E. K. Webb, M. À. Herrero-Cortell, & M. Picollo (Eds.), *Multiband Imaging Techniques with Silicon-Based Sensors* (Vol. 4). Universitat Politècnica de València.

Hameeuw, H. (2018). Imaging seals and coins with various light angles and spectra: Consequences for understanding and representing colour and relief. In K. Kelley & R. K. L. Wood (Eds.), *Digital Imaging of Artefacts: Developments in Methods and Aims* (pp. 101–118). Archaeopress Publishing Ltd. https://doi.org/10.2307/j.ctv1zckznq

Hameeuw, H., Vandermeulen, B., Watteeuw, L., Van Der Perre, A., Vanweddingen, V., & Proesmans, M. (2025). Integrating Multiband and Multi-Light Reflectance Imaging to Explore Heritage Artefacts. In E. K. Webb, M. Á. Herrero-Cortell, & M. Picollo (Eds.), *CONSERVATION 360°, Multiband Imaging Techniques with Silicon-Based Sensors* (Vol. 4). Editorial Universitat Politècnica de València.

Herrero-Cortell, M. A., Artoni, P., & Raïch, M. (2020). Transmitted light imaging in VIS and IR, in the study of paintings: A brief report on the behavior of the main historical pigments. *Cultura e Scienza Del Colore - Color Culture and Science Journal*, *12*(2), 79–88. https://doi.org/10.23738/CCSJ.120210

Herrero-Cortell, M. A., Raïch, M., Artoni, P., & Puig, I. (2018). Multi-band technical imaging in the research of the execution of paintings. The case study of the portrait of Carlos IV, by Francisco de Goya. *Ge-Conservación*, *14*, 5–15. https://doi.org/10.37558/gec.v14i1.583

Ioannides, M., Baker, D., Agapiou, A., & Siegkas, P. (Eds.). (2025). *3D Research Challenges in Cultural Heritage V: Paradata, Metadata and Data in Digitisation* (Vol. 15190). Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-78590-0

ISO 19264-1:2021 Photography-Archiving systems-Imaging systems quality analysis-Part 1: Reflective originals. (2021).

ISO/TR 19263-1:2017 Photography-Archiving systems- Part1: Best practices for digital imaging capture of cultural heritage material. (2017). https://www.iso.org/standard/64220.html

ITPC Releases Cultural Heritage Panel for Metadata Management. (2016, December 7). *IPTC Releases Cultural Heritage Panel for Metadata Management*. https://iptc.org/news/culturalheritagepanel/

Jones, C., Duffy, C., Gibson, A., & Terras, M. (2020). Understanding multispectral imaging of cultural heritage: Determining best practice in MSI analysis of historical artefacts. *Journal of Cultural Heritage*, *45*, 339–350. https://doi.org/10.1016/j.culher.2020.03.004

Kakoulli, I., Radpour, R., Lin, Y., Svoboda, M., & Fischer, C. (2017). Application of forensic photography for the detection and mapping of Egyptian blue and madder lake in Hellenistic polychrome terracottas based on their photophysical properties. *Dyes and Pigments*, *136*, 104–115. https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2016.08.030

Keller, A. T., Lenz, R., Artesani, A., Mosca, S., & Nevin, A. (2019). Exploring the Ultraviolet Induced Infrared Luminescence of Titanium White Pigments. In M. Picollo, M. Stols-Witlox, & L. Fuster López (Eds.), *UV-Vis Luminescence Imaging techniques* (Vol. 1, pp. 201–232). Editorial Universitat Politècnica de València.

Kitanovski, V., & Hardeberg, J. Y. (2021). Objective evaluation of relighting models on translucent materials from multispectral RTI images. *IS&T International Symposium on Electronic Imaging 2021*, *33*, 133-1-133–138. https://doi.org/10.2352/ISSN.2470-1173.2021.5.MAAP-133

Kolari Vision Lens Hotspot Database. (n.d.). Kolari Vision. Retrieved February 11, 2025, from https://kolarivision.com/lens-hotspot-list/?srsltid=AfmBOorwwaAOPkuXykYR1vZaOuAbff5eXHvN-VGx627el9l5BmeGIlbh

Kotoula, E. (2015). Reflectance Transformation Imaging Beyond the Visible: Ultraviolet Reflected and Ultraviolet Induced Visible Fluorescence. In S. Campana, R. Scopigno, G. Carpentiero, & M. Cirillo (Eds.), *Construction and comparison of 3d multi-source multi-band models for cultural heritage applications* (Vols. 1–2, pp. 909–918). Archaeopress Publishing Ltd.

Kotoula, E., & Earl, G. (2014a). Digital Research Strategies for Ancient Papyri: A Case Study on Mounted Fragments of the Derveni Papyrus. In F. Giligny, F. Djindjian, L. Costa, P. Moscati, & S. Robert (Eds.), *Proceedings of the 42nd Annual Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA) 2014*. Archaeopress Publishing Ltd.

Kotoula, E., & Earl, G. (2014b). Integrated RTI Approaches for the Study of Painted Surfaces. In F. Giligny, F. Djindjian, L. Costa, P. Moscati, & S. Robert (Eds.), *Proceedings of the 42nd Annual Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA) 2014*. Archaeopress Publishing Ltd.

Kriss, D., Schussler, V., Driscoll, E., Bradley, L., Ford, J., Pozzi, F., & Basso, E. (2023). Materials Characterization with Multiband Reflectance Imaging at the Brooklyn Museum: A New Tool for the Multiband Imaging Kit. *Journal of the American Institute for Conservation*, 1–18. https://doi.org/10.1080/01971360.2023.2168430

Kushel, D. A. (1985). Applications of Transmitted Infrared Radiation to the Examination of Artifacts. *Studies in Conservation*, *30*(1), 1–10. https://doi.org/10.2307/1506127

Lanteri, L., Agresti, G., & Pelosi, C. (2019). A New Practical Approach for 3D Documentation in Ultraviolet Fluorescence and Infrared Reflectography of Polychromatic Sculptures as Fundamental Step in Restoration. *Heritage*, *2*(1), 207–215. https://doi.org/10.3390/heritage2010015

MacDonald-Korth, E. (2023). Technical Imaging for Private Practice Conservators. *Journal of the American Institute for Conservation*, 1–14. https://doi.org/10.1080/01971360.2022.2161865

Mairinger, F. (2000). The Ultraviolet and Fluorescence Study of Paintings and Manuscripts. In D. C. Creagh & D. A. Bradley (Eds.), *Radiation in Art and Archeometry* (pp. 56–75). Elsevier.

Mathys, A., Jadinon, R., & Hallot, P. (2019). Exploiting 3D Multispectral Texture for a Better Feature Identification for Cultural Heritage. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, *IV-2/W6*, 91–97. https://doi.org/10.5194/isprs-annals-IV-2-W6-91-2019

Mayberger, E., Arista, J., Svoboda, M., & Gleeson, M. (2020). Invisible Brushstrokes Revealed: Technical Imaging and Research of Romano-Egyptian Mummy Protraits. In M. Svoboda & C. R. Cartwright (Eds.), *Mummy Portraits of Roman Egypt: Emerging Research from the APPEAR Project* (1st ed., pp. 79–89). Getty Publications. https://www.getty.edu/publications/mummyportraits/.

McGlinchey Sexton, J. (2018, August 30). *Test Panels and UV/Vis Documentation*. Mountain States Art Conservation. https://www.msaconservation.com/post/test-panels-and-uv-vis-documentation

Molacek, E. M., Smith, K., Eremin, K., Cooper, L. J., & Rayner, G. (2020). Re-Discovering a Roman Wall Painting at Harvard: New Research on a Fragment from the Villa at Boscotrecase. *Studies in Conservation*, *65*(5), 296–311. https://doi.org/10.1080/00393630.2020.1733789

Mudge, M., & Schroer, C. (2025). Digital Representations of Cultural Heritage: Enabling the Quality to Speak for Itself. In M. Ioannides, D. Baker, A. Agapiou, & P. Siegkas (Eds.), *3D Research Challenges in Cultural Heritage V: Paradata, Metadata and Data in Digitisation* (pp. 52–62). Springer. https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-031-78590-0

Nocerino, E., Rieke-Zapp, D. H., Trinkl, E., Rosenbauer, R., Farella, E. M., Morabito, D., & Remondino, F. (2018). Mapping VIS AND UVL Imagery on 3D Geometry for Non-Invasive, Non-Contact Analysis of a Vase. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, *XLII–2*, 773–780. https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-773-2018

Pearlstein, E., Hughs, M., Mazurek, J., McGraw, K., Pesme, C., Riedler, R., & Gleeson, M. (2015). Ultraviolet-Induced Visible Fluorescence and Chemical Analysis as Tools for Examining Featherwork. *Journal of the American Institute for Conservation*, *54*(3), 149–167. https://doi.org/10.1179/1945233015Y.0000000010

Piquette, K. E. (2017). Illuminating the Herculaneum Papyri: Testing new imaging techniques on unrolled carbonised manuscript fragments. *Digital Classics Online*, *3*(2), 80–102. https://doi.org/10.11588/dco.2017.0.39417

Pottier, F., Michelin, A., & Robinet, L. (2019). Recovering illegible writings in fire-damaged medieval manuscripts through data treatment of UV-fluorescence photography. *Journal of Cultural Heritage*, *36*, 183–190. https://doi.org/10.1016/j.culher.2018.08.012

Pozeilov, Y. (2023). A Simple Ultraviolet-induced Visible Fluorescence Target or a Low Cost Alternative to a Spectralon. *Archiving 2023: Final Program and Proceedings*, *20*, 116–120. https://doi.org/10.2352/issn.2168-3204.2023.20.1.25

Pozeilov, Y., & Webb, E. K. (2025). Introduction to Multiband Imaging Techniques. In E. K. Webb, M. Á. Herrero-Cortell, & M. Picollo (Eds.), *CONSERVATION 360°, Multiband Imaging Techniques with Silicon-Based Sensors* (Vol. 4). Editorial Universitat Politècnica de València.

Radlo-Dzur, A. S., Cooley, M., Kaplan, E., Bright, L., Webb, E. K., Haude, M. E., Villafana, T., & Satorius, A. K. (2021). The Tira of Don Martín. *Latin American and Latinx Visual Culture*, *3*(3), 7–37. https://doi.org/10.1525/lavc.2021.3.3.7

Radpour, R., Fischer, C., & Kakoulli, I. (2021). A 3D modeling workflow to map ultraviolet- and visible-induced luminescent materials on ancient polychrome artifacts. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, *23*, e00205. https://doi.org/10.1016/j.daach.2021.e00205

Rahrig, M., Herrero Cortell, M. Á., & Lerma, J. L. (2023). Multiband Photogrammetry and Hybrid Image Analysis for the Investigation of a Wall Painting by Paolo de San Leocadio and Francesco Pagano in the Cathedral of Valencia. *Sensors*, *23*(4), 2301. https://doi.org/10.3390/s23042301

Raïch, M., Artoni, P., Bertelli, P., Puig, I., & Herrero-Cortell, M. À. (2025). Exploring the Possibilities of False Color Infrared Transmission Imaging. In E. K. Webb, M. Á. Herrero Cortell, & M. Picollo (Eds.), *CONSERVATION 360°, Multiband Imaging Techniques with Silicon-Based Sensors* (Vol. 4). Editorial Universitat Politècnica de València.

Ravines, P., Baum, K. G., Cox, N. A., Welch, S., & Helguera, M. (2014). Multimodality Imaging of Daguerreotypes and Development of a Registration Program for Image Evaluation. *Journal of the American Institute for Conservation*, *53*(1), 19–32. https://doi.org/10.1179/1945233013Y.0000000014

Rieger, T., Phelps, K. A., Beckerle, H., Brown, T., Frederick, R., Mitrani, S., Breen, P., Breitbart, M., Williams, D., Triplett, R., & Horsley, M. (Eds.). (2023). *Technical Guidelines for Digitizing Cultural Heritage Materials, Third Edition*. Federal Agencies Digital Guidelines Initiative. https://www.digitizationguidelines.gov/guidelines/digitize-technical.html

Roberts, C. (2020). Green Pigments: Exploring Changes in the Egyptian Color Palette through the Technical Study of Roman-Period Mummy Shrouds. In M. Svoboda & C. R. Cartwright (Eds.), *Mummy Portraits of Roman Egypt: Emerging Research from the APPEAR Project* (1st ed., pp. 34–45). Getty Publications. https://www.getty.edu/publications/mummyportraits/.

Rose, W., & Kerr, A. (2025). Supporting Museum Conservation through Multiband Photogrammetry: A Case Study of the *Uprising of the Mujeres* Mural. In E. K. Webb, M. Á. Herrero-Cortell, & M. Picollo (Eds.), *CONSERVATION 360°, Multiband Imaging Techniques with Silicon-Based Sensors* (Vol. 4). Editorial Universitat Politècnica de València.

Salvant, J., Walton, M., Kronkright, D., Yeh, C.-K., Li, F., Cossairt, O., & Katsaggelos, A. K. (2019). Photometric Stereo by UV-Induced Fluorescence to Detect Protrusions on Georgia O'Keeffe's Paintings. In F. Casadio, K. Keune, P. Noble, A. Van Loon, E. Hendriks, S. A. Centeno, & G. Osmond (Eds.), *Metal Soaps in Art* (pp. 375–391). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-90617-1_22

Sharma, R. (2025). Multiband IR Reflectance and Luminescence Imaging: Seeing in IR to study hand-coloured photographs. In E. K. Webb, M. Á. Herrero-Cortell, & M. Picollo (Eds.), *CONSERVATION 360°, Multiband Imaging Techniques with Silicon-Based Sensors* (Vol. 4). Editorial Universitat Politècnica de València.

Sketchfab 3D Model "Ramesse II - Multiband Imaging." (2024). Centro Conservazione Restauro "La Venaria Reale." https://skfb.ly/puFEp

Svoboda, M. (2024, February 2). *APPEAR Project and Multiband Imaging* [Personal communication].

Svoboda, M., & Cartwright, C. R. (Eds.). (2020). *Mummy Portraits of Roman Egypt: Emerging Research from the APPEAR Project* (1st ed.). Getty Publications. https://www.getty.edu/publications/mummyportraits/

Tamburini, D., & Dyer, J. (2019). Fibre optic reflectance spectroscopy and multispectral imaging for the non-invasive investigation of Asian colourants in Chinese textiles from Dunhuang (7th-10th century AD). *Dyes and Pigments*, *162*, 494–511. https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2018.10.054

Tamburini, D., Dyer, J., Vandenbeusch, M., Borla, M., Angelici, D., Aceto, M., Oliva, C., Facchetti, F., Aicardi, S., Davit, P., & Gulmini, M. (2021). A multi-scalar investigation of the colouring materials used in textile wrappings of Egyptian votive animal mummies. *Heritage Science*, *9*(1), 106. https://doi.org/10.1186/s40494-021-00585-2

Thiboutot, G. (2020). Egyptian Blue in Romano-Egyptian Mummy Portraits. In M. Svoboda & C. R. Cartwright (Eds.), *Mummy Portraits of Roman Egypt: Emerging Research from the APPEAR Project* (1st ed., pp. 46–53). Getty Publications. https://www.getty.edu/publications/mummyportraits/

Titubante, M., Marconi, C., Citiulo, L., Mosca Conte, A., Mazzuca, C., Petrucci, F., Pulci, O., Tumiati, M., Wang, S., Micheli, L., & Missori, M. (2022). Analysis and diagnosis of the state of conservation and restoration of paper-based artifacts: A non-invasive approach. *Journal of Cultural Heritage*, *55*, 290–299. https://doi.org/10.1016/j.culher.2022.04.003

Tragni, C. B., Chen, J. J., & Kushel, D. (2005). *The Use of Ultraviolet-Induced Visible Fluorescence for Examination of Photographs* [Advanced Residency Program in Photograph Conservation]. George Eastman Museum & Image Permanance Institute. https://www.eastman.org/advanced-residency-program-photograph-conservation-capstone-research-projects

Verri, G. (2008). The Use and Distribution of Egyptian Blue: A Study by Visible-Induced Luminescence Imaging. In A. Middleton & K. Uprichard (Eds.), *The Nebamun Wall Paintings: Conservation, Scientific Analysis and Display at the British Museum* (pp. 41–50). Archaeopress Publishing Ltd.

Verri, G. (2009). The application of visible-induced luminescence imaging to the examination of museum objects. In L. Pezzati & R. Salimbeni (Eds.), *SPIE 7391, O3A: Optics for Arts, Architecture, and Archaeology II* (Vol. 7391, pp. 739105-1–12). SPIE. https://doi.org/10.1117/12.827331

Verri, G. (2019). Broad-band, photo-induced, steady-state luminescence imaging in practice. In M. Picollo, M. Stols-Witlox, & L. Fuster López (Eds.), *UV-Vis Luminescence Imaging Techniques* (Vol. 1, pp. 61–102). Editorial Universitat Politècnica de València. https://doi.org/10.4995/360.2019.110002

Verri, G., & Saunders, D. (2014). Xenon flash for reflectance and luminescence (multispectral) imaging in cultural heritage applications. *Technical Research Bulletin*, *8*, 83–92.

Warda, J., Frey, F., Heller, D., Kushel, D., Vitale, T., & Weaver, G. (2017). *The AIC Guide to Digital Photography and Conservation Documentation* (J. Warda, Ed.; 3rd ed.). American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works.

Webb, E. K. (2017). Reflected Infrared and 3D Imaging for Object Documentation. *Journal of the American Institute for Conservation*, *56*(3–4), 211–224. https://doi.org/10.1080/01971360.2017.1359463

Webb, E. K. (2019). UV-Induced Visible Luminescence for Conservation Documentation. In M. Picollo, M. Stols-Witlox, & L. Fuster López (Eds.), *UV-Vis Luminescence Imaging Techniques* (Vol. 1, pp. 35–60). Universitat Politècnica de València. https://doi.org/10.4995/360.2019.110002

Webb, E. K., Summerour, R., & Giaccai, J. (2014). A Case Study Using Multiband and Hyperspectral Imaging for the Identification and Characterization of Materials on Archaeological Andean Painted Textiles. In R. Summerour & C. Zaret (Eds.), *The Textile Specialty Group Postprints* (Vol. 24, pp. 23–36). American Institute of Conservation.

Webb, E. K., Robson, S., Evans, R., & O'Connor, A. (2023). Wavelength Selection Using a Modified Camera to Improve Image-Based 3D Reconstruction of Heritage Objects. *Journal of the American Institute for Conservation*, *62*(2), 111–128. https://doi.org/10.1080/01971360.2022.2111501

Webb, E. K., Herrero-Cortell, M. A., & Picollo, M. (2025). Notes on terminology. In Herrero-Cortell, M.A., Webb, E.K, & Picollo, M. (eds.). (2025). *Multiband imaging techniques. Conservation 360°*, (Vol. 4, pp. 56-83). Universitat Politècnica de València.

Wiseman, G., Barnes, S., & Helwig, K. (2023). Investigation of Egyptian Blue on a Fragmentary Egyptian Head Using ER-FTIR Spectroscopy and VIL Imaging. *Heritage*, *6*(2), 993–1006. https://doi.org/10.3390/heritage6020056

An example of setup of tools and equipment used for various imaging techniques with a modified UV-VIS-IR RGB DSLR camera in a copy stand configuration. The goal is to establish a consistent setup using as few tools as possible to improve the efficiency of image capture process. Three pairs of lights are used for all the techniques except the transmitted light technique. As few as six filters are sufficient to cover all the techniques described in this chapter. Note: the 2nd filter set from the left consists of two filters mounted together, and the light in the upper right was turned towards the viewer to demonstrate that this pair of lights was filtered with an IR blocking filter to produce IR-free visible light.

Ejemplo de montaje de herramientas y equipamiento utilizados para diversas técnicas de imagen con una cámara DSLR RGB modificada para UV–VIS–IR, en configuración de copy stand. *El objetivo es establecer una disposición consistente utilizando el menor número posible de herramientas, con el fin de mejorar la eficiencia del proceso de captura de imágenes. Se emplean tres pares de luces para todas las técnicas, excepto para la técnica de luz transmitida. Con solo seis filtros es suficiente para cubrir todas las técnicas descritas en este capítulo. Nota: el segundo juego de filtros por la izquierda consiste en dos filtros montados juntos, y la luz situada en la parte superior derecha se orientó hacia el espectador para mostrar que este par de luces estaba filtrado con un filtro bloqueador de IR, produciendo así luz visible libre de infrarrojo.*

CONSIDERATIONS FOR SETTING UP TECHNICAL IMAGING WITH MODIFIED UV-VIS-IR RGB CAMERAS; TOOLS AND EQUIPMENT

CONSIDERACIONES PARA LA CREACIÓN DE IMÁGENES TÉCNICAS CON CÁMARAS UV-VIS-IR RGB MODIFICADAS; HERRAMIENTAS Y EQUIPOS

Jiuan Jiuan Chen
SUNY Buffalo State University, United States
chenj@buffalostate.edu

Introduction

A modified UV-VIS-IR color digital camera refers to a standard RGB camera with a silicon-based sensor (CCD or CMOS) originally only sensitive to visible light that has been modified to restore its transmission spectrum from about 350 nm to 1000 nm, encompassing longwave ultraviolet radiation (UVA), visible light (VIS), and infrared radiation (IR). This type of modification involves removing the IR cut-off filter from its sensor package and replacing it with a clear optical glass to maintain the same focal plane. The RGB filter array remains intact, and the resulting sensitivity is determined by the transmission curve of each of the three filters, as seen in gray region including the dotted area in Figure 1. Because it uses the full sensitivity wavelength range

Introducción

Por cámara digital en color UV-VIS-IR modificada se entiende una cámara RGB estándar con un sensor basado en silicio (CCD o CMOS) originalmente sensible sólo a la luz visible que se ha modificado para aprovechar el rendimiento completo de su espectro de transmisión de unos 350 nm a 1000 nm, abarcando la radiación ultravioleta de onda larga (UVA), la luz visible (VIS) y la radiación infrarroja (IR). Este tipo de modificación consiste en retirar el filtro de corte IR, situado delante del sensor y sustituirlo por un cristal óptico transparente para mantener el mismo plano focal. La matriz de filtros RGB permanece intacta, y la sensibilidad resultante viene determinada por la curva de transmisión de cada uno de los tres filtros, como se ve en la región gris que incluye la zona punteada en la Figura 1. Dado que utiliza toda la gama de longitudes de onda de

of the silicon-based sensors, albeit not with the same transmission percentage due to attenuation by the RGB filter array, this type of modified camera is also known as a full-spectrum color camera.

Imaging techniques with modified UV-VIS-IR color cameras encompass the capture of reflectance, luminescence, or transmission of wavelengths between about 350 nm and 1000 nm. Commonly employed techniques include various visible light methods, including normal, raking, specular, and transmitted illumination; reflected longwave ultraviolet (reflected UVA, RUVA); reflected near infrared (reflected IR, RIR); ultraviolet-induced visible luminescence (UV-VL); visible-induced IR luminescence (V-IL); and transmitted IR (TIR). Both shortwave ultraviolet (UVC) and longwave ultraviolet radiation have been used as the excitation sources to induce visible luminescence, abbreviated UVC-VL and UVA-VL hereafter. Using UVA as the excitation source to induce IR luminescence (UVA-IL) is less practiced but has great potential to discover materials exhibiting this phenomenon (Keller et al., 2019). These techniques focus on capturing wavelengths within the energy band of UVA, visible, and near IR regions, constituting broadband capture. Some of these techniques can also be used for computational photography, such as reflectance transforming imaging (RTI) and photogrammetry (Webb et al., 2023).

A modified UV-VIS-IR color camera has the capacity to capture discrete narrowband wavelengths by using narrow band-passing filters of specific wavelengths, thereby constituting narrowband capture. While this method serves specific purposes (Webb et al., 2014), it is generally not regularly practiced for conservation projects. This paper focuses solely on the broadband capture which provides a survey-like outcome by recording responses across the entire sensitivity spectrum of the camera.

sensibilidad de los sensores basados en silicio —aunque no con el mismo porcentaje de transmisión debido a la atenuación por la matriz de filtros RGB— este tipo de cámara modificada también se conoce como cámara en color de espectro completo.

Las técnicas de obtención de imágenes con cámaras en color UV-VIS-IR modificadas abarcan la captura de reflectancia, luminiscencia o transmisión de longitudes de onda comprendidas entre 350 nm y 1000 nm aproximadamente. Entre las técnicas empleadas habitualmente se incluyen varios métodos de luz visible, como la iluminación normal, rasante, especular y transmitida; el ultravioleta de onda larga reflejado (UVA reflejado, RUVA); el infrarrojo cercano reflejado (IR reflejado, RIR); la luminiscencia visible inducida por ultravioleta (UV-VL); la luminiscencia IR inducida por visible (V-IL); y el IR transmitido (TIR). Tanto la radiación ultravioleta de onda corta (UVC) como la ultravioleta de onda larga se han utilizado como fuentes de excitación para inducir la luminiscencia visible, abreviadas UVC-VL y UVA-VL en lo sucesivo. El uso de UVA como fuente de excitación para inducir luminiscencia IR (UVA-IL) es menos practicado pero tiene un gran potencial para descubrir materiales que presenten este fenómeno (Keller *et al.*, 2019). Estas técnicas se centran en la captura de longitudes de onda dentro de la banda de energía de las regiones UVA, visible e IR cercano, constituyendo una captura de banda ancha. Algunas de estas técnicas también pueden utilizarse para la fotografía computacional, como las imágenes por transformación de reflectancia (RTI) y la fotogrametría (Webb *et al.*, 2023).

Una cámara en color UV-VIS-IR modificada tiene la capacidad de capturar longitudes de onda discretas de banda estrecha mediante el uso de filtros de paso de banda estrecha de longitudes de onda específicas, constituyendo así la captura de banda estrecha. Aunque este método sirve para fines específicos (Webb *et al.*, 2014), por lo general no se practica con regularidad en proyectos de conservación. Este documento se centra únicamente en la captura de banda ancha, que proporciona un resultado similar al

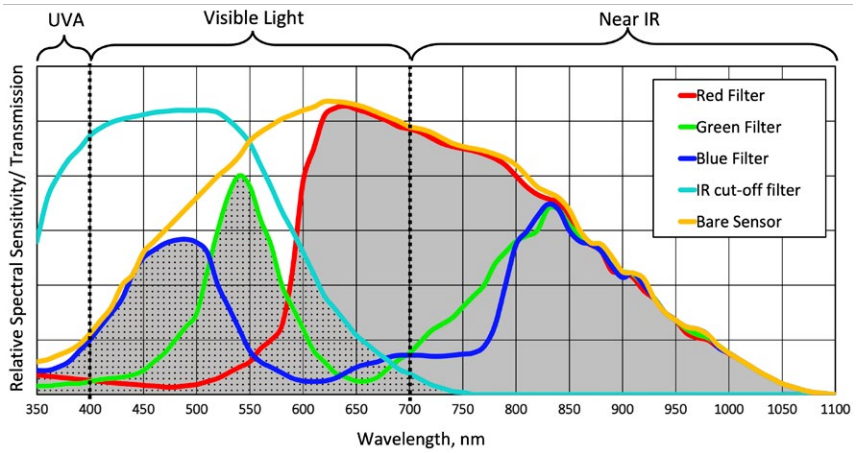


Figure 1 | Schematic diagram of digital sensor spectral responses. The bare CMOS sensor has the sensitivity within yellow curve. The dotted area presents the sensitivity of a regular CMOS camera, which mainly visible light. The grey region, including the dotted area, denotes the sensitivity of a modified UV-VIS-IR RGB color camera. The diagram was created with the assistance of Dawn Rogala.

Figura 1 | Diagrama esquemático de las respuestas espectrales de un sensor digital. El sensor CMOS desnudo presenta la sensibilidad indicada por la curva amarilla. El área punteada muestra la sensibilidad de una cámara CMOS convencional, que abarca principalmente la luz visible. La región en gris, que incluye el área punteada, representa la sensibilidad de una cámara RGB modificada UV–VIS–IR. El diagrama fue elaborado con la ayuda de Dawn Rogala.

Arguably, broadband capture should be considered as the initial step of conservation imaging when investigating the materials under study.

Many resources are available to provide guides for broadband capture. The early publications by Kodak Eastman Company are still excellent resources to understand the principle and application of RIR, V-IL and UVA-VL techniques (Gibson, 1978; Eastman Kodak Company, 1972a, 1972b, 1981 2nd edition). The first comprehensive literature dedicated to conservation documentation "Photodocumentation for Conservation: Procedural Guidelines and Photographic Concepts and Techniques" by Kushel was published after the presentation of the subject during the annual meeting of the American Institute for Conservation (AIC) in 1980 (Kushel, 1980). Though tools and photography technology have changed, some guidelines and concepts outlined by Kushel remain applicable

de una encuesta al registrar respuestas en todo el espectro de sensibilidad de la cámara. Podría decirse que la captura de banda ancha debería considerarse el paso inicial de la obtención de imágenes de conservación cuando se investigan los materiales del objeto bajo estudio.

Hay muchos recursos disponibles para proporcionar guías para la captura de banda ancha. Las primeras publicaciones de Kodak Eastman Company siguen siendo excelentes recursos para comprender el principio y la aplicación de las técnicas RIR, V-IL y UVA-VL (Gibson, 1978; Eastman Kodak Company, 1972a, 1972b, 1981 2ª edición). La primera bibliografía exhaustiva dedicada a la documentación para la conservación "Photodocumentation for Conservation: Procedural Guidelines and Photographic Concepts and Techniques" de Kushel se publicó tras la presentación del tema durante la reunión anual del American Institute for Conservation (AIC) en 1980 (Kushel, 1980). Aunque las herramientas y la tecnología fotográfica han cambiado, algunas directrices y conceptos esbozados por

and have updated and expanded, resulting in seminal publication "The Guide to Digital Photography and Conservation Documentation" which details all aspects of conservation documentation (Warda et al., 2011). "Multispectral Imaging in Reflectance and Photo-Induced Luminescence Modes: A User Manual" is another influential work that provides information from tool selection, to setup, image capture and processing, and has been adapted by many internationally (Dyer et al., 2013).

In addition to the two seminal publications mentioned above, many other works also influence the current practices adopted by the author, particularly in the aspects regarding UV and IR photography. Austin Richards provides the fascinating insights into the use of reflected UV techniques (Richards, 2001). The resources compiled by Williams in 2002 under "Medical and Scientific Photography" offer valuable technical information on lights and radiation sources and filtration. They are fortunately still accessible online (Willams & Willams, 2002). Andrew Davidhazy summarized the practical use of infrared and ultraviolet photography through his teaching and practice in technical photography (Davidhazy, 2006, 2008). Cosentino shared the tools he employed for various imaging techniques for the aides of identifying pigments (Cosentino, 2014). Recent work by Davies and Crowther are also rich resources on how to capture the fascination world with the invisible spectrum (Davies, 2018; Davies & Crowther, 2020). The first volume of the Conservation 360° series, *UV-Vis Imaging Techniques*, has several articles that are excellent resources in regarding what tools have been used for imaging techniques with UV sources (Webb, 2019; Verri, 2019; Keller et al., 2019).

Internet resources on the tools for invisible spectrum photography are also abundant (see Resources section). For instance, the workflow shared by the

Kushel siguen siendo aplicables y se han actualizado y ampliado, dando lugar a la publicación seminal "The Guide to Digital Photography and Conservation Documentation", que detalla todos los aspectos de la documentación de la conservación (Warda *et al*., 2011). "Multispectral Imaging in Reflectance and Photo-Induced Luminescence Modes: A User Manual" es otra obra influyente que proporciona información desde la selección de herramientas y configuración hasta la captura de imágenes y el procesamiento, y ha sido adaptada por muchos a nivel internacional (Dyer *et al*., 2013).

Además de las dos publicaciones seminales mencionadas, muchas otras obras también influyen en las prácticas actuales adoptadas por diversos autores, sobre todo en los aspectos relativos a la fotografía UV e IR. Austin Richards ofrece una visión fascinante del uso de las técnicas de UV reflejado (Richards, 2001). Los recursos recopilados por Williams en 2002 bajo el epígrafe "Fotografía médica y científica" ofrecen valiosa información técnica sobre luces y fuentes de radiación y filtración. Afortunadamente, todavía están accesibles en línea (Willams y Willams, 2002). Andrew Davidhazy resumió el uso práctico de la fotografía infrarroja y ultravioleta a través de su enseñanza y práctica en fotografía técnica (Davidhazy, 2006, 2008). Cosentino compartió las herramientas que empleó para diversas técnicas de imagen con el fin de ayudar a identificar pigmentos (Cosentino, 2014). Los trabajos recientes de Davies y Crowther también son ricos recursos sobre cómo captar el mundo de la fascinación por el espectro invisible (Davies, 2018; Davies y Crowther, 2020). El primer volumen de la serie Conservation 360°, *UV-Vis Imaging Techniques*, tiene varios artículos que son excelentes recursos en cuanto a qué herramientas se han utilizado para las técnicas de obtención de imágenes con fuentes UV (Webb, 2019; Verri, 2019; Keller *et al*., 2019).

Los recursos de Internet sobre las herramientas para la fotografía del espectro invisible también son abundantes (véase la sección Recursos). Por ejemplo, el flujo de trabajo compartido por la División de Conservación de la Biblioteca

Conservation Division at the Library of Congress and the Wiki page of AIC's Imaging Working Group (Edwards & Oey, 2018; Imaging Working Group, 2024) present tools used for broadband capture. Studies compiled in this Conservation 360 º volume also include imaging tools used for different studies. A recent publication by MacDonald-Korth presents practical guides and solutions for conservators in private practice to carry out several imaging techniques with modified UV-VIS-IR DSLR color cameras (MacDonald-Korth, 2023).

This paper focuses on the key considerations for selecting essential tools and equipment for full-spectrum broadband capture, including cameras, image capture and processing software, filters, lights and radiation sources, photography backgrounds, and reference targets. These deliberations are based on clinical experiences and tests conducted to establish imaging studios for teaching emerging conservators. It is inevitable that this work will address similar, if not the same, aspects about tools and equipment found in published literature, available online resources, and presented work. The repetition only serves to underscore their importance.

The guiding principles behind these considerations revolve around the critical elements that distinguish conservation imaging from general photography: creating credible images and ensuring consistency. Images serving conservation purposes are vital documentation of artifacts under study. The image content should achieve a high degree of accuracy or credibility to avoid misinterpretation or misrepresentation. Conservation projects also rely on image comparisons among artifacts or images of the same artifact recorded at a different time. A high degree of consistency will provide meaningful comparisons.

del Congreso y la página Wiki del Imaging Working Group de la AIC (Edwards y Oey, 2018; Imaging Working Group, 2024) presentan herramientas utilizadas para la captura de banda ancha. Los textos recopilados en este volumen de Conservation 360º también incluyen herramientas de captura de imágenes utilizadas para diferentes estudios. Una publicación reciente de MacDonald-Korth presenta guías prácticas y soluciones para que los conservadores de la práctica privada lleven a cabo varias técnicas de obtención de imágenes con cámaras DSLR en color UV-VIS-IR modificadas (MacDonald-Korth, 2023).

Este capítulo se centra en las consideraciones clave para la selección de herramientas y equipos esenciales para la captura de banda ancha de espectro completo, incluidas las cámaras, el software de captura y procesamiento de imágenes, los filtros, las luces y las fuentes de radiación, los fondos fotográficos y las cartas de referencia. Estas deliberaciones se basan en experiencias de laboratorio y pruebas realizadas para establecer estudios de imagen para la formación de conservadores emergentes. Es inevitable que este trabajo aborde aspectos similares, si no los mismos, sobre herramientas y equipos que se encuentran en la bibliografía publicada, los recursos disponibles en línea y los trabajos presentados. La repetición sirve, en definitiva, para subrayar su importancia.

Los principios que rigen estas consideraciones giran en torno a los elementos críticos que distinguen las imágenes de conservación de la fotografía general: crear imágenes creíbles y garantizar la coherencia. Las imágenes con fines de conservación son una documentación vital de los objetos patrimoniales, sujetos a estudio. El contenido de la imagen debe alcanzar un alto grado de precisión o credibilidad para evitar interpretaciones o representaciones erróneas. Los proyectos de conservación también dependen de comparaciones de imágenes entre distintas piezas o entre imágenes de una misma obra registradas en momentos diferentes. Un alto grado de consistencia permitirá obtener comparaciones significativas.

To achieve both principles, tools and equipment should facilitate standardized and streamlined workflows, avoiding those that require complex or time-consuming operations. The following discussions will tackle which factors to consider when selecting tools to best uphold both principles. They include: prioritizing critical factors over others, exploring potential workarounds, and conducting practical tests to identify issues and find suitable solutions. The author intends to offer arguments and resources to assist individuals in selecting the discussed tools and equipment tailored to their needs within their constraints. Rather than focusing on providing set solutions, the author hopes that some arguments, if not all, will remain relevant through technological advancements.

Large equipment supporting artifacts, cameras, and lights are critical for maintaining a consistent imaging workflow. However, their selection is often determined by factors such as price and the specific purpose of the setup. These considerations, therefore, will not be addressed in this paper.

Camera and Modification

The rise of CMOS image sensers in the silicon-based sensor market has led to a nearly total shift in camera manufacturing (Allied Vision, 2024). While CCD sensors were once recognized for their ability to produce high quality low-noise images, significant advancements in CMOS image sensor technology have driven its widespread adoption in consumer and professional cameras. Besides being widely available, CMOS cameras surpass CCD counterparts in data readout speed, resulting in better live view performance, which is particularly beneficial for full spectral imaging requiring precise live view focusing.

Para cumplir ambos principios, las herramientas y los equipos deben facilitar flujos de trabajo estandarizados y racionalizados, evitando los que requieren operaciones complejas o lentas. A continuación se abordarán los factores que deben tenerse en cuenta a la hora de seleccionar las herramientas que mejor se adapten a ambos principios. Entre ellos se incluyen: dar prioridad a los factores críticos sobre los demás; explorar posibles soluciones alternativas y realizar pruebas prácticas para identificar problemas y encontrar soluciones adecuadas. Se pretende ofrecer argumentos y recursos que ayuden a las personas a seleccionar las herramientas y equipos comentados, adaptados a sus necesidades y dentro de sus limitaciones. En lugar de centrarse en ofrecer soluciones fijas, se espera que algunos argumentos, si no todos, sigan quedando abiertos, en función de los avances tecnológicos

El equipamiento auxiliar de gran formato destinado a sostener obras/objetos, cámaras y sistemas de iluminación es fundamental para mantener un flujo de trabajo de imagen consistente. Sin embargo, su selección suele venir determinada por factores como el precio y la finalidad específica del montaje. Por ello, estas consideraciones no se abordarán en este artículo.

Cámara y modificación

El auge de los sensores de imagen CMOS en el mercado de los sensores de silicio ha provocado un cambio casi total en la fabricación de cámaras (Allied Vision, 2024). Mientras que los sensores CCD fueron reconocidos en su día por su capacidad para producir imágenes de alta calidad y bajo ruido, los importantes avances en la tecnología de sensores de imagen CMOS han impulsado su adopción generalizada en cámaras de consumo y profesionales. Además de estar ampliamente disponibles, las cámaras CMOS superan a sus homólogas CCD en velocidad de lectura de datos, lo que se traduce en un mejor rendimiento de la visión en directo, lo que resulta especialmente beneficioso para las imágenes

Not all CMOS cameras are easily convertible into UV-VIS-IR full-spectrum color cameras. Generally, digital single lens reflex (DSLR) and mirrorless cameras are more suitable for modification due to the accessibility of their sensor package components, unlike point-and-shoot or smartphone models. In addition, these camera types produce raw format files, granting users greater control over post-capture image processing and ensuring repeatable processing for consistency.

Attempting to modify a camera oneself is possible, but it is prudent to entrust professionals with access to a clean facility and a proven track record of successful modifications to handle the process. Alternatively, modified cameras are available for purchase from various retailers (see Resources section). Many imaging studios may have a preference for a particular camera brand and opt to stay with it, whether purchasing new or used models.

Camera Resolution

For those with flexible budgets, cameras with higher resolution are generally preferred for capturing intricate details and reducing the need for additional detailed images. However, budget constraints might make this goal less attainable. Furthermore, larger image file sizes demand ample computer RAM and disk space for opening and processing, as well as expanded storage for data preservation.

On the other hand, cropped sensor cameras can offer quality comparable to full-frame or medium format options but fall short in spatial resolution when dealing with larger artifacts. If a greater resolution is necessary, it is an option to take section images and composite them together. Careful

espectrales completas que requieren un enfoque preciso de la visión en directo.

No todas las cámaras CMOS son fácilmente convertibles en cámaras en color de espectro completo UV-VIS-IR. Por lo general, las cámaras réflex digitales de objetivo único (DSLR) y las cámaras sin espejo son más adecuadas para la modificación debido a la accesibilidad de los componentes del paquete del sensor, a diferencia de los modelos de *point-and-shot* o de los teléfonos inteligentes. Además, estos tipos de cámaras producen archivos en formato RAW, lo que permite a los usuarios un mayor control sobre el procesamiento de imágenes posterior a la captura y garantiza un procesamiento repetible para una mayor coherencia.

Intentar modificar una cámara uno mismo es posible, pero es prudente confiar el proceso a profesionales con acceso a una instalación limpia y un historial probado de modificaciones con éxito. También existen cámaras modificadas que se pueden adquirir en diversos establecimientos (véase la sección Recursos). Es posible que muchos laboratorios de imagen tengan preferencia por una marca de cámara concreta y opten por quedarse con ella, ya sea comprando modelos nuevos o usados.

Resolución de la cámara

Para quienes disponen de un presupuesto flexible, las cámaras con mayor resolución suelen ser preferibles para captar detalles intrincados y reducir la necesidad de imágenes detalladas adicionales. Sin embargo, las limitaciones presupuestarias pueden dificultar el acceso a este tipo de cámaras. Además, los archivos de imagen de mayor tamaño requieren una amplia memoria RAM y espacio en disco para abrirlos y procesarlos, así como más espacio de almacenamiento para conservar los datos.

Por otro lado, las cámaras de sensor recortado pueden ofrecer una calidad comparable a las opciones de fotograma completo o formato medio, pero se quedan cortas en

planning ensures uniform lighting and sufficient overlaps for seamlessly merging all images into one single composite.

Tethered Live View Function and Capture

A full-spectrum camera captures visible light as well as the invisible UV and IR spectrum. Since the human eye cannot perceive UV or IR, optimal image sharpness depends on the camera's auto-focus function or manual focus via the live view function once the necessary filters are attached. It is possible to manage image capture without tethering, operating with the buttons and dials on the camera, and checking exposure via the camera's rear screen. However, this approach demands more time and finesse to finalize composition and focus and is often difficult to maintain consistency. Acquiring a camera that can be tethered to a computer or tablet with a large screen size should be considered a top priority, as it allows for confident assessment of image sharpness via the live view function before capture, regardless of whether auto-focus or manual focus is used. The tethered feature also allows the captured image to be immediately transferred to the computer or tablet for post-capture image processing. Fortunately, this feature is now available in many digital cameras from major manufacturers.

Image Capture and Image Processing Software

Image capture software takes the control of adjusting image capture parameters from the camera to an external device, whether wired or wirelessly, and directs the captured images to the desired destination. Some cameras come bundled with free capture control software, such as Canon EOS Utility, while others may necessitate an additional

resolución espacial cuando se trata de piezas u objetos patrimoniales de mayor tamaño. Si se necesita una mayor resolución, siempre es posible tomar las imágenes por secciones y componer un puzzle con ellas. Una planificación cuidadosa garantiza una iluminación uniforme y suficientes solapamientos para fusionar sin problemas todas las imágenes en una única composición.

Función Live View y captura con conexión

Una cámara de espectro completo capta tanto la luz visible como el espectro invisible UV e IR. Dado que el ojo humano no puede percibir los rayos UV o IR, la nitidez óptima de la imagen depende de la función de enfoque automático de la cámara o del enfoque manual a través de la función Live View una vez colocados los filtros necesarios. Es posible gestionar la captura de imágenes sin conexión remota (*tethering*), utilizando los botones y diales de la cámara y comprobando la exposición a través de la pantalla trasera. Sin embargo, este enfoque exige más tiempo y delicadeza para finalizar la composición y el enfoque, y a menudo es difícil mantener la coherencia. Adquirir una cámara que pueda conectarse a un ordenador o una tableta con una pantalla de gran tamaño debería considerarse una prioridad, ya que permite evaluar con seguridad la nitidez de la imagen a través de la función live view antes de capturarla, independientemente de si se utiliza el enfoque automático o manual. La función *tethered* (captura con conexión) también permite transferir inmediatamente la imagen capturada al ordenador o la tableta para procesarla después de la captura. Afortunadamente, esta función ya está disponible en muchas cámaras digitales de los principales fabricantes.

Software de captura y tratamiento de imágenes

El software de captura de imágenes lleva el control de ajuste de los parámetros de captura de imágenes desde la cámara a un dispositivo externo, ya sea por cable o

software purchase, such as Nikon Camera Control Pro. The software should provide control over essential features, including exposure modes (manual, aperture priority, and shutter speed priority), ISO settings, various color space options, pre-capture white balancing capacity (preferably with multiple white balance settings), and, most crucially, effective tethered live view for precise zoom-in focusing.

Suitable image processing software should allow users to process the original raw file, such as assessing its exposure adequacy, applying appropriate or targeted white balance setting, and saving it in the desired file format. Some software packages offer both capture and processing capacities, such as Capture One. All commercial image processing software employ proprietary algorithms, resulting in potential discrepancies of the finished/processed image of the same file. Upgrading software may lead to noticeable differences in the final images. For these reasons, it is important to include the same reference target at the same position with the artifact, providing a visual clue for the discrepancies if the images cannot be reprocessed to match the target's value or appearance.

It is inevitable that software requires upgrading for enhanced performance or compatibility with new computer operating systems. This often time induces frustration upon users to navigate the difference or a need to purchase a new license. Before committing to specific image processing software, it would be prudent to explore the manufacturer's support or track record for software upgrades.

Lenses

Lenses featuring superior optics minimize scene distortion and aberrations. Their performance is typically rated with a higher modulation transfer function (MTF). Despite lenses not being the most

inalámbrico, y dirige las imágenes capturadas al destino deseado. Algunas cámaras incluyen un software de control de captura gratuito, como Canon EOS Utility, mientras que otras pueden requerir la compra de un software adicional, como Nikon Camera Control Pro. El software debe proporcionar control sobre las funciones esenciales, incluidos los modos de exposición (manual, prioridad a la apertura y prioridad a la velocidad de obturación), ajustes ISO, varias opciones de espacio de color, capacidad de balance de blancos previo a la captura (preferiblemente con múltiples ajustes de balance de blancos) y, lo que es más importante, live view *in situ* eficaz para un enfoque preciso con zoom.

Un software de procesamiento de imágenes adecuado debería permitir a los usuarios procesar el archivo original sin procesar, por ejemplo, evaluando si la exposición es adecuada, aplicando un ajuste de balance de blancos apropiado o específico y guardándolo en el formato de archivo deseado. Algunos paquetes de software ofrecen capacidades tanto de captura como de procesamiento, como Capture One. Todos los programas comerciales de procesamiento de imágenes emplean algoritmos patentados, lo que puede dar lugar a discrepancias en la imagen acabada/procesada del mismo archivo. También la actualización del software puede dar lugar a diferencias notables en las imágenes finales. Por estas razones, es importante incluir la misma tarjeta de referencia en la misma posición con el objeto, proporcionando una pista visual de las discrepancias si las imágenes no se pueden reprocesar para que coincidan con el valor o la apariencia de la referencia.

Es inevitable que el software requiera actualizaciones para mejorar su rendimiento o compatibilidad con nuevos sistemas operativos informáticos. A menudo, los usuarios se sienten frustrados por la diferencia o se ven obligados a adquirir una nueva licencia. Antes de comprometerse con un software específico de procesamiento de imágenes, sería prudente explorar el soporte del fabricante o su historial de actualizaciones.

costly components, their impact on image quality is substantial. Given their potential for decades-long use, even after upgrading the camera body, the choice of lenses deserves careful and thoughtful consideration.

Apochromatic or Not

Lenses designed for general photography are typically optimized to focus on colors within the visible spectrum. When these lenses are used to capture wavelengths beyond the visible spectrum, readjusting the focus becomes necessary. For greater convenience, the use of an apochromatic lens, such as the CoastalOpt® UV-VIS-IR 60mm APO Macro lens or Nikon UV-Nikkor 105mm lens, proves advantageous. These lenses are specifically crafted to correct chromatic aberration over a broader wavelength range, including UV and IR. Investing in such lenses facilitates seamless transitions between different techniques, reduces steps in the workflow, and ensures consistent spatial resolution across images. This, in turn, simplifies the process of image registration. It is worth noting, though, that the high cost and availability of this type of lenses may pose a challenge for many users.

In situations where obtaining an APO lens is not feasible, the tethered live view function becomes essential for precise focus adjustments in the invisible UV and IR spectral ranges. It is important to bear in mind that refocusing leads to a slightly different field of view and, consequently, varying spatial resolutions. When working with images of different spatial resolutions, image registration is necessary for further image processing, such as creating false color images. Fortunately, the slight variations in spatial resolutions can be adjusted with Transform function in Adobe Photoshop, registration plug-ins in ImageJ, or other dedicated image registration applications.

Objetivos

Los objetivos con una óptica superior minimizan la distorsión de la escena y las aberraciones. Su rendimiento se suele valorar con una función de transferencia de modulación (MTF) más alta. A pesar de que los objetivos no son los componentes más costosos, su impacto en la calidad de imagen es considerable. Considerando que los objetivos pueden mantenerse en uso durante décadas, incluso después de actualizar el cuerpo de la cámara, su elección requiere un análisis particularmente atento y fundamentado.

Apocromático o no

Los objetivos diseñados para la fotografía general suelen estar optimizados para enfocar colores dentro del espectro visible. Cuando estos objetivos se utilizan para captar longitudes de onda más allá del espectro visible, se hace necesario reajustar el enfoque. Para una mayor comodidad, resulta ventajoso el uso de un objetivo apocromático, como el CoastalOpt® UV-VIS-IR 60mm APO Macro lens o el Nikon UV-Nikkor 105mm lens. Estos objetivos están diseñados específicamente para corregir la aberración cromática en una gama más amplia de longitudes de onda, incluidos los rayos UV e IR. Invertir en este tipo de objetivos facilita las transiciones fluidas entre diferentes técnicas, reduce los pasos en el flujo de trabajo y garantiza una resolución espacial uniforme en todas las imágenes. Esto, a su vez, simplifica el proceso de registro de imágenes. Cabe señalar, no obstante, que el elevado coste y la disponibilidad de este tipo de lentes pueden suponer un reto para muchos usuarios.

En situaciones en las que no es posible obtener un objetivo APO, la función live view anclada resulta esencial para realizar ajustes precisos del enfoque en los rangos espectrales UV e IR invisibles. Es importante tener en cuenta que el reenfoque conduce a un campo de visión ligeramente diferente y, en consecuencia, a resoluciones espaciales variables. Cuando se trabaja con imágenes de

Prime and Zoom Lenses

Opting for prime lenses with fixed focal lengths is advisable over zoom lenses with variable focal lengths, as maintaining consistent zoom positions for subsequent captures of the same artifact can be challenging. Prime lenses offer the advantage of facilitating more consistent results in field of view and optical quality. Moreover, prime lenses typically exhibit superior MTF performance, a metric that manufactures usually provide.

In most indoor photography situations, a trio of lenses should suffice: a moderately wide-angle lens, a standard focal length lens, and a slightly longer focal length lens. For the longer focal length lens, having the macro capability can be advantageous, as it will provide a longer and thus safer working distance for close-up work.

If a single zoom lens is the only option, consider approaches that can streamline the workflow and maintain repeatability and consistency. For instance, one can craft a guide featuring a series of predetermined zoomed focal lengths and a set of camera-to-artifact distances (camera positions), along with their corresponding fields of view. Numerous online camera field-of-view calculators are available to assist in creating such a guide like Table 1. This guide demonstrates that a known artifact size can be photographed at a specific camera-to-artifact distance with a selected focal length, eliminating guesswork for unlimited zoomed settings or camera-to-artifact distances. In Table 1, where zoom focal lengths are gapped rather than continuous, artifacts may not fully fill the frame, resulting in some blank areas in the image. This is minor compromise compared to the time saved in figuring out the exact zoom position for follow-up documentation.

diferentes resoluciones espaciales, el registro de la imagen (encaje, o alineación precisa) es necesario para su posterior procesamiento, por ejemplo en la creación de imágenes de falso color. Afortunadamente, las ligeras variaciones en las resoluciones espaciales pueden ajustarse con la función Transform de Adobe Photoshop, los *plug-ins* de registro de ImageJ u otras aplicaciones dedicadas al registro de imágenes.

Objetivos de focal fija y zoom

Es preferible optar por objetivos de focal fija que por objetivos zoom de focal variable, ya que puede resultar difícil mantener las mismas posiciones de zoom en las capturas posteriores del mismo objeto. Los objetivos de focal fija ofrecen la ventaja de facilitar resultados más uniformes en cuanto a campo de visión y calidad óptica. Además, los objetivos de focal fija suelen presentar un rendimiento MTF superior, una métrica que los fabricantes suelen proporcionar.

En la mayoría de las situaciones de fotografía en interiores, un trío de objetivos debería ser suficiente: un objetivo gran angular moderado, un objetivo de distancia focal estándar y un objetivo de distancia focal ligeramente superior. En el caso del objetivo de focal más larga, puede resultar ventajoso disponer de la capacidad macro, ya que proporcionará una distancia de trabajo más larga y, por tanto, más segura para los primeros planos.

Si la única opción es un único objetivo zoom, hay que considerar enfoques que puedan agilizar el flujo de trabajo y mantener la repetibilidad y la coherencia. Por ejemplo, se puede elaborar una guía con una serie de distancias focales con zoom predeterminadas y un conjunto de distancias de la cámara al objeto (posiciones de la cámara), junto con sus correspondientes campos de visión. Existen numerosas calculadoras en línea del campo de visión de la cámara que ayudan a crear una guía de este tipo, como la Tabla 1. Esta guía demuestra que, conociendo el tamaño de una pieza, es posible fotografiarla a una distancia cámara–objeto

Table 1 | Maximum Field of View with a Nikon D810 Full Frame DSLR and an AF-S Nikkor 24-70mm f/2.8E ED Lens at Different Focal Lengths.

Maximum field of view in meters (m)		Lens Focal Length (mm))													
		24		30		**35**		43		**50**		60		**70**	
		Hor.	**Vert.**	Hor.	Vert.	**Hor.**	**Vert.**	Hor.	Vert.	**Hor.**	**Vert.**	Hor.	Vert.	**Hor.**	**Vert.**
Camera to artifact distance (m)	1	**1.50**	**1.00**	1.20	0.80	**1.03**	**0.69**	0.84	0.56	**0.72**	**0.48**	0.60	0.40	**0.51**	**0.34**
	1.5	**2.25**	**1.50**	1.80	1.20	**1.54**	**1.03**	1.26	0.84	**1.08**	**0.72**	0.90	0.60	**0.77**	**0.51**
	2	**3.00**	**2.00**	2.40	1.60	**2.06**	**1.37**	1.67	1.12	**1.44**	**0.96**	1.20	0.80	**1.03**	**0.69**
	2.5	**3.75**	**2.50**	3.00	2.00	**2.57**	**1.71**	2.09	1.40	**1.80**	**1.20**	1.50	1.00	**1.29**	**0.86**
	3	**4.50**	**3.00**	3.60	2.40	**3.09**	**2.06**	2.51	1.67	**2.16**	**1.44**	1.80	1.20	**1.54**	**1.03**
	3.5	**5.25**	**3.50**	4.20	2.80	**3.60**	**2.40**	2.93	1.95	**2.52**	**1.68**	2.10	1.40	**1.80**	**1.20**
	4	**6.00**	**4.00**	4.80	3.20	**4.11**	**2.74**	3.60	2.40	**2.88**	**1.92**	2.40	1.60	**2.06**	**1.37**

The focal lengths in bold are marked on the lens; 30, 43, 60, are the midway points between two marked local lengths.

Tabla 1 | Campo de visión máximo con una DSLR de fotograma completo Nikon D810 y un objetivo AF-S Nikkor 24-70mm f/2,8E ED a diferentes distancias focales.

Campo de visión máximo en metros (m)		Longitud focal del objetivo (mm)													
		24		30		**35**		43		**50**		60		**70**	
		Hor.	**Vert.**	Hor.	Vert.	**Hor.**	**Vert.**	Hor.	Vert.	**Hor.**	**Vert.**	Hor.	Vert.	**Hor.**	**Vert.**
Distancia de la cámara al objeto (m)	1	**1.50**	**1.00**	1.20	0.80	**1.03**	**0.69**	0.84	0.56	**0.72**	**0.48**	0.60	0.40	**0.51**	**0.34**
	1.5	**2.25**	**1.50**	1.80	1.20	**1.54**	**1.03**	1.26	0.84	**1.08**	**0.72**	0.90	0.60	**0.77**	**0.51**
	2	**3.00**	**2.00**	2.40	1.60	**2.06**	**1.37**	1.67	1.12	**1.44**	**0.96**	1.20	0.80	**1.03**	**0.69**
	2.5	**3.75**	**2.50**	3.00	2.00	**2.57**	**1.71**	2.09	1.40	**1.80**	**1.20**	1.50	1.00	**1.29**	**0.86**
	3	**4.50**	**3.00**	3.60	2.40	**3.09**	**2.06**	2.51	1.67	**2.16**	**1.44**	1.80	1.20	**1.54**	**1.03**
	3.5	**5.25**	**3.50**	4.20	2.80	**3.60**	**2.40**	2.93	1.95	**2.52**	**1.68**	2.10	1.40	**1.80**	**1.20**
	4	**6.00**	**4.00**	4.80	3.20	**4.11**	**2.74**	3.60	2.40	**2.88**	**1.92**	2.40	1.60	**2.06**	**1.37**

Las distancias focales en negrita están marcadas en el objetivo; 30, 43, 60, son los puntos intermedios entre dos distancias locales marcadas.

When faced with an artifact to photograph, this guide de provides a quick overview for determining the appropriate zoom position based on the camera-to-artifact distance. Alternatively, if the space is limited and there are constraints on the available camera-to-artifact distance, one can select the corresponding zoom position based on the known artifact size. For instance, if the artifact is

determinada y con una longitud focal seleccionada, eliminando así la necesidad de ensayo y error en configuraciones con zoom o en distancias cámara–objeto variables. En la Tabla 1, donde las longitudes focales del zoom aparecen espaciadas y no como valores continuos, es posible que las piezas no llenen completamente el encuadre, lo que puede generar algunas zonas en blanco en la imagen. Sin embargo, se trata de un compromiso menor en comparación con

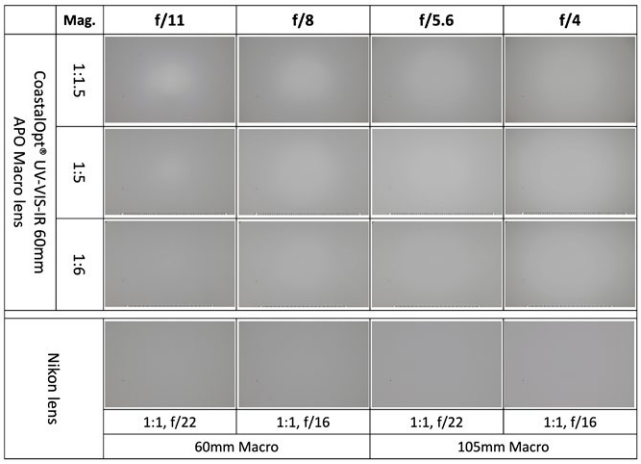


Figure 2 | Visible light images of a Munsell N5 gray card taken with a modified UV-VIS-IR Nikon D810 DSLR camera with different lenses at different f-stops at 1:1 close-up setting. All lenses are fitted with an X-Nite CC1 filter to produce visible light images in normal illumination with two Profoto D1 lights. The Nikon lenses used are Nikon AF Micro-Nikkor 60mm f/2.8 and Nikon AF Micro Nikkor 105mm f/2.8.

Figura 2 | Imágenes en luz visible de una carta gris Munsell N5 tomadas con una cámara Nikon D810 DSLR modificada para UV–VIS–IR, utilizando distintos objetivos y diferentes números f en una configuración de acercamiento 1:1. Todos los objetivos están equipados con un filtro X-Nite CC1 para producir imágenes en luz visible bajo iluminación normal con dos flashes Profoto D1. Los objetivos Nikon utilizados son: Nikon AF Micro-Nikkor 60 mm f/2.8 y Nikon AF Micro-Nikkor 105 mm f/2.8.

1.2 x 1.0 m in size, it can be photographed at one of seven possible settings (70 mm focal length at 3 m distance; 60 mm at 2.5 m; 50 mm at 2.5 m; 43 mm at 2 m; 35 mm at 1.5 m; 30 mm at 1.5 m; and 24 mm at 1 m). If the available space permits only a 2 m camera-to-artifact distance, then zoom positions at 43 mm and shorter focal lengths must be used to capture the artifact.

Lens Hot Spot

Some lenses might exhibit hot spots when used for IR photography (Davies, 2018). Testing conducted on a CoastalOpt® UV-VIS-IR 60mm APO Macro lens revealed a noticeable hot spot when used for 1:1 close-up capture even in visible light (Figure 2). Opening up the aperture to f/5.6 or f/4 appears to correct the issue. However, using a

el tiempo que se ahorra al no tener que determinar manualmente la posición exacta del zoom para la documentación posterior.

Ante un objeto que fotografiar, esta guía proporciona una visión general rápida para determinar la posición adecuada del zoom en función de la distancia entre la cámara y el objeto. Alternativamente, si el espacio es limitado y hay restricciones en la distancia disponible entre la cámara y el objeto, se puede seleccionar la posición de zoom correspondiente basándose en el tamaño conocido del objeto. Por ejemplo, si el objeto mide 1,2 x 1,0 m, puede fotografiarse con uno de los siete ajustes posibles (70 mm de distancia focal a 3 m de distancia; 60 mm a 2,5 m; 50 mm a 2,5 m; 43 mm a 2 m; 35 mm a 1,5 m; 30 mm a 1,5 m; y 24 mm a 1 m). Si el espacio disponible sólo permite una distancia de 2 m entre la cámara y el

larger aperture may present challenges in achieving sufficient focus when a greater depth of field is needed. In contrast, Nikon 105 mm Micro or 60 mm Micro lens do not exhibit a hot spot even using smaller apertures than f/11 and at a slightly higer magniication (Figure 2). It is recommended to refer to available resources and literature for known hot spot issues or conduct tests to determine the optimal aperture setting and focus range (see Resources section). A potential solution to the hot spot issue is to add flatfield correction into the workflow, which can be done in Adobe Lightroom, ImageJ, or other applications with necessary images taken.

Thread Size

While not the most critical factor, keeping thread sizes the same can streamline the use of filters. When purchasing multiple lenses, consider selecting those with the same thread size, if feasible, without compromising the quality of your choices. Though this may not lead to substantial cost savings, it will significantly simplify the process of managing various filter sizes.

Lens Filters

When performing full-spectrum broadband imaging, the use of lens filters becomes indispensable. These filters play a crucial role in determining which wavelengths are captured by the camera (Table 2). Access to resources, such as tables and charts detailing recommended filters, proves invaluable (Kushel, 2011; Dyer et al., 2013; Davies, 2018; Verri, 2019). This section aims to discuss key considerations before making filter purchases.

objeto, deberán utilizarse posiciones de zoom a 43 mm y distancias focales más cortas para capturar el objeto.

Hot Spot de la lente

Algunos objetivos pueden presentar reflejos especulares en el cento de la imagen (*hot spots*) cuando se utilizan para fotografía IR (Davies, 2018). Las pruebas realizadas con un objetivo CoastalOpt® UV-VIS-IR 60 mm APO Macro revelaron un *hot spot* notable cuando se utiliza para la captura de primeros planos 1:1 incluso en luz visible (Figura 2). La apertura a f/5,6 o f/4 parece corregir el problema. Sin embargo, el uso de una mayor apertura puede plantear problemas a la hora de lograr suficiente enfoque cuando se necesita una mayor profundidad de campo. Por el contrario, los objetivos Nikon 105 mm Micro o 60 mm Micro no muestran un *hot spot*, ni siquiera utilizando aperturas menores af/11 y con una magnificación ligeramente mayor (Figura 2). Se recomienda consultar los recursos y la bibliografía disponibles sobre este tipo de problemas de brillos o realizar pruebas para determinar el ajuste de apertura y el rango de enfoque óptimos (consulte la sección Recursos). Una posible solución al problema de los reflejos especulares (*hot spots*) es incorporar la corrección de campo plano (*flat-field correction*) al flujo de trabajo, lo cual puede realizarse en Adobe Lightroom, ImageJ u otras aplicaciones, siempre que se cuente con las imágenes necesarias.

Tamaño de la rosca

Aunque no es el factor más crítico, mantener el mismo tamaño de rosca puede agilizar el uso de filtros. Cuando compre varios objetivos, considere la posibilidad de seleccionar los que tengan el mismo tamaño de rosca, si es posible, sin comprometer la calidad de sus opciones. Aunque esto no suponga un ahorro sustancial, simplificará considerablemente el proceso de gestión de los distintos tamaños de filtro.

Table 2 | Choices of Filters.

Technique	Filtration Requirement	Primary filter(s) example*	Equivalents
Visible light (including all lighting techniques)	Visible passing, UV and IR blocking; color correction (red attenuation)	Schott BG38	X-Nite CC1; Kolari Vision UV/IR Cut Color Correcting Hot Mirror Filter; B+W UV-IR Cut #486
UVA-VL UVC-VL	Visible passing, UV and IR blocking; color correction (red attenuation)	Schott BG38 + Kodak Wratten 2E + PECA 918	(for 2E) Heliopan #5 Light Yellow Filter
			(for PECA 918) Hoya UV-IR cut; Kolari Vision UV/IR Cut Filter (H-Alpha Pass); X-Nite BP1; MidOpt BP550
RUVA	UVA passing, and visible light and IR blocking	Schott BG38 + Kodak Wratten 18A Or Baader Planetarium 2" U-Filter	(for Kodak 18A): B+W 403; PECA 901: X-Nite 330; Schott UG-1; Kolari Vision UV Bandpass Transmission Lens Filter
RIR TIR	IR passing, visible and UV blocking	Kodak Wratten IR passing filters 87, 87C, 87B, 87A	X-Nite 715, 780, 830, 850, 1000; PECA 912, 904, 910, 908, 906; Kolari Vision IR passing filter 720, 780, 850; Hoya R72, IR76N, IR80N; IR83N; IR85N; RM100; Schott RG715, RG780, RG830, RG850, RG1000; Heliopan, RG715, RG780, RG830, RG850, RG1000; B+W 093 (830nm)
V-IL UVA-IL	IR passing, visible and UV blocking	Kodak Wratten IR passing filter 88A or 87	(Kodak 88A): X-Nite 715; PECA 912; Kolari Vision 720; Hoya R72; Schott RG715; Heliopan RG715
			(Kodak 87): X-Nite 780; PECA 904; Kolari Vision 780; Hoya, IR76N; Schott RG780; Heliopan RG780

**Quoted from "Chapter 6: Photographic Techniques for Conservation" in The AIC Guide to Digital Photography and Conservation Documentation (Warda et al., 2011, pp. 136-137, pp. 155-156, p. 161, pp. 165-166).*

Tabla 2 | Selección de filtros.

Técnica	Requisitos de filtración	Filtro(s) primario(s) ejemplo*	Equivalentes
Luz visible (incluidas todas las técnicas de iluminación)	paso visible, bloqueo UV e IR; corrección del color (atenuación del rojo)	Schott BG38	X-Nite CC1; Kolari Vision UV/IR Cut Corrección de Color Filtro Espejo Caliente; B+W UV-IR Cut #486
UVA-VL UVC-VL	paso visible, bloqueo UV e IR; corrección del color (atenuación del rojo)	Schott BG38 + Kodak Wratten 2E + PECA	(para 2E) Heliopan #5 Filtro amarillo claro
			(para PECA 918) Hoya UV-IR cut; Kolari Vision UV/IR Cut Filter (H-Alpha Pass); X-Nite BP1; MidOpt BP550
RUVA	Pasa los rayos UVA y bloquea la luz visible y los infrarrojos	Schott BG38 + Kodak Wratten 18A O Baader Planetarium 2" U-Filter	(para Kodak 18A): B+W 403; PECA 901: X-Nite 330; Schott UG-1; Kolari Vision Filtro de lente de transmisión de paso de banda UV
RIR TIR	IR pasando, bloqueo visible y UV	Filtros de paso IR Kodak Wratten 87, 87C, 87B, 87A	X-Nite 715, 780, 830, 850, 1000; PECA 912, 904, 910, 908, 906; Kolari Vision Filtro de paso IR 720, 780, 850; Hoya R72, IR76N, IR80N; IR83N; IR85N; RM100; Schott RG715, RG780, RG830, RG850, RG1000; Heliopan, RG715, RG780, RG830, RG850, RG1000; B+W 093 (830nm)
V-IL UVA-IL	IR pasando, bloqueo visible y UV	Filtro de paso IR Kodak Wratten 88A o 87	(Kodak 88A): X-Nite 715; PECA 912; Kolari Vision 720; Hoya R72; Schott RG715; Heliopan RG715
			(Kodak 87): X-Nite 780; PECA 904; Kolari Vision 780; Hoya, IR76N; Schott RG780; Heliopan RG780

**Citado de "Chapter 6: Photographic Techniques for Conservation" en The AIC Guide to Digital Photography and Conservation Documentation (Warda et al., 2011, pp. 136-137, pp. 155-156, p. 161, pp. 165-166).*

Filter Choices

Kodak Wratten gelatin filters dominated the filter market during the era of film photography. Some of them are still relevant for use in digital photography. Table 2 lists Kodak Wratten filters whenever possible as the primary examples and presents some of the contemporary equivalents available on the markets. All Wratten gelatin filters are square in format and require a filter holder to position them in front of the lens. In contrast, round glass filters (or screw-in filters) can be easily installed and removed directly, with or without the aid of a magnetic mechanism.

The filtration requirements for visible light and UV-VL techniques are generally similar, as both aim to capture visible light. However, there are differences in the listed lens filters for these two methods. The luminescence technique typically requires significantly longer exposure time compared to visible light photography. While the slight transmission of UV and IR through the Schott BG38 filter may have minimal impact in the case of visible light photography, in UV-VL technique, this transmission becomes amplified and can significantly affect the colors captured. Consequently, an additional UV-blocking filter, such as Kodak 2E, and an IR-blocking filter, such as PECA 918, are essential to achieve clean luminescence capture.

The IR passing filters are long-pass filters with different cutoff wavelengths, as seen in the transmittance chart of Kodak Wratten IR-passing filters (Figure 3). In the context of reflected IR techniques, it can be informative to observe how materials transition from being IR-absorbent to IR-transparent at specific wavelengths. This transition is illustrated in Figure 4, where four different types of writing inks exhibit different responses when different IR passing filters are used.

Filtros

Cuando se obtienen imágenes de banda ancha de espectro completo, el uso de filtros resulta indispensable. Estos desempeñan un papel crucial a la hora de determinar qué longitudes de onda capta la cámara (Tabla 2). El acceso a recursos, como tablas y gráficos en los que se detallan los filtros recomendados, resulta muy valioso (Kushel, 2011; Dyer *et al.*, 2013; Davies, 2018; Verri, 2019). El objetivo de esta sección es analizar las consideraciones clave antes de comprar un filtro.

Opciones de filtrado

Los filtros de gelatina Kodak Wratten dominaron el mercado de los filtros durante la era de la fotografía analógica. Algunos de ellos siguen siendo relevantes para su uso en fotografía digital. La Tabla 2 recoge los filtros Kodak Wratten en aquellos casos en que existe un filtro de esta serie aplicable como ejemplo principal, e incluye sus equivalentes contemporáneos disponibles en el mercado. Todos los filtros de gelatina Wratten son de formato cuadrado y requieren un portafiltros para colocarlos delante del objetivo. En cambio, los filtros redondos de cristal (o filtros de rosca) pueden instalarse y retirarse directamente con facilidad, con o sin la ayuda de un mecanismo magnético.

Los requisitos de filtrado para las técnicas de luz visible y UV-VL son, en general, similares, ya que ambas tienen como objetivo capturar la luz visible. Sin embargo, existen diferencias en los filtros de objetivo indicados para estos dos métodos. La técnica de luminiscencia suele requerir un tiempo de exposición significativamente mayor en comparación con la fotografía de luz visible. Mientras que la ligera transmisión de UV e IR a través del filtro Schott BG38 puede tener un impacto mínimo en el caso de la fotografía de luz visible, en la técnica UV-VL, esta transmisión se amplifica y puede afectar significativamente a los colores captados. En consecuencia, un filtro adicional de bloqueo UV, como el Kodak 2E, y un filtro

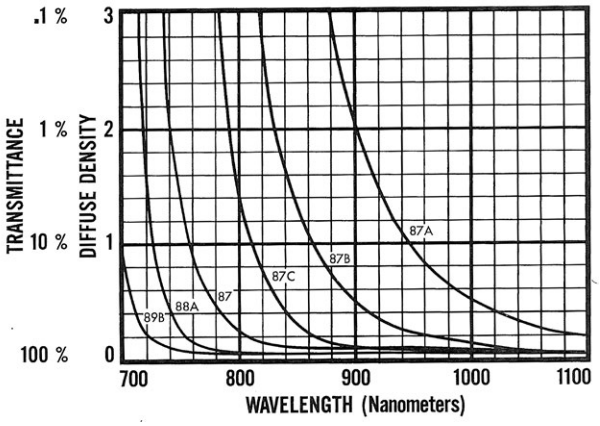


Figure 3 | The transmission curves of Kodak Wratten IR-passing filters. Image Credit: Eastman *Kodak Company, in the book Kodak Filters for Scientific and Technical Uses*, 1970, p. 35.1970.

Figura 3 | Curvas de transmisión de los filtros infrarrojos Kodak Wratten. Crédito de la imagen: Eastman Kodak Company, en Kodak Filters for Scientific and Technical Uses, 1970, p. 35.

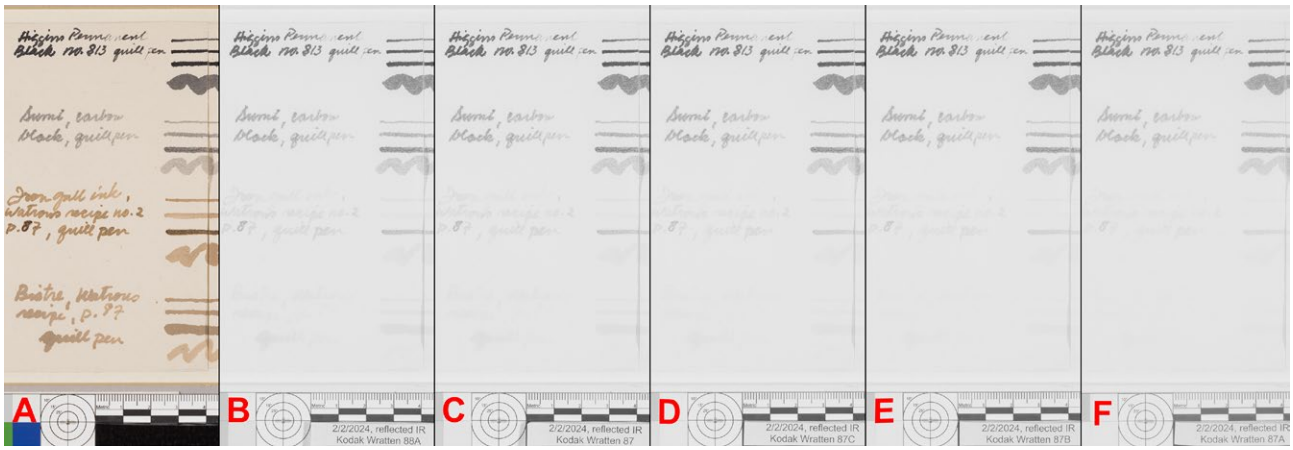


Figure 4 | Visible and RIR images of 4 writing inks captured through an IR passing filter noted below each image. Images were taken with a modified UV-VIS-IR Nikon D810 DSLR camera and CoastalOpt® UV-VIS-IR 60mm Macro APO lens. All the RIR images were processed the same with N8 achieved a pixel value of 200. This image shows a section of the sample belongs to the study collection at the Garman Art Conservation Department of SUNY Buffalo State University and was created by Cathy Baker for her study "A Comparison of Drawing Inks Using Ultraviolet and Infrared Light Examination Techniques" published in 1985. While Higgins black permanent ink and carbon black sumi ink remain IR absorbent, iron gal ink and bister brown ink become more transparent to longer IR wavelengths.

Figura 4 | Imágenes en luz visible y RIR de cuatro tintas de escritura, captadas mediante un filtro de paso infrarrojo indicado debajo de cada imagen. Las imágenes fueron tomadas con una Nikon D810 DSLR modificada para UV–VIS–IR y un objetivo CoastalOpt® UV–VIS–IR 60 mm Macro APO. Todas las imágenes RIR se procesaron del mismo modo, ajustando el valor de píxel 200 para N8. La imagen muestra una sección de la muestra perteneciente a la colección de estudio del Departamento de Conservación Garman (SUNY Buffalo State University), creada por Cathy Baker para su estudio "A Comparison of Drawing Inks Using Ultraviolet and Infrared Light Examination Techniques" publicado en 1985. Mientras que la tinta Higgins black permanent y la tinta sumi de negro de humo permanecen absorbentes al IR, la tinta ferrogálica y la tinta bistre marrón se vuelven más transparentes a longitudes de onda infrarrojas más largas.

The filtration requirement for RIR and both IR luminescence techniques is identical, though the primary filter examples listed differ slightly. The IR luminescence techniques aims to capture as much luminescence as possible, making a cutoff filter at the shorter end of IR spectrum preferable. Thus, only Kodak 88A or 87 is listed, not the entire set of IR-passing filters.

A Schott BG 38 blue-green filter or its equivalent is essential for visible light and UV-VL techniques. This necessity arises from the modified sensor's extra high sensitivity to red light. The blue-green BG 38 filter serves to attenuate red light, ensuring balanced color rendering. Schott BG38 is also recommended for the reflected UVA technique to block IR emitted from specific UV lamps, such as high-pressure mercury UVA lamps. This is because almost all UV-passing filters listed in the table permit some IR to pass through. Schott BG38 is unnecessary if the UV lamp emits no IR or if the lens filter allows exclusively UV transmission, as in the case of the Baader Planetarium 2" U-Filter.

Examining all the possibilities of the filters listed in Table 2, the number of filters for all techniques discussed can be as few as 6 filters, if selecting one IR passing filter for RIR/TIR and one for V-IL/UV-IL techniques.

Equivalent Is Not Identical

There is no strict practice dictating which filters should be used. As equivalents are not identical, slight differences in the final images are expected when different filters are used. Figure 5 presents V-IL images captured through various IR passing filters, marketed as equivalents, or having similar cutoff wavelengths. The results varied depending on the filters used. The relative luminescence intensity among all samples varied, and the samples

de bloqueo IR, como el PECA 918, son esenciales para lograr una captura limpia de la luminiscencia.

Los filtros de paso IR son filtros de paso largo con diferentes longitudes de onda de corte, como puede verse en la tabla de transmitancia de los filtros de paso IR Kodak Wratten (Figura 3). En el contexto de las técnicas de IR reflejado, puede ser útil observar cómo los materiales pasan de ser IR-absorbentes a IR-transparentes a longitudes de onda específicas. Esta transición se ilustra en la Figura 4, en la que cuatro tipos diferentes de tintas de escritura muestran respuestas diferentes cuando se utilizan distintos filtros de paso IR.

Los requisitos de filtrado para las técnicas RIR y de luminiscencia IR son idénticos, aunque los ejemplos de filtros primarios que se indican difieren ligeramente. El objetivo de las técnicas de luminiscencia IR es capturar la mayor cantidad posible de luminiscencia, por lo que es preferible un filtro de corte en el extremo más corto del espectro IR. Por ello, sólo se enumeran los filtros Kodak 88A u 87, y no todo el conjunto de filtros de paso IR.

Un filtro Schott BG 38 azul-verde o su equivalente es esencial para las técnicas de luz visible y UV-VL. Esta necesidad se debe a la alta sensibilidad del sensor modificado a la luz roja. El filtro azul-verde BG 38 sirve para atenuar la luz roja, garantizando una reproducción equilibrada del color. Schott BG38 también se recomienda para la técnica UVA reflejada para bloquear el IR emitido por lámparas UV específicas, como las lámparas UVA de mercurio de alta presión. Esto se debe a que casi todos los filtros que pasan UV enumerados en la tabla permiten que pase algo de IR. El Schott BG38 es innecesario si la lámpara UV no emite IR o si el filtro del objetivo permite exclusivamente la transmisión de UV, como en el caso del Baader Planetarium 2" U-Filter.

Examinando todas las posibilidades de los filtros enumerados en la Tabla 2, el número de filtros para todas las

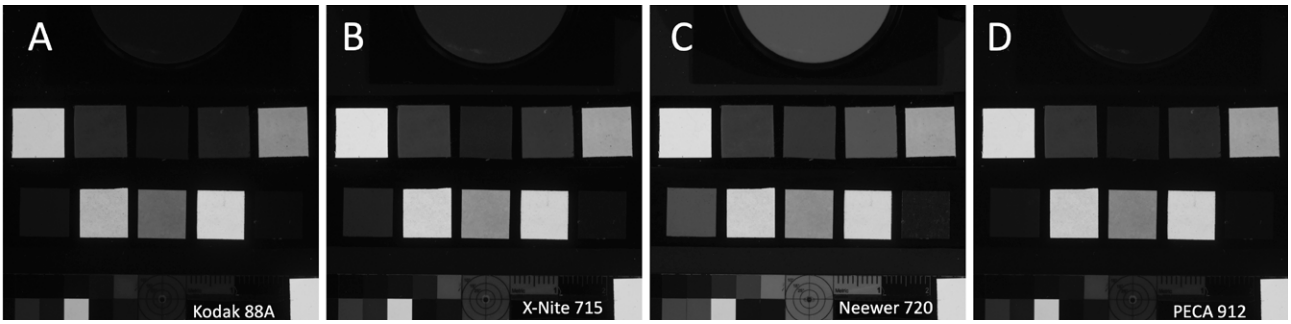


Figure 5 | V-IL images with different IR-passing filters: A, Kodak Wratten 88A; B, X-Nite 715; C, Neewer 720; D, PECA 912. The circular object at the top is a partial view of the Spectralon 99% diffuse reflectance standard. The sample is the same as that for Figure 7, and the materials used for the samples are listed in the Resources section.

Figura 5 | Imágenes V-IL con diferentes filtros de paso infrarrojo: A, Kodak Wratten 88A; B, X-Nite 715; C, Neewer 720; D, PECA 912. El objeto circular situado en la parte superior es una vista parcial del patrón de reflectancia difusa Spectralon al 99%. La muestra es la misma que en la Figura 7, y los materiales utilizados para las muestras se enumeran en la sección Resources.

that appear dark grays in some test shots appear completely dark in others. Thus, one should exercise caution when drawing conclusions from results obtained through different equivalent filters.

The inclusion of Spectralon 99% Diffuse Reflectance Standard aids in evaluating whether the visible light passing through the filter is captured by the camera (Verri, 2009; Dyer et al., 2013). Any brightness captured equal to or darker than that shown on the Spectralon may not be luminescence but rather a small amount of excitation wavelengths reflecting off the samples and passing through the filter. It is evident that some IR-passing filters are more effective at blocking the excitation light source used in this test, resulting in the Spectralon appearing dark, while others are less effective.

Filter Sizes

Where possible, having all the filters of the same size will help streamline the workflow. In cases where different lenses have varying thread

técnicas analizadas puede ser de tan sólo 6 filtros, si se selecciona un filtro de paso IR para las técnicas RIR/TIR y otro para las técnicas V-IL/UV-IL.

Equivalente no es idéntico

No existe una norma práctica estricta que dicte qué filtros deben utilizarse. Como los equivalentes no son idénticos, cabe esperar ligeras diferencias en las imágenes finales cuando se utilizan filtros diferentes. La Figura 5 presenta imágenes V-IL captadas a través de varios filtros de paso IR, comercializados como equivalentes, o que tienen longitudes de onda de corte similares. Los resultados variaron en función de los filtros utilizados. La intensidad relativa de luminiscencia entre todas las muestras varió, y las muestras que aparecen grises oscuras en algunas tomas de prueba aparecen completamente oscuras en otras. Por lo tanto, hay que ser prudente a la hora de sacar conclusiones de los resultados obtenidos con diferentes filtros equivalentes.

La inclusión del patrón de reflectancia difusa Spectralon 99% ayuda a evaluar si la luz visible que pasa a través del filtro es captada por la cámara (Verri, 2009; Dyer *et al.*,

sizes, aim to minimize the number of step-up or step-down rings. The general guideline is to acquire a filter matching the largest thread size and then use step-down adapters to attach the filter to lenses with smaller thread sizes. If the most frequently used lens has a thread size less than 10 mm smaller than the other lenses, it might be advantageous to purchase a filter that fits the most frequently used lens, and then use step-up and step-down rings to fit the filter to the less frequently used lenses. A small difference in step-down adjustment, such as 62 to 52, should not cause vignetting or shadowing.

Lights and Radiation Sources

Broadband imaging with a full-spectrum color camera requires lights and radiation sources to cover UV, visible, and IR wavelengths. The goal in considering the lighting needs is to use as few lights as possible, simplifying the setup for consistency. Possible lights and radiation sources are tabulated alongside various techniques to illustrate the possible combinations of lights needed. The listed lights and radiation sources are based on their possibilities, and not all may be widely available (Table 3). For example, a flash tube without a UV-blocking coated glass envelope can output UVA, visible, and IR, which could potentially be selectively filtered to target the desired output. It is also technically possible to incorporate separate UV, visible, and IR LED diodes into one light unit.

The Importance of Proper Filtration on Lights and Radiation Sources

Lights and radiation sources for reflectance and transmitted mode photography do not require strict filtration since the lens filters will

2013). Cualquier brillo capturado igual o más oscuro que el mostrado en el Spectralon puede no ser luminiscencia, sino más bien una pequeña cantidad de longitudes de onda de excitación que se reflejan en las muestras y pasan a través del filtro. Es evidente que algunos filtros de paso de IR son más eficaces para bloquear la fuente de luz de excitación utilizada en esta prueba, lo que hace que el Spectralon aparezca oscuro, mientras que otros son menos eficaces.

Tamaños de filtro

Siempre que sea posible, tener todos los filtros del mismo tamaño ayudará a agilizar el flujo de trabajo. En los casos en los que los objetivos tengan roscas de distintos tamaños, hay que minimizar el número de anillos de paso hacia arriba o hacia abajo. La pauta general es adquirir un filtro que coincida con el tamaño de rosca más grande y, a continuación, utilizar adaptadores reductores para acoplar el filtro a objetivos con tamaños de rosca más pequeños. Si el objetivo que se utiliza con más frecuencia tiene un tamaño de rosca inferior en menos de 10 mm de los demás objetivos, puede resultar ventajoso adquirir un filtro que se adapte al objetivo que se utiliza con más frecuencia y, a continuación, utilizar anillos de ajuste ascendente y descendente para adaptar el filtro a los objetivos que se utilizan con menos frecuencia. Una pequeña diferencia en el ajuste de reducción, como de 62 a 52, no debería causar viñeteado ni sombras.

Luces y fuentes de radiación

La obtención de imágenes de banda ancha con una cámara en color de espectro completo requiere luces y fuentes de radiación que cubran las longitudes de onda UV, visible e IR. El objetivo al considerar las necesidades de iluminación es utilizar el menor número de luces posible, simplificando la configuración para que sea coherente. Las posibles luces y fuentes de radiación se tabulan junto con varias técnicas para ilustrar las posibles combinaciones de luces necesarias. Las luces y fuentes de radiación enumeradas se basan en sus

Table 3 | Types of Lights and Radiation Sources for Different Broadband Imaging Techniques with a UV-VIS-IR Color Camera.

Tabla 3 | Tipos de luces y fuentes de radiación para diferentes técnicas de obtención de imágenes de banda ancha con una cámara en color UV-VIS-IR.

	Incande-scent (Tungsten/halogen) / Incandescente (tungsteno/halógeno)	LED white light (including flash type) / Luz blanca LED (incluido el tipo de flash)	UVA (mercury-based or LED) / UVA (a base de mercurio o LED)	UVC (mercury-based or LED) / UVC (a base de mercurio o LED)	Most electronic flash / La mayoría de los flashes electrónicos	Special electronic flash with UV output / Flash electrónico especial con salida UV	Custom-made LED units*** / Unidades LED a medida***
Visible light* / Luz visible*	√	√			√	√	√
UVA-VL			√ If with proper filtration / Si está adecuadamente filtrada			√ if with proper filtration / Si está adecuadamente filtrada	√ if with proper filtration / Si está adecuadamente filtrada
UVC-VL				√ If with proper filtration / Si está adecuadamente filtrada			
RUVA			√			√	√
RIR	√				√	√	√
V-IL		√ if with proper filtration / Si está adecuadamente filtrada			√ if with proper filtration / Si está adecuadamente filtrada	√ if with proper filtration / Si está adecuadamente filtrada	√ Clean visible light LED (no UV and no IR) / LED de luz visible limpia (no UV ni IR)
UVA-IL			√ If with proper filtration / Si está adecuadamente filtrada			√ if with proper filtration / Si está adecuadamente filtrada	√ if with proper filtration / Si está adecuadamente filtrada
Transmitted visible**	√	√			√	√	√
TIR**	√				√	√	√

Including normal, raking, and specular illumination techniques / Incluidas las técnicas de iluminación normal, rastrillada y especular. **Requiring even lighting from behind the artifacts, such as using a diffusing screen in front of the light source / Requieren una iluminación uniforme por detrás de los objetos, como el uso de una pantalla difusora delante de la fuente de luz. * LED arrays (linear or panel) of different wavelengths in one housing / Conjuntos de LED (lineales o en panel) de diferentes longitudes de onda en una misma carcasa.*

block unwanted wavelengths. It is the luminescence techniques that require the excitation source to be devoid of any wavelengths that correspond to the luminescence being captured. For instance, in the UVA-VL technique, the UVA lamps should emit no visible light, and for the V-IL technique, the light

posibilidades, y puede que no todas estén ampliamente disponibles (Tabla 3). Por ejemplo, un tubo de flash sin envoltura de vidrio revestido que bloquee los rayos UV puede emitir rayos UVA, visibles e IR, que podrían filtrarse selectivamente para obtener el resultado deseado. También es técnicamente posible incorporar diodos LED UV, visibles e IR separados en una unidad de iluminación.

should be free of IR. These unwanted outputs from the excitation sources are considered as parasitic radiation (Dyer et al., 2013).

The parasitic radiation, reflected from the artifact or background, blends in with the radiation emitted by the artifact and passes through lens filter(s), resulting in false or altered luminescence. Even a small amount of visible light from UV lamps or IR from the LED lights can accumulate and become problematic due to the long exposure required by all luminescence techniques. Figure 6 illustrates the noticeable difference in visible luminescence captured under the same setting with two different UVA lamps. The GE black light emits noticeable visible light, showing a spike emission around 437nm (Figure 6D), resulting in a purple or blue cast on white materials and a color shift in luminescence captured from zinc white (Figure 6C). In comparison, the result captured with the UV System UVA lamps, which emits a small amount of parasitic radiation under 415nm which was blocked by the Kodak 2E filter used, presents a clean capture of the luminescence from the materials (Figure 6B).

IR luminescence images are captured and rendered in monochrome, allowing evaluation solely based on captured intensity (brightness). Resolving specific luminescent wavelengths requires using IR-passing filters with discrete wavelengths, unlike visible light, where specific colors correspond to specific wavelengths. Consequently, the IR parasitic radiation—typically in shorter IR wavelengths—remains indistinguishable in the image. Figure 7 illustrates the significant difference in results obtained using an LED visible light excitation source, with or without the addition of IR blocking filters on this light. The Lume Cube LED white light was found to emit some shorter wavelength parasitic

La importancia de filtrar adecuadamente lámparas y fuentes de radiación

Las luces y las fuentes de radiación para la fotografía de reflectancia y de modo transmitido no requieren un filtrado estricto, ya que los filtros de los objetivos bloquearán las longitudes de onda no deseadas. Son las técnicas de luminiscencia las que requieren que la fuente de excitación esté desprovista de cualquier longitud de onda que corresponda a la luminiscencia que se está capturando. Por ejemplo, en la técnica UVA-VL, las lámparas UVA no deben emitir luz visible, y para la técnica V-IL, la luz debe estar libre de IR. Estas salidas no deseadas de las fuentes de excitación se consideran radiación parásita (Dyer *et al.*, 2013).

La radiación parásita, reflejada desde el objeto o el fondo, se mezcla con la radiación emitida por la pieza y pasa a través del filtro o filtros de la lente, dando lugar a una luminiscencia falsa o alterada. Incluso una pequeña cantidad de luz visible de las lámparas UV o IR de las luces LED puede acumularse y convertirse en problemática debido a la larga exposición que requieren todas las técnicas de luminiscencia. La Figura 6 ilustra la notable diferencia en la luminiscencia visible captada bajo la misma configuración con dos lámparas UVA diferentes. La luz negra de GE emite una luz visible notable, mostrando un pico de emisión en torno a 437 nm (Figura 6D), lo que da lugar a un tinte púrpura o azul en los materiales blancos y a un cambio de color en la luminiscencia captada del blanco de cinc (Figura 6C). En comparación, el resultado con las lámparas UV System UVA, que emite una pequeña cantidad de radiación parásita por debajo de 415nm que fue bloqueada por el filtro Kodak 2E utilizado, presenta una captura limpia de la luminiscencia de los materiales (Figura 6B).

Las imágenes de luminiscencia IR se capturan y representan en monocromo, lo que permite una evaluación basada únicamente en la intensidad capturada (brillo). La resolución de longitudes de onda luminiscentes específicas requiere usar filtros de paso IR con longitudes de onda discretas, a diferencia de la luz visible, donde los colores

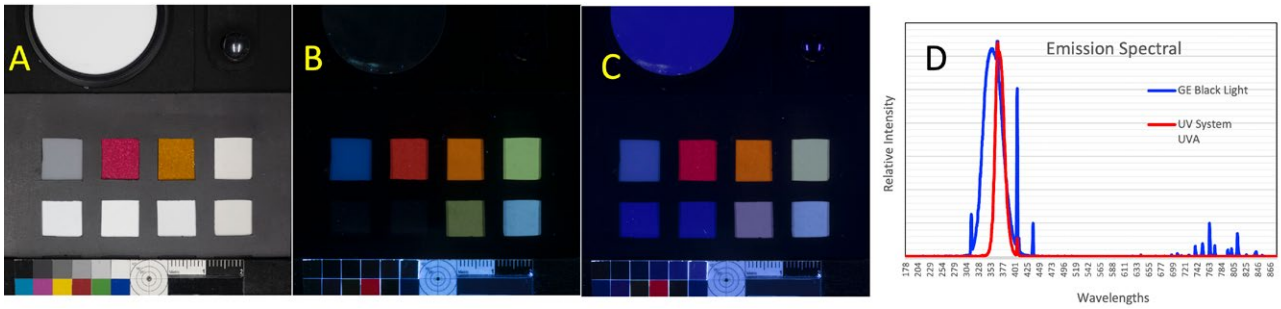


Figure 6 | Comparison of results of visible luminescence with two different UVA lamps. A: visible light image of the test target that consists of eight materials, along with a Spectralon 99% diffuse reflectance standard; B: visible luminescence image of the test target, irradiated UV Systems SuperBright III UVA lamp (peak at 368nm); C: visible luminescence image of the test target, irradiated with GE black light; D: measured emission spectra of the two UVA lamps with Ocean Optics Jaz spectrometer. Note that the eight materials used in the test target are listed in the Resources section. They were chosen because of their known luminescence properties.

Figura 6 | Comparación de los resultados de luminescencia en luz visible con dos lámparas UVA diferentes. A: imagen en luz visible del test target, compuesto por ocho materiales y un patrón de reflectancia difusa Spectralon al 99%; B: imagen de luminescencia visible del test target, irradiado con una lámpara UV Systems SuperBright III UVA (pico a 368 nm); C: imagen de luminescencia visible del test target, irradiado con una lámpara GE black light; D: espectros de emisión medidos de ambas lámparas UVA con un espectrómetro Ocean Optics Jaz. Nótese que los ocho materiales utilizados en el test target se enumeran en la sección Resources. Fueron seleccionados por sus propiedades de luminescencia conocidas.

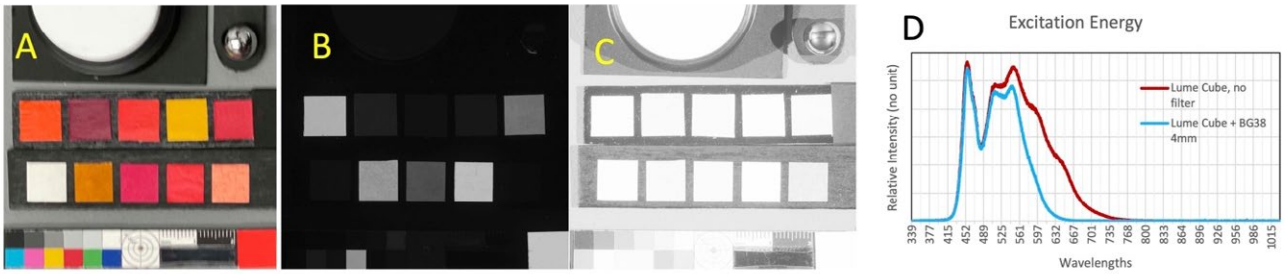


Figure 7 | Comparison of results of V-IL with a properly filtered and unfiltered LED white light. A: visible light image of the test target that consists of ten materials, along with a Spectralon 99% diffuse reflectance standard; B: IR luminescence image of the test target irradiated with a set of two Lume Cube LED white lights filtered with 4mm Schott BG38; C: IR luminescence image of the test target irradiated with a set of two unfiltered Lume Cube LED white lights; D: Measured emission spectra of the Lume Cube LED white light, with or without filtration. Note that the ten materials used in the test target are listed in Resources section. They were chosen for their varying IR luminescence intensities.

Figura 7 | Comparación de los resultados de V-IL con luz LED blanca correctamente filtrada y sin filtrar. A: imagen en luz visible del test target, compuesto por diez materiales y un patrón de reflectancia difusa Spectralon al 99%; B: imagen de luminescencia IR del test target irradiado con un conjunto de dos luces LED blancas Lume Cube filtradas con Schott BG38 de 4 mm; C: imagen de luminescencia IR del test target irradiado con un conjunto de dos luces LED blancas Lume Cube sin filtrar; D: espectros de emisión medidos de la luz LED blanca Lume Cube, con y sin filtración.Nótese que los diez materiales utilizados en el test target se enumeran en la sección Resources. Fueron seleccionados por sus diferentes intensidades de luminescencia infrarroja.

IR (Figure 7D). When unblocked, this parasitic IR reflected from the materials on the test target, resulting in false luminescence (Figure 7B and 7C).

There are effective approaches to evaluate the presence of parasitic radiation, in addition to measuring the emission spectrum of the light source with a spectrometer. The principle involves including a reference in the image that reflects all the wavelengths from the light source but does not luminescence at all, such a Spectralon 99% diffuse reflectance standard mentioned above and a clean shiny metallic sphere suggested by Gibson (Gibson, 1978). Seen in Figures 5 and 6, both references should remain dark to indicate clean capture for all luminescence techniques.

If the lamps are found to produce excessive parasitic radiation, the luminescent results can be misleading. Adding lamp filters can provide a solution without the need to purchase new lights, such as Schott UG-1 for UV lamps for visible luminescence technique and Schott BG38 IR blocking filters for visible light lamps for IR luminescence technique. However, in some cases, the filters might be as expensive or unattainable as purchasing suitable excitation sources.

Light and Radiation Source Output Size

Lights and radiation sources for photography come in various sizes and shapes, including single spots, rectangle or circular panels, or long linear arrays. When they need additional filtration, common for luminescence techniques, smaller output sizes offer greater flexibility for attaching external filters. Smaller lights and radiation sources are easier to handle and to affix light shaping tools, providing they produce required intensity.

corresponden a longitudes de onda específicas. En consecuencia, la radiación parásita IR —típicamente en longitudes de onda IR más cortas— sigue siendo indistinguible en la imagen. La Figura 7 ilustra la diferencia significativa en los resultados obtenidos utilizando una fuente de excitación de luz visible LED, con o sin la adición de filtros de bloqueo IR. Se observó que la luz blanca del LED Lume Cube emitía radiación parásita IR de longitud de onda más corta (Figura 7D). Cuando se desbloqueaba, la radiación parásita IR se reflejaba en los materiales del blanco de prueba, dando lugar a una luminiscencia falsa (Figura 7B y 7C).

Existen métodos eficaces para evaluar la presencia de radiación parásita, además de medir el espectro de emisión de la fuente luminosa con un espectrómetro. El principio consiste en incluir en la imagen una referencia que refleje todas las longitudes de onda de la fuente luminosa pero que no emita luminiscencia alguna, como el patrón de reflectancia difusa Spectralon 99% mencionado anteriormente y una esfera metálica brillante y limpia sugerida por Gibson (Gibson, 1978). En las Figuras 5 y 6, ambas referencias deben permanecer oscuras para indicar una captura limpia para todas las técnicas de luminiscencia.

Si las lámparas producen una radiación parásita excesiva, los resultados de luminiscencia pueden ser engañosos. La adición de filtros a las lámparas puede proporcionar una solución sin necesidad de adquirir nuevas fuentes de radiación, como el caso del filtro Schott para lámparas UV, en la técnica de luminiscencia visible; y Schott BG38 filtros de bloqueo IR para lámparas de luz visible para la técnica de luminiscencia IR. Sin embargo, en algunos casos, los filtros pueden ser tan caros o inalcanzables como la compra de fuentes de excitación adecuadas.

Tamaño de salida de la fuente de luz y radiación

Las luces y fuentes de radiación para fotografía se presentan en varios tamaños y formas, como puntos individuales, paneles rectangulares o circulares, o largas matrices lineales. Cuando necesitan filtración adicional, algo

Continuous Light or Electronic Flash

In film photography for conservation documentation, continuous lights were often favored over electronic flashes. This preference enabled the visual assessment of lighting effects prior to capturing the image (Warda et al., 2011). With digital technology, the image can instantly appear on the monitor/screen for immediate evaluation. Additionally, some electronic flashes come with a modeling light, allowing for live visual assessment. In confined spaces, where the heat generated by continuous incandescent light sources may pose a problem for delicate artifacts, electronic flashes could be a viable choice.

Many electronic flashes emit a substantial amount of near IR, making them suitable not only for visible light but also for reflected IR photography. When properly filtered, they can also be used for V-IL technique. However, it is crucial to note that newer electronic flashes featuring LED modeling lights may lack sufficient IR emission to facilitate camera live view focusing in IR wavelengths, which is a critical step given human eye's inability to perceive IR. In such cases, an additional auxiliary light source rich in IR, even a small one, should be utilized to aid in live view focusing.

Electronic flashes have been utilized for RUVA photography and UVA-VL technique (Eastman Kodak Company, 1972b; Williams & Williams, 2002; Bigras, 2004). Before making a purchase, it is wise to conduct tests to confirm whether the UV output is sufficient for producing informative images. In regard to their use for UVA-VL technique, UV-containing electronic flashes pose a challenge: the final image cannot be visually inspected against the luminescence seen under UV as the human eye

habitual en las técnicas de luminiscencia, los tamaños de salida más pequeños ofrecen mayor flexibilidad para acoplar filtros externos. Las luces y fuentes de radiación más pequeñas son más fáciles de manejar y de acoplar a las herramientas de modelado de la luz, siempre que produzcan la intensidad requerida.

Luz continua o flash electrónico

En la fotografía analógica aplicada a la documentación en conservación, era habitual preferir la iluminación continua a los flashes electrónicos. Esta preferencia permitía evaluar visualmente los efectos de la iluminación antes de capturar la imagen (Warda *et al*., 2011). Con la tecnología digital, la imagen puede aparecer instantáneamente en el monitor/pantalla para su evaluación inmediata. Además, algunos flashes electrónicos vienen con una luz de modelado, lo que permite la evaluación visual en directo. En espacios reducidos, donde el calor generado por las fuentes de luz incandescente continua puede suponer un problema para piezas delicadas, los flashes electrónicos podrían ser una opción viable.

Muchos flashes electrónicos emiten una cantidad considerable de IR cercano, lo que los hace adecuados no sólo para la luz visible, sino también para la fotografía de IR reflejado. Si se filtran adecuadamente, también pueden utilizarse para la técnica V-IL. Sin embargo, es fundamental tener en cuenta que los flashes electrónicos más recientes que incorporan luces LED de modelado pueden carecer de una emisión IR suficiente para facilitar el enfoque en directo de la cámara en longitudes de onda IR, que es un paso crítico dada la incapacidad del ojo humano para percibir el IR. En tales casos, debe utilizarse una fuente de luz auxiliar adicional rica en IR, aunque sea pequeña, para ayudar a enfocar la imagen en directo.

Se han utilizado flashes electrónicos para la fotografía RUVA y la técnica UVA-VL (Eastman Koda Company, 1972b; Williams y Williams, 2002; Bigras, 2004). Antes de realizar una compra, conviene realizar pruebas para confirmar si la

cannot perceive the luminescence resulting from the short burst of UV. In this case, it is essential to incorporate a reliable reference with known luminescence alongside the artifacts for validation purposes.

Direct Light and Diffuse Light

Direct light accentuates surface details, yielding shaper renditions, while diffuse light minimizes harsh shadows. Consequently, direct light is preferred for planar artifacts like works on paper and paintings, whereas diffuse light is more suitable for three-dimensional artifacts. Achieving diffusion with direct light sources in both visible and IR ranges is easily accomplished by incorporating diffusing screens or softboxes. However, shaping diffuse light, such as that from a light panel, into direct light source will be challenging.

UV lamps cannot be diffused without adversely altering its output, which can lead to harsh shadows in the RUVA image of three-dimensional artifacts. These dark shadow areas should be interpreted cautiously and not automatically assumed to be UV absorbent. In the context of the UV-VL techniques, the direct and straight rays of UV radiation are generally not problematic, since the captured energy emanates from the artifacts themselves. Nonetheless, in areas where certain sections receive no irradiation, luminescence will not occur.

Light for Transmitted Methods

In general, setting up transmitted light requires more consideration. A straightforward approach may involve using a lightbox, light panel, or light film illuminated from behind the artifact. Thin LED light film can be more flexible to

potencia UV es suficiente para producir imágenes informativas. En lo que respecta a su uso para la técnica UVA-VL, los flashes electrónicos con UV plantean un reto: la imagen final no puede inspeccionarse visualmente con respecto a la luminiscencia observada bajo UV, ya que el ojo humano no puede percibir la luminiscencia resultante de la breve ráfaga de UV. En este caso, es esencial incorporar una referencia fiable con luminiscencia conocida junto a los objetos a efectos de validación.

Luz directa y luz difusa

La luz directa acentúa los detalles de la superficie, dando lugar a representaciones más perfiladas, mientras que la luz difusa minimiza las sombras duras. Por consiguiente, la luz directa es preferible para los objetos planos, como las obras sobre papel y las pinturas, mientras que la luz difusa es más adecuada para los objetos tridimensionales. La difusión con fuentes de luz directa, tanto en el rango visible como en el IR, se consigue fácilmente incorporando pantallas difusoras o softboxes. Sin embargo, dar forma a la luz difusa, como la procedente de un panel luminoso, en una fuente de luz directa será todo un reto.

Las lámparas UV no pueden difuminarse sin alterar negativamente su salida, lo que puede dar lugar a sombras duras en la imagen RUVA de piezas tridimensionales. Estas zonas de sombras oscuras deben interpretarse con cautela y no suponer automáticamente que son absorbentes de UV. En el contexto de las técnicas UV-VL, los rayos directos y rectos de la radiación UV no suelen ser problemáticos, ya que la energía captada emana de los propios objetos. No obstante, en las zonas en las que determinadas secciones no reciben irradiación, no se producirá luminiscencia.

Luz para métodos transmitidos

En general, la configuración de la luz transmitida requiere una mayor consideración. Un enfoque sencillo puede consistir en utilizar una caja de luz, un panel luminoso o una película luminosa iluminada desde detrás de la pieza.

position within the artifacts, such as book pages. More complicated setup would entail securely positioning the artifact in an upright or angled stance, with the light source positioned behind it and the camera on the opposite side (Kushel, 2011). Most light boxes or light panels are equipped with either fluorescent or LED lights suitable for transmitted visible light photography but insufficient for TIR photography due to limited IR content. Thin light sheets with IR emitting electroluminescent phosphor are available, though are expensive and most relatively small (see Resources section). If regular use of the TIR technique is desired, obtaining a light source with incandescent light sources and proper heat dissipation/ventilation would enable the use of this light source in both transmitted techniques, along with appropriate lens filtration.

Number of Lights and Radiation Sources

Balanced illumination requires at least one set of two lights for reflectance and luminescence techniques. As shown in Table 3, it is possible to use the same light or radiation source for multiple techniques, which is advantageous for minimizing the need to switch light sources between techniques. For extra-large artifacts, additional lights and radiation sources might be necessary to ensure proper illumination or irradiation across the entire artifact.

Typically, a separate light box is utilized for transmitted mode, but existing light source, if they have the required wavelength range, can suffice if the object can be safely positioned between the camera and the light source. If the budget permits, adding additional light(s) designated for raking or specular illumination can save time in moving lights to different locations,

Una fina película de luz LED puede ser más flexible para colocarla dentro de los objetos, como las páginas de un libro. Una configuración más complicada implicaría la colocación segura de la pieza en posición vertical o inclinada, con la fuente de luz situada detrás y la cámara en el lado opuesto (Kushel, 2011). La mayoría de las cajas de luz o paneles luminosos están equipados con luces fluorescentes o LED adecuadas para la fotografía con luz visible transmitida, pero insuficientes para la fotografía TIR debido a su contenido IR limitado. Existen láminas de luz delgadas con fósforo electroluminiscente emisor de IR, aunque son caras y la mayoría relativamente pequeñas (véase la sección Recursos). Si se desea un uso regular de la técnica TIR, la obtención de una fuente de luz incandescente y una disipación/ventilación de calor adecuada permitiría el uso de esta fuente de luz en ambas técnicas transmitidas, junto con un filtrado de lente adecuado.

Número de lámparas y fuentes de radiación

Una iluminación equilibrada requiere al menos un juego de dos lámparas para las técnicas de reflectancia y luminiscencia. Como se muestra en la Tabla 3, es posible utilizar la misma fuente de luz o radiación para múltiples técnicas, lo que resulta ventajoso para minimizar la necesidad de cambiar de fuente de luz entre técnicas. En el caso de piezas de gran tamaño, pueden ser necesarias luces y fuentes de radiación adicionales para garantizar una iluminación o irradiación adecuadas en todo el objeto.

Normalmente, se utiliza fuente de luz independiente para el modo de luz transmitida, pero puede usarse una fuente de luz existente —si cubre el rango de longitudes de onda necesario— y, de hecho, puede ser suficiente siempre que el objeto pueda colocarse de forma segura entre la cámara y la fuente de luz. Si el presupuesto lo permite, añadir luz(es) adicional(es) designada(s) para la iluminación rasante o especular puede ahorrar tiempo en el traslado de las luces a diferentes lugares, aunque no es esencial ya que las luces existentes para la iluminación normal pueden servir para estas dos técnicas de iluminación.

although it is not essential as the existing lights for normal illumination can serve these two lighting techniques.

Special Light Sources

There have been efforts to simplify the lighting setup for full-spectrum imaging with single light units, like flash tube with UV output (Verri & Saunders, 2014), and LED light sets incorporating visible, UV, and IR LEDs (Geffert, 2023). While these sources have not been widely adopted and may require further testing, this advancement streamlines the capture process for various techniques, making a welcome step forward in the standardization of full spectrum imaging with a modified UV-VIS-IR color camera.

Backgrounds for Full-Spectrum Imaging

A commonly accepted practice in conservation imaging is the use of neutral gray or black backgrounds (Warda et al., 2011). Neutral middle gray is particularly valuable as it avoids influencing exposure and can be employed for white balance adjustments and exposure evaluation. Black backgrounds effectively minimize stray light from background reflections and can obscure shadows cast by 3D artifacts. Ideally, maintaining the same background across various techniques reduces the need to move artifacts and change backgrounds. With full-spectrum imaging, it is crucial to ensure that any gray or black background used does not produce undesirable effects, such as high reflectivity in UV or IR, or noticeable luminescence, as these could contaminate the luminescence emitted by the artifact.

Fuentes de luz especiales

Se han realizado esfuerzos para simplificar la configuración de la iluminación para la captura de imágenes de espectro completo con unidades de luz únicas, como el tubo de flash con salida UV (Verri y Saunders, 2014), y conjuntos de luces LED que incorporan LED visibles, UV e IR (Geffert, 2023). Aunque estas fuentes no se han adoptado de forma generalizada y pueden requerir más pruebas, este avance agiliza el proceso de captura para diversas técnicas, lo que supone un bienvenido paso adelante en la estandarización de la captura de imágenes de espectro completo con una cámara en color UV-VIS-IR modificada.

Fondos para imágenes de espectro completo

Una práctica comúnmente aceptada en las imágenes de conservación es el uso de fondos grises neutros o negros (Warda *et al.*, 2011). El gris medio neutro es especialmente valioso, ya que evita influir en la exposición y puede emplearse para ajustar el balance de blancos y evaluar la exposición. Los fondos negros minimizan eficazmente la luz parásita procedente de los reflejos del fondo y pueden ocultar las sombras proyectadas por objetos 3D. Lo ideal es mantener el mismo fondo en varias técnicas para reducir la necesidad de mover los objetos y cambiar los fondos. En el caso de las imágenes de espectro completo, es fundamental asegurarse de que cualquier fondo gris o negro utilizado no produzca efectos no deseados, como una alta reflectividad en UV o IR, o una luminiscencia notable, ya que podrían contaminar la luminiscencia emitida por el objeto.

Los fondos disponibles en el mercado se comercializan exclusivamente para fotografía con luz visible. Los distintos materiales pueden responder de forma diferente en las longitudes de onda invisibles. Es una buena práctica realizar pruebas antes de decidirse por un fondo, simplemente

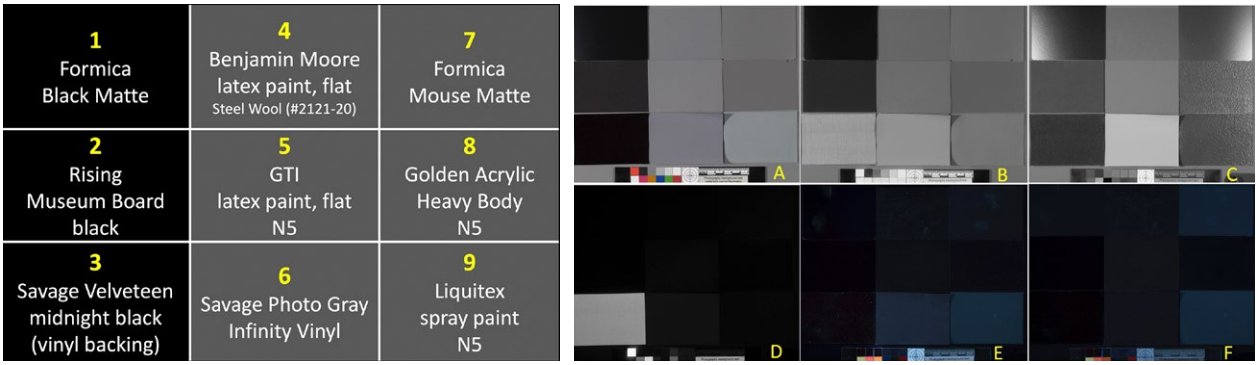


Figure 8 | Tested black and gray background materials. Top: names of the samples tested. Bottom: samples recorded using various techniques. A: visible light; B: RIR; C: RUVA; D: V-IL; E: UVA-VL; F: UVC-VL. The support used to apply gray paints (No. 4, 5, 8, 9) is white Foba TT-Plast plastic background sheet.

Figura 8 | Materiales de fondo negros y grises sometidos a prueba. En la parte superior se muestran los nombres de las muestras analizadas y, en la parte inferior, las mismas registradas con distintas técnicas: A, luz visible; B, RIR; C, RUVA; D, V-IL; E, UVA-VL; F, UVC-VL. El soporte utilizado para aplicar las pinturas grises (n.os 4, 5, 8 y 9) es una lámina plástica blanca Foba TTPlast.

Commercially available backgrounds are exclusively marketed for visible light photography. Differentmaterials might respond differently in the invisible wavelengths. It is good practice to run tests before deciding on a background to use, simply taking pictures with different techniques to evaluate the results, as seen in Figure 8. Conducting color measurements of the gray background materials can also provide invaluable information about their neutrality, as seen in Table 4. The limited samples presented were the final selection based on the finding of a preliminary test. No rolled seamless paper or fabric background materials, black or gray, were included as all of them are either highly reflective in near IR or exhibiting visible and/or IR luminescence. Among different shades of gray Formica laminates, only Formica Mouse laminate was included as it exhibited only dim luminescence under UVA and measured to be relatively neutral.

tomando fotografías con diferentes técnicas para evaluar los resultados, como se ve en la Figura 8. Realizar mediciones de color de los materiales de fondo gris también puede proporcionar información muy valiosa sobre su neutralidad, como se ve en la Tabla 4. Las muestras limitadas presentadas fueron la selección final basada en el resultado de una prueba preliminar. No se incluyeron materiales de fondo de papel o tejido sin costuras enrollados, negros o grises, ya que todos ellos son muy reflectantes en el IR cercano o presentan luminiscencia visible y/o IR. Entre los diferentes tonos de laminados grises de Formica, sólo se incluyó el laminado Formica Mouse, ya que sólo presentaba una tenue luminiscencia bajo los rayos UVA y resultó ser relativamente neutro.

Se pueden extraer algunas observaciones de las imágenes y de la medición del color de los 3 negros y 6 grises presentados y de la prueba preliminar.

Table 4 | L*a*b* and Adobe RGB Data of the Gray Background Materials Tested.

Tabla 4 | Datos L*a*b* y Adobe RGB de los materiales de fondo gris probados.

		L*a*b*			Adobe RGB 1998		
Background Materials		L*	a*	b*	R	G	B
4	Benjamin Moore Steel Wool Flat	50.32	-0.54	-0.61	125	127	128
5	GTI N5 Matte	51.85	-0.18	0.08	130	130	130
6	Savage Photo Gray Infinity Vinyl	50.08	-0.53	-3.34	123	127	131
7	Formica Mouse Matte	50.29	-1.22	1.09	125	127	125
8	Golden Acrylic Heavy Body N5	48.5	0.08	0.83	123	122	121
9	Liquitex Spray Paint N5	59.57	-1.99	-1.16	145	150	151

All measurements were taken using an X-Rite i1 Pro spectrophotometer under D65 illuminant conditions and collected with the SpectraShop 6 software.

Todas las mediciones se realizaron con un espectrofotómetro X-Rite i1 Pro en condiciones de iluminación D65 y se recogieron con el software SpectraShop 6.

Some observation can be drawn from the images and the color measurement of the 3 blacks and 6 grays presented and the preliminary test.

- Among the samples tested, black Rising Museum Board (No. 3) and Golden Acrylic Heavy Body N5 (No. 8) are identified as good backgrounds for full spectrum imaging.

- Formica Black Matte laminate (No. 1), Formica Mouse Matte laminate (No. 7), Benjamin Moore Steel Wool paint (No. 4), and GTI N5 paint (No. 5) are deemed suitable background materials. However, it was observed that these materials emit noticeable amount of visible light when irradiated with UVC. This emission may affect the luminescence from the artifacts only with prolonged exposure.

- Savage Velveeten black (No. 3) is suitable for visible light photography and UV-induced visible luminescence, but not suitable for reflected IR and IR luminescence techniques.

- Entre las muestras probadas, el cartón negro Rising Museum Board (n.º 3) y el acrílico dorado Golden Acrylic Heavy Body N5 (n.º 8) se identifican como buenos fondos para la obtención de imágenes de espectro completo.

- El laminado Formica Black Matte (nº 1), el laminado Formica Mouse Matte (nº 7), la pintura Benjamin Moore Steel Wool (nº 4) y la pintura GTI N5 (nº 5) se consideran materiales de fondo adecuados. Sin embargo, se ha observado que estos materiales emiten una cantidad notable de luz visible cuando se irradian con UVC. Esta emisión puede afectar a la luminiscencia de los objetos sólo con una exposición prolongada.

- El negro Savage Velveeten (nº 3) es adecuado para la fotografía con luz visible y la luminiscencia visible inducida por UV, pero no es adecuado para las técnicas de IR reflejado y luminiscencia IR.

- La pintura en aerosol Liquitex N5 (n.º 9) es adecuada como material de fondo, excepto para las dos técnicas de luminiscencia visible inducida por UV. Su medición del color reveló que su tono gris es notablemente más claro que el gris medio y no tan neutro como las demás pinturas grises probadas.

Table 5 | Assessment of the Background Materials Presented in Figure 8 and Table 4.

Tabla 5 | Evaluación de los materiales de fondo presentados en la Figura 8 y en la Tabla 4.

Imaging Techniques | Técnicas de imagen	Background Materials | Materiales de referencia								
	Black | Negro			Gray | Gris					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Visible light | Luz visible									
RIR									
RUVA									
UVA-VL									
UVC-VL									
V-IL									

Suitable | Adecuado. *Okay but used with caution | Está bien, pero úselo con precaución.* *Not suitable | No adecuado.*

- Liquitex N5 spray paint (No. 9) is suitable as a background material, except for both UV-induced visible luminescence techniques. Its color measurement revealed that its gray shade is noticeably lighter than middle gray and not as neutral as the other gray paints tested.

- Savage Photo Gray Infinity Vinyl (No. 6) is suitable for visible light photography but not full spectrum imaging. Its color measurement revealed a slight blue tint.

- It should be noted regarding the making or use of these backgrounds:

  a. Formica Mouse Matte, Formica Black Matte, Golden Acrylic Heavy Body N5, and Liquitex N5 Spray Paint have a slight surface sheen, which may potentially produce stray light from surface reflections to the incident light. This stray light would only be a concern when ambient reflection is strictly prohibited.

- El vinilo Savage Photo Gray Infinity (n.º 6) es adecuado para fotografía con luz visible, pero no para imágenes de espectro completo. Su medición del color reveló un ligero tinte azul.

- Debe tenerse en cuenta lo relativo a la elaboración o utilización de estos fondos:

  a. Formica Mouse Matte, Formica Black Matte, Golden Acrylic Heavy Body N5 y Liquitex N5 Spray Paint tienen un ligero brillo en la superficie, que puede producir luz parásita debido a los reflejos de la superficie en la luz incidente. Esta luz parásita sólo sería un problema cuando la reflexión ambiental está estrictamente prohibida.

  b. Las pinturas mates planas, como GTI N5 y Benjamin Moore Steel Wool tested, se rayan y ensucian con facilidad. No se pueden limpiar con ningún líquido. Aplicar una nueva capa puede refrescar la superficie.

b. Flat matte paints, such as GTI N5 and Benjamin Moore Steel Wool tested, can be easily scuffed and soiled. They cannot be cleaned with any liquid. Applying a new coat can refresh the surface.

c. Golden Acrylic Heavy Body N5 does not level well without dilution. Spraying application might be an option for even application, although this was not explored during this test.

d. Velvet surfaces collect lint which will luminesce under UV and should be cleaned with a lint roller regularly.

Reference Target

The practice of imaging for conservation purposes commonly involves including references alongside the artifact to create trustworthy images. The American Institute for Conservation published Commentaries to the Guidelines for Practice in 2001 to expand on its Code of Ethics and Guidelines for Practice. It recommends that photographic documentation include "information that uniquely identifies the cultural property; date; size scale; color and gray scales; a light direction indicator; photographic and point-of-view indicators, if required" (AIC, 2008). Ideally, with good reference materials incorporated within the images, these photographic records not only can be evaluated by the image creators but also by future viewers and users. They will have clear provenance and be self-explanatory, as shown in Figure 9, which will be less likely to be misinterpreted in the future.

c. Golden Acrylic Heavy Body N5 no se nivela bien sin dilución. La aplicación por pulverización podría ser una opción para una aplicación uniforme, aunque esto no se exploró durante esta prueba.

d. Las superficies de terciopelo acumulan pelusas que se iluminan bajo los rayos UV y deben limpiarse regularmente con un rodillo para pelusas.

Carta de referencia

La práctica de la creación de imágenes con fines de conservación suele implicar la inclusión de referencias junto a la pieza para crear imágenes fidedignas. El Instituto Americano de Conservación publicó en 2001 los Comentarios a las Directrices para la Práctica con el fin de ampliar su Código Ético y Directrices para la Práctica. Recomienda que la documentación fotográfica incluya "información que identifique de forma exclusiva el bien cultural; fecha; escala de tamaño; escalas de color y grises; un indicador de dirección de la luz; indicadores fotográficos y de punto de vista, si es necesario" (AIC, 2008). Idealmente, con buenos materiales de referencia incorporados a las imágenes, estos registros fotográficos no sólo podrán ser evaluados por los creadores de las imágenes, sino también por futuros espectadores y usuarios. Tendrán una procedencia clara y serán autoexplicativos, como se muestra en la Figura 9, por lo que será menos probable que, en el futuro, sean susceptibles de malinterpretarse.

Las escalas de grises y de color sirven como dos referencias críticas para la evaluación de la exposición y la calibración del color (o ajuste del balance de blancos). Muchas tarjetas y cartas de color disponibles en el mercado se fabrican principalmente para fotografía con luz visible, como el X-Rite

Table 6 | Comparison of Available Reference Targets and Materials.

	Item cost estimate (relevant literature if applicable)	Techniques Applicable to	Main function	Pros	Cons
1	X-Rite ColorChecker, various sizes $74 to $190 (Kushel 2011; Dyer et al., 2013)	· Visible light · RIR · RUVA	· To help establish adequate exposure and color rendering. · The grayscale can be used for RIR and RUVA exposure guide (not true standard for both techniques).	· Enable the creation of camera profile for better color rendering.	· Not adequate for luminescence techniques. · Square format, taking up space if placing along with the artifact.
2	X-Rite ColorChecker Digital SG $380 (van Dormolen 2012)	· Visible light · RIR · RUVA	· As No. 1	· Provide higher color and tonal calibration.	· Not to be used along with artifacts.
3	Munsell Linear Grayscale $175	· Visible light · RIR · RUVA	· To help establish proper exposure and tonal reproduction for increased accuracy. · The grayscale can be used for RIR and RUVA exposure guide (not true standard for both techniques).	· Easy placement along the object.	· Not for both luminescence techniques.
4	ISA Object-Level Targets $435 - $530 (Burns & Williams, 2007)	· Visible light · RIR · RUVA	· As No. 1	· Work with FADGI Guideline. · Easy placement along the object.	· Not for both luminescence techniques.
5	AIC PhD targets (Kushel et al., 2008)	· Visible light · RIR · RUVA	· As No. 1 · Features to reflect lighting methods; ruler to indicate size; a placeholder for object information.	· Designed specifically for conservation documentation . · Several features in one linear design for easy placement along the object.	· No longer commercially available.
6	RMI Conservation Target $100	· Visible light · RIR · RUVA	· As No. 1 · Features similar to No. 5, AIC PhD targets. · Indicator for polarized lighting.	· Several features in one linear design for easy placement along the object.	· Medium size only (15 cm). · Not for both luminescence techniques.
7	LabSphere Spectralon Diffuse Reflectance Standard, white (99% reflectance) $488 - $595 (Dyer et al., 2013)	· Visible light · RIR · RUVA · UVA-VL & UVC-VL · V-IL & UVA-IL	· As an exposure standard for all reflectance photography. · To check for stray and parasitic radiation for luminescence methods.	· True standards for accurate reflectance assessment.	· Only two sizes (1 inch and 2 inches). · Not inexpensive.
8	LabSphere Spectralon Diffuse Reflectance Standards, set of 4, with 99%, 75%, 50%, and 2% reflectance $1525 (Dyer et al., 2013)	· Visible light · RIR · RUVA · UVA-VL & UVC-VL · V-IL & UVA-IL	· The 99% reflectance standard is the same as that in No. 7, providing the same function stated above. · A set of different reflectance can help for better tonal reproduction.	· Same as No. 7.	· Same as No. 7.
9	Shiny metallic spheres (Gibson, 1978; Kushel, 2011; Davies, 2018; Keller et al., 2019)	· UVA-VL & UVC-VL · V-IL & UVA-IL	· To check for stray and parasitic radiation for luminescence methods.	· Very affordable, such as stainless ball bearings. · Many sizes to choose from.	· Required to be fixed in position for use.
10	Target UV and Gray Card $875 (Sexton et al., 2014)	· UVA-VL	· For exposure and color rendering.	· The only tested reference for UV-VL commercially available. · Four difference intensities to choose from for materials with different luminescent intensities.	· Not inexpensive.
11	Zinc white, rose madder and shellac (Kushel, 2011)	· UVA-VL	· As visual references.	· Possible existing materials within conservation laboratories.	· Used within one's setting, not standardized.
12	Cadmium red (Kushel, 2011)	· V-IL	· As an exposure reference.	· Possible existing materials within conservation laboratories.	· Used within one's setting, not standardized.
13	Egyptian blue (Verri, 2009)	· V-IL	· As an exposure reference.	· Possible existing materials within conservation laboratories.	· Used within one's setting, not standardized.
14	TP-MSI Calibration card 240€	· Visible light · RIR · RUVA · UV-VL · V-IL	· To help establish standardized exposure and color rendering of the imaging techniques listed on the left.	· The only commercially available reference marketed for technical imaging and multispectral imaging. · Compact for easy placement along the artifact.	· Not a tested standard. · Hand-coated reference materials, potentially with uneven pixel value.
15	UVA grayscale (Crowther, 2018)	· RUVA	· To calibrate UVA reflectance.	· Low-cost. · Can be created in any sizes.	· Requiring some time to create.

Tabla 6 | Comparación de tarjetas y cartas de referencia disponibles.

	Artículo estimación de costes (bibliografía pertinente, si procede)	Técnicas aplicables a	Función principal	Pros	Contras
1	X-Rite ColorChecker, varios tamaños De 74 a 190 dólares (Kushel 2011; Dyer et al., 2013)	· Luz visible · RIR · RUVA	· Para ayudar a establecer una exposición y reproducción del color adecuadas. · La escala de grises se puede utilizar para la guía de exposición RIR y RUVA (no es un verdadero estándar para ambas técnicas).	· Permite crear perfiles de cámara para mejorar la reproducción cromática.	· No es adecuado para las técnicas de luminiscencia. · Formato cuadrado, ocupa espacio si se coloca junto al objeto.
2	X-Rite ColorChecker Digital SG $380 (van Dormolen 2012)	· Luz visible · RIR · RUVA	· Como nº 1.	· Proporcionan una mayor calibración del color y los tonos.	· No debe utilizarse junto con objetos.
3	Munsell Escala de grises lineal $175	· Luz visible · RIR · RUVA	· Para ayudar a establecer la exposición adecuada y la reproducción tonal para una mayor precisión. · La escala de grises se puede utilizar para la guía de exposición RIR y RUVA (no es un verdadero estándar para ambas técnicas).	· Fácil colocación a lo largo del objeto.	· No para ambas técnicas de luminiscencia.
4	Tarjetas a nivel de objeto ISA $435 - $530 (Burns & Williams, 2007)	· Luz visible · RIR · RUVA	· Como nº 1.	· Trabajar con la directriz FADGI. · Fácil colocación a lo largo del objeto.	· No para ambas técnicas de luminiscencia.
5	Objetivos de doctorado de la AIC (Kushel et al., 2008)	· Luz visible · RIR · RUVA	· Como nº 1. · Características para reflejar los métodos de iluminación; regla para indicar el tamaño; un marcador de posición para la información del objeto.	· Diseñado específicamente para la documentación de conservación. · Varias funciones en un diseño lineal para facilitar la colocación a lo largo del objeto.	· Ya no se comercializa.
6	Tarjeta de conservación de la RMI $100	· Luz visible · RIR · RUVA	· Como nº 1. · Características similares al nº 5, a las de la AIC. · Indicador de iluminación polarizada.	· Varias funciones en un diseño lineal para facilitar la colocación a lo largo del objeto.	· Sólo tamaño mediano (15 cm). · No para ambas técnicas de luminiscencia.
7	Patrón de reflectancia difusa LabSphere Spectralon, blanco (99% de reflectancia) $488 - $595 (Dyer et al., 2013)	· Luz visible · RIR · RUVA · UVA-VL & UVC-VL · V-IL & UVA-IL	· Como norma de exposición para toda la fotografía de reflectancia. · Para comprobar la radiación parásita y parásita de los métodos de luminiscencia.	· Normas reales para una evaluación precisa de la reflectancia.	· Sólo dos tamaños (1 pulgada y 2 pulgadas) · No es barato
8	Patrones de reflectancia difusa LabSphere Spectralon, juego de 4, con reflectancia del 99%, 75%, 50% y 2%. $1525 (Dyer et al., 2013)	· Luz visible · RIR · RUVA · UVA-VL & UVC-VL · V-IL & UVA-IL	· El patrón de reflectancia del 99% es el mismo que el del nº 7, y ofrece la misma función indicada anteriormente. · Un conjunto de diferentes reflectancias puede ayudar a una mejor reproducción tonal.	· Igual que el nº 7.	· Igual que el nº 7.
9	Esferas metálicas brillantes (Gibson, 1978; Kushel, 2011; Davies, 2018; Keller et al., 2019)	· UVA-VL & UVC-VL · V-IL & UVA-IL	· Para comprobar la radiación parásita y parásita de los métodos de luminiscencia.	· Muy asequibles, como los rodamientos de bolas inoxidables. · Muchos tamaños para elegir.	· Debe fijarse para su uso.
10	Tarjeta UV y tarjeta gris $875 (Sexton et al., 2014)	· UVA-VL	· Para la exposición y la reproducción del color.	· La única referencia probada para UV-VL disponible en el mercado. · Cuatro intensidades diferentes a elegir para materiales con diferentes intensidades luminiscentes.	· No es barato.
11	Blanco de cinc, rosa mosqueta y goma laca (Kushel, 2011)	· UVA-VL	· Como referencias visuales.	· Posibles materiales existentes en los laboratorios de conservación.	· Utilizado en el propio entorno, no normalizado.
12	Rojo cadmio (Kushel, 2011)	· V-IL	· Como referencia de exposición.	· Posibles materiales existentes en los laboratorios de conservación.	· Utilizado en el propio entorno, no normalizado.
13	Azul egipcio (Verri, 2009)	· V-IL	· Como referencia de exposición.	· Posibles materiales existentes en los laboratorios de conservación.	· Utilizado en el propio entorno, no normalizado.
14	TP-MSI Tarjeta de calibración 240€	· Luz visible · RIR · RUVA · UV-VL · V-IL	· Para ayudar a establecer la exposición estandarizada y la reproducción del color de las técnicas de imagen enumeradas a la izquierda.	· La única referencia comercializada para imágenes técnicas y multiespectrales. · Compacto para facilitar su colocación a lo largo del objeto.	· No es una norma probada · Materiales de referencia recubiertos a mano, potencialmente con un valor de píxel desigual.
15	Escala de grises UVA (Crowther, 2018)	· RUVA	· Para calibrar la reflectancia UVA.	· Bajo coste · Puede crearse en cualquier tamaño	· Requiere tiempo para su creación.

Figure 9 | Images with a reference target which provides the information about the lighting (left, normal illumination; right, raking illumination), gray patches for evaluating exposure, size reference, date of capture, object identification, and note on the stage of the project. The reference target used is a revised version of AIC PhD target, custom-made to include UV-VL references (zinc white, rose madder, and shellac) and a V-IL reference (cadmium red).

Figura 9 | Imágenes con un *target* de referencia, que proporciona información sobre la iluminación (izquierda, iluminación normal; derecha, iluminación rasante), parches de grises para evaluar la exposición, referencia de tamaño, fecha de captura, identificación del objeto y una nota sobre la fase del proyecto. El *target* de referencia utilizado es una versión revisada del AIC PhD target, fabricada a medida para incluir referencias UV-VL (blanco de zinc, rosa de garanza y goma laca) y una referencia V-IL (rojo de cadmio).

The gray and color scales serve as two critical references for exposure evaluation and color calibration (or white balance setting). Many commercially available targets and color charts are primarily manufactured for visible light photography, such as X-Rite ColorChecker and Image Science Associate Object Level Targets. Techniques involving UV or IR or images captured in the UV and IR spectra, however, will require different references for checking exposure and color rendering. Table 6 lists reference targets or materials mentioned in literature or known to be used for conservation imaging and what they have been used for. It is not meant to be an exhaustive list but to provide a framework for examining different targets, their usage, functions, and their pros and cons. The combination of some to create one single item could help to simplify the placement of the targets and streamline the workflow.

ColorChecker o las Image Science Associate Object Level Targets. Sin embargo, las técnicas que utilizan UV o IR o las imágenes capturadas en los espectros UV e IR requerirán referencias diferentes para comprobar la exposición y la reproducción del color. En la Tabla 6 se enumeran las tarjetas o cartas de referencia mencionadas en la bibliografía o que se sabe que se utilizan para la obtención de imágenes de conservación, con indicación específica de para qué se han utilizado. No pretende ser una lista exhaustiva, sino proporcionar un marco para examinar los diferentes tipos de tarjeta, su uso, sus funciones y sus ventajas e inconvenientes. La combinación de referencias de diversos tipos de carta podría ayudar a simplificar la colocación de tarjetas de referencia y agilizar el flujo de trabajo.

Conclusions

A modified UV-VIS-IR color camera, with sensitivity to record artifacts' interaction and responses across UV, visible, and IR wavelengths, significantly broadens individuals' investigative potential. Serving as an effective initial step similar to a survey, this type of camera can be used to perform many imaging techniques and is widely acknowledged for its utility in studying artifacts and making discoveries, as evidenced from the cited literature. However, the challenge remains in integrating these imaging techniques into routine practice.

Creating credible images and ensuring consistency should arguably serve as the guiding principles when assembling tools, equipment, creating workflows for conservation purposes. Guided by these two principles, this paper presents factors to consider based on clinical experiences and tests conducted in setting up imaging studios for teaching emerging conservators. It covers various aspects, including cameras, image capture and processing software, lenses, lens filters, lights and radiation sources, backgrounds, and reference targets.

These considerations emphasize the factors that promote ease of use and that streamline the workflow in order to minimize working time and enhance efficiency, ultimately encouraging regular practice and maintaining consistency. They range from strategic decisions such as minimizing the number and types of lights and radiation source, to finer details like obtaining lenses with similar, if not identical, thread sizes. Additionally, elements influence image quality and credibility of the images are also addressed. Practical tests are presented on how to evaluate the adequacy of the excitation sources for luminescence techniques

Conclusiones

Una cámara en color UV-VIS-IR modificada, con sensibilidad para registrar la interacción y las respuestas de los objetos en las longitudes de onda UV, visible e IR, amplía significativamente el potencial de investigación. Este tipo de cámara, que constituye un paso inicial eficaz similar a una encuesta, puede utilizarse para realizar numerosas técnicas de obtención de imágenes y su utilidad para estudiar objetos patrimoniales y realizar descubrimientos es ampliamente reconocida, como demuestra la bibliografía citada. Sin embargo, sigue siendo un reto integrar estas técnicas de obtención de imágenes en la práctica rutinaria.

Podría decirse que la creación de imágenes creíbles y la garantía de coherencia deberían ser los criterios fundamentales a la hora de reunir herramientas, equipos y crear flujos de trabajo con fines de conservación. Guiado por estos dos principios, este artículo presenta factores a tener en cuenta basados en experiencias de laboratorio y pruebas realizadas en la creación de estudios de imagen para la enseñanza de conservadores emergentes. Abarca diversos aspectos, como cámaras, software de captura y procesamiento de imágenes, objetivos, filtros para objetivos, luces y fuentes de radiación, fondos y tarjetas de referencia.

Estas consideraciones hacen hincapié en los factores que favorecen la facilidad de uso y que agilizan el flujo de trabajo, con el fin de minimizar la inversión de tiempo y mejorar la eficacia, fomentando en última instancia la práctica regular y manteniendo la coherencia. Abarcan desde decisiones estratégicas como minimizar el número y los tipos de luces y la fuente de radiación, hasta detalles más sutiles como la obtención de objetivos con tamaños de rosca similares, si no idénticos. Además, también se abordan elementos que influyen en la calidad y credibilidad de las imágenes. Se presentan pruebas prácticas sobre cómo evaluar la idoneidad de las fuentes de excitación para las técnicas de luminiscencia y encontrar fondos adecuados para las imágenes de espectro completo. Los

and to find suitable backgrounds for full-spectrum imaging. The test results can inform adjustments, workarounds, or cautious interpretation of the resulting images. Several reference targets and materials were evaluated for their intended purpose and advantages and disadvantages. It should be standard practice to include relevant reference targets or materials alongside the artifacts during capture. This ensures specific capture settings are preserved within the image and underscores its credibility and provenance.

There is no one-size-fits-all toolkit for full-spectrum imaging. The arguments and options presented in this article are intended to serve as practical guidelines to assist individuals in selecting appropriate tools and equipment tailored to their needs and constraints.

resultados de las pruebas pueden servir de base para realizar ajustes, encontrar soluciones o interpretar con cautela las imágenes resultantes. Se evaluaron varias tarjetas de referencia en función de su finalidad prevista y de sus ventajas e inconvenientes. Debería ser una práctica habitual el incluir cartas, tarjetas y materiales de referencia relevantes junto a las piezas durante la captura. De este modo se garantiza la conservación de los ajustes de captura específicos dentro de la imagen y se subraya su credibilidad y procedencia.

No existe un conjunto de herramientas único para la obtención de imágenes de espectro completo. Los argumentos y las opciones que se presentan en este artículo pretenden servir como directrices prácticas para ayudar a las personas a seleccionar herramientas y equipos adecuados, adaptados a sus necesidades y limitaciones.

References | Bibliografía

Allied Vision. (2024). *CCD or CMOS – Key Differences between both sensor technologies*. A White Paper, Allied Vision Technologies GmbH, Germany. https://cdn.alliedvision.com/fileadmin/content/documents/landing-pages/AlliedVision_Whitepaper_CCD_CMOS_Comparison_V1.0_EN.pdf

American Institute for Conservation (AIC). (2008). *Commentaries to the guidelines for practice of the American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works*. American Institute for Conservation. https://www.culturalheritage.org/docs/default-source/resources/governance/organizational-documents/commentaries-to-the-guidelines.pdf?sfvrsn=bb886e43_20

Bigras, C. (2004). Ultraviolet fluorescence photography using a digital camera with electronic flash strobe. *CCI Newsletter, No. 34*, 10-11.

Burns, P.D., & Williams, D. (2007, May 21-24). Ten tips for maintaining digital image quality. *Proceeding of IS&T Archiving Conference* 2007, pp. 16-22. https://doi.org/10.2352/issn.2168-3204.2007.4.1.art00005

Cosentino, A. (2014). Identification of pigments by multispectral imaging: a flowchart method. *Heritage Science 2*, article 8. https://doi.org/10.1186/2050-7445-2-8

Crowther, J. (2018). Calibrating UVA reflectance photographs – standardization using a low-cost method. *Journal of Visual Communication in Medicine 41*(3), pp. 109-117. https://doi.org/10.1080/17453054.2018.1476819

Davidhazy, A. (2006). *Infrared and ultraviolet photography: theory, techniques, and practice*. Rochester Institute of Technology. http://www.davidhazy.org/andpph/text-ir-uv-book.pdf

Davidhazy, A. (2008). *The infrared luminescence technique for document examination and forgery analysis*. RIT Scholar Works. Rochester Institute of Technology. https://repository.rit.edu/article/484/

Davies, A., & Crowther, J. (2020). Dermatological imaging: a survey of techniques. In P. Pasquali (Ed.), *Photography in Clinical Medicine* (pp. 481-496). https://doi.org/10.1007/978-3-030-24544-3_28

Davies, A. (2018). *Digital ultraviolet and infrared photography (1st ed.)*. Routledge. https://doi.org/10.4324/9781315515090-1

Dyer, J., Verri, G., & Cupitt, J. (2013). *Multispectral imaging in reflectance and photo-induced luminescence modes: a user manual*. European CHARISMA Project.

Eastman Kodak Company. (1972a). *Applied infrared photography*. (Kodak Publication No. M-28).

Eastman Kodak Company. (1972b). *Ultraviolet and fluorescence photography*. (Kodak Publication No. M-27).

Eastman Kodak Company. (1981). *Kodak filters for scientific and technical uses (2nd ed.)*. (Kodak Publication No. B-3).

Edwards, G., & Oey, M. (Eds). (2018). *Digital imaging workflow for treatment documentation (3rd ed.)*. Conservation Division, Preservation Directorate, Library of Congress. https://www.loc.gov/preservation/resources/ImageDoc/index.html

Geffert, S. (2023, May 16-20). *Standardization of multiband illumination for conservation documentation* [Conference presentation]. American Institute for Conservation 51st Annual Meeting, Jacksonville, FL, United States.

Gibson, J.H. (1978). *Photography by infrared: its principles and application (3rd ed.)*. Wiley.

Imaging Working Group. (2024). The Imaging Wiki. https://www.conservation-wiki.com/wiki/Category:Imaging

Keller, A.T., Lenz, R., Artesani, A., Mosca, S., Comelli, D., & Nevin, A. (2019). Exploring the ultraviolet induced Infrared luminescence of titanium white pigments. In M. Picollo, M. Stols-Witlox, & L. Fuster López (Eds.), *UV-Vis Luminescence: imaging techniques, Conservation 360º* (pp. 201-232). Editorial Universitat Politècnica de València. https://doi.org/10.4995/360.2019.110002

Kushel, D. (1980). *Photodocumenatation for conservation: Procedural Guidelines and Photographic Concepts and Techniques*. American Institute for Conservation.

Kushel, D., Chen, J.J., & Casella, L. (2008). A photographic reference plate for conservation documentation. *Published online along with the launch of AIC PhD target sale in 2008*.

Kushel, D. (2011). Photographic Techniques for Conservation. In J. Warda (Ed.) *The AIC guide to digital photography and conservation documentation* (2nd ed., pp. 121-123). American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works.

MacDonald-Korth, E. (2023). Technical imaging for private practice conservators. *Journal of the American Institute for Conservation. Published online 7 Jul 2023*. https://doi.org/10.1080/01971360.2022.2161865

Richards, A. (2001). *Alien Vision, Exploring the electromagnetic spectrum with imaging technology*. SPIE Press. https://doi.org/10.1117/3.419855

Sexton, M.J., Messier, P., & Chen, J.J. (2014, May 28-31). *Development and testing of a fluorescence standard for documenting ultraviolet induced visible fluoescence* [Conference presentation]. American Institute for Conservation 42nd Annual Meeting, San Francisco, CA, United States.

van Dormolen, H. (2012). *Metamorfoze preservation imaging guidelines*. National Archives of the Netherlands. https://doi.org/10.2352/issn.2168-3204.2012.9.1.art00041

Verri, G. (2009). The spatially resolved characterization of Egyptian blue, Han blue and Han purple by photo-induced luminescence digital imaging. *Analytical and Bioanalytical Chemistry, 394*, 1011-1021. https://doi.org/10.1007/s00216-009-2693-0

Verri, G., & Saunders, D. (2014). Xenon flash for reflectance and luminescence (multispectral) imaging in cultural heritage applications. *The British Museum Technical Bulletin, 8*, 83-92.

Verri, G. (2019). Broad-band, Photo-induced, steady-state luminescence imaging in practice." In M. Picollo, M. Stols-Witlox, & L. Fuster López (Eds.), *UV-Vis Luminescence: imaging techniques, Conservation 360º* (pp. 61-102). Editorial Universitat Politècnica de València. https://doi.org/10.4995/360.2019.110002

Warda, J., Frey, F., Heller, D., Kushel, D., Vitale, T., & Weaver, G. (2011). *AIC guide to digital photography and conservation documentation* (2nd ed., Warda, J. Ed.). American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works. 1st edition published in 2008 and 3rd edition published in 2017.

Webb, K., Summerour, R., & Giaccai, J. (2014). A case study using multiband and hyperspectral imaging for the identification and characterization of materials on archaeological Andean painted textiles. In *Postprints of the Textile Specialty Group of the American Institute for Conservation of Historic & Artistic Works 24*, 23–35.

Webb, K. (2019). UV-induced visible luminescence for conservation documentation. In M. Picollo, M. Stols-Witlox, & L. Fuster López. (Eds.), *UV-Vis Luminescence: imaging techniques*, *Conservation 360º* (pp. 35-60). Editorial Universitat Politècnica de València. https://doi.org/10.4995/360.2019.110002

Webb, K., Robson, S., Evans, R., & O'Connor, A. (2023). Wavelength selection using a modified camera to improve image-based 3D reconstruction of heritage objects. *Journal of the American Institute for Conservation 62*(2), pp. 111-128. https://doi.org/10.1080/01971360.2022.2111501

Williams, R., & Williams, G., (2002). *Medical and Scientific Photography: an online resource for doctors, scientists, and students*. http://medicalphotography.com.au/Article_01/04.html

Resources | Recursos

Note that it is not meant to be a comprehensive list, but places to start to look for tools needed. / *Tenga en cuenta que no se trata de una lista exhaustiva, sino de lugares donde empezar a buscar las herramientas necesarias.*

1. Shops that offer full spectrum conversion / *Tiendas que ofrecen conversión a espectro completo:*
   - LDP LLC, www.maxmax.com
   - Life Pixel, https://www.lifepixel.com/product-category/our-services/full-spectrum-camera-conversion
   - Kalari Vision, https://kolarivision.com/product-category/full-spectrum-conversions/
   - Spencer's Camera & Photo, https://robertreiser.photography/infrared-camera-conversion-service/#heading-2
   - Night Sky Camera, https://nightskycamera.com/
   - Full Spectrum, https://www.fullspectrumuk.com/camera-conversion-service/
     - Imaging by Design, http://imagingbydesign.com.au/
     - Advanced Camera Services, https://advancedcameraservices.co.uk/products/
     - Protech Photographic, https://www.protechrepairs.co.uk/
2. Image capture software / *Software de captura de imagen*:
   - Nikon Camera Control Pro 2
   - Canon EOS Utility
   - Sony Image Edge Desktop
   - Capture One
   - Tether Tools Smart Shooter
   - Adobe Lightroom Classic for selected Canon and Nikon cameras only
3. Filters (in addition to suppliers for photography equipment) / *Filtros (además de los proveedores generales de material fotográfico)*

- https://maxmax.com/filters
- https://kolarivision.com/#filters
- http://www.ir-uv.com/
- https://midopt.com/filters/bandpass/

4. Review of camera and lenses / *Recursos para revisar cámaras y objetivos*
   - https://www.dpreview.com/reviews/lens-compare
   - https://www.imaging-resource.com/lenses/reviews/
   - https://www.imaging-resource.com/cameras/reviews/
   - https://www.kenrockwell.com/tech/reviews.htm
5. Resources for checking lens with hot spots for IR photography / *Recursos para comprobar objetivos con* hot spots *en fotografía IR*

   Online sources for hot spots / *Fuentes en línea sobre* hot spots
   - Cultural Heritage Science Open Source (CHSOS), https://chsopensource.org/infrared-photography-lenses-database/#Coastal%20Optical%201:4%20Apo%20Macro%2060mm, accessed Oct, 2023.
   - Life Pixel, https://www.lifepixel.com/lens-considerations/lens-hot-spot-testing-database, accessed 2023.
   - https://www.mathieu.photography/Articles/IR-Hotspot-Database
   - https://kolarivision.com/lens-hotspot-list/?ref=95
6. Thin light film / *Película fina y ligera*
   - https://phosphortech.com/infrared-el-panel/
7. Materials used for testing in Figures 5 and 7 / *Materiales utilizados para las pruebas de las figuras 5 y 7.*

Vat orange Golden Heavy Body acrylic	Quinacridone magenta Winsor & Newton Professor watercolor	Scarlet red Lak Winsor & Newton Professor watercolor	Hansa yellow medium Daniel Smith watercolor	Quinacridone red Winsor & Newton Professor watercolor
Zinc white pigment (Fezandie & Sperrle, pre-1987) hand-mixed mixed in gum Arabic	Shellac light Kremer Pigmente	Genuine rose madder Winsor & Newton Professor watercolor	Cadmium red Winsor & Newton Professor watercolor	Iridescent copper Golden Heavy Body acrylic

8. Materials used for testing in Figure 6 / *Materiales utilizados para las pruebas de la Figura 6*

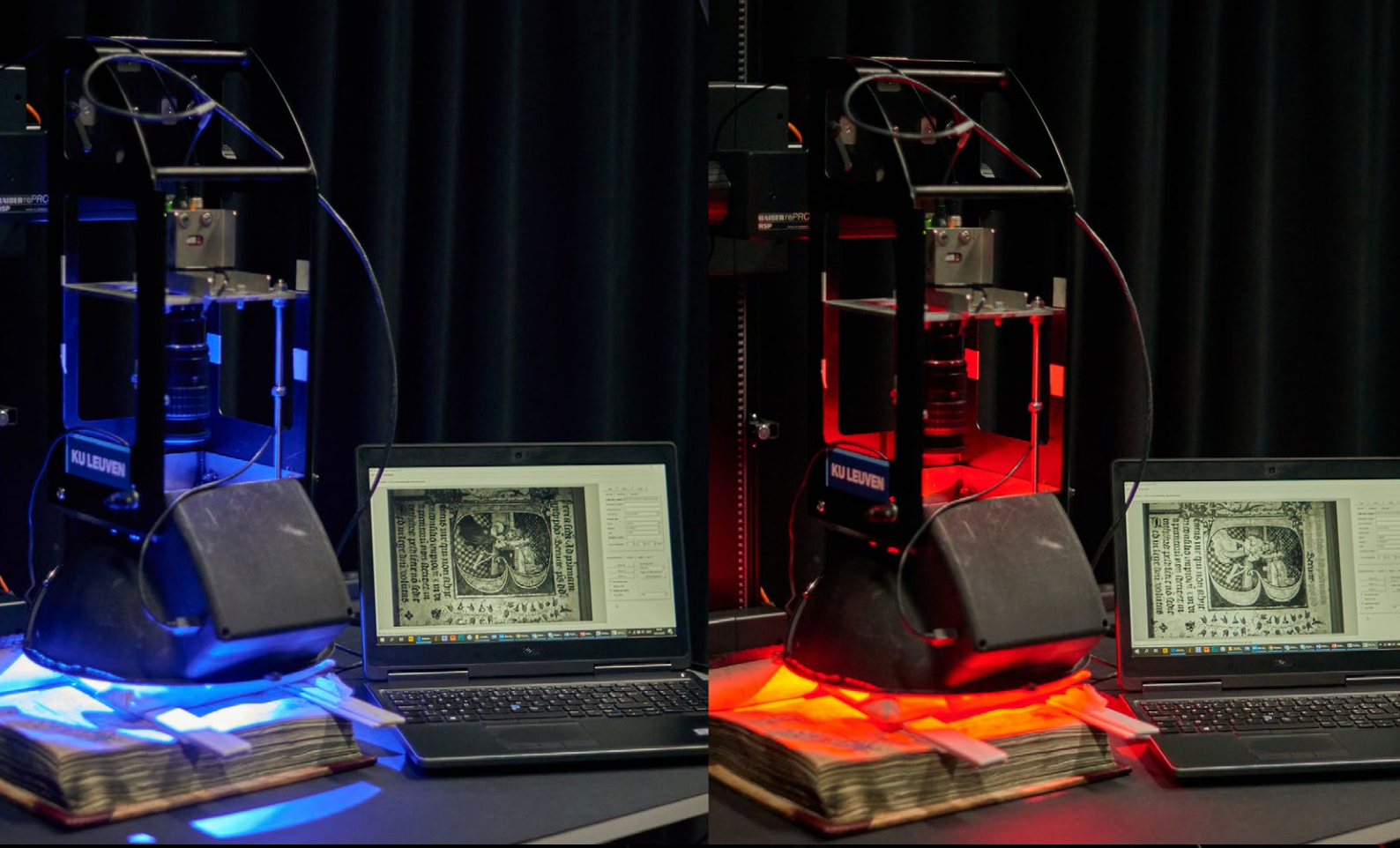
10 mil G10/nonFR4 sheet (woven fiberglass in epoxy resin laminate, halogen free *Lámina G10/non-FR4 de 10 mil (fibra de vidrio tejida en laminado de resina epoxi, libre de halógenos)*	Genuine Rose madder Winsor & Newton Professor watercolor *Genuine Rose Madder, Winsor & Newton Professional Watercolor*	Shellac light Kremer Pigmente *Goma laca clara, Kremer Pigmente*	Zinc white pigment (Fezandie & Sperrle, pre-1987) hand-mixed mixed in gum Arabic *Blanco de zinc (Fezandie & Sperrle, anterior a 1987), mezclado a mano en goma arábiga*
Teflon sheet *Hoja de teflón*	Titanium white Golden Heavy Body acrylic *Blanco de titanio, Golden Heavy Body acrylic*	Zinc white pigment (Kremer Pigemente purchsed in 2001) hand-mixed mixed in gum Arabic *Blanco de zinc (Kremer Pigmente, adquirido en 2001), mezclado a mano en goma arábiga*	Blank silver gelatin photograph, emulsion side Undated, no optical brightener *Fotografía en gelatina de plata sin exponer, cara de la emulsión, sin datar, sin abrillantadores óptico*

9. Background materials / *Materiales de fondo*
   - Formica laminate, https://www.formica.com/en-us/
   - Rising Museum Board, black: https://legionpaper.com/rising-museum-board/
   - GTI N5 paint: https://www.gtilite.com/store/shop/n7g-2/
   - Golden Artist Colors, Heavy Body Acrylics, N5: https://goldenartistcolors.com/resources/neutral-grays
   - Benjamin Moore, Steel Wool, 2121-20 paint : https://www.benjaminmoore.com/en-us/paint-colors/color/2121-20/steel-wool
10. Reference target and materials / *Tarjetas de referencia y materiales*
    - ColorChecker: https://calibrite.com/us/product-category/calibrite-targets/
    - Target UV and Object-Level Targets / *Target UV y targets de nivel-objeto*, Munsell Linear Grayscale, Image Science Associates: https://www.imagescienceassociates.com/all-products.html
    - RMI Conservation Target: https://rmimaging.com/conservation-target.html
    - Spectralon diffuse reflectance standards / *Patrones de reflectancia difusa Spectralon*: https://www.labsphere.com/product/spectralon-diffuse-reflectance-standards/
    - Zinc white, rose madder, shellac / *Blanco de zinc, rosa de garanza y goma laca (materiales utilizados como referencias en UV-VL):*
      - Zinc white / *Blanco de zinc (Kremer Pigmente)*: https://shop.kremerpigments.com/us/shop/pigments/kremer-made-and-historic-pigments/37202-madder-lake-genuine.html
      - Rose madder: https://shop.kremerpigments.com/us/shop/pigments/kremer-made-and-historic-pigments/37202-madder-lake-genuine.html or
      - https://www.winsornewton.com/na/paint/watercolour/professional-watercolour/?attribute_pa_wn_colour_name=rose-madder-genuine&attribute_pa_wn_colour_size=37ml&sku=094376970197
      - Shellac: https://shop.kremerpigments.com/us/shop/mediums-binders-glues/60440-shellac-light.html
    - Cadmium red, Golden Artist Colors, SoFlat Acrylics, cadmium red light: https://goldenartistcolors.com/products/soflat-matte-acrylic-color-cadmium-red-light
    - TP-MSI Calibration card: https://chsopensource.org/technical-photography-msi-calibration-card/

CONSERVATION 360°

CASE STUDIES

CASOS DE ESTUDIO



Vertical setup of the Multispectral Microdome when imaging several folios in *The Breviary of Geraardsbergen* at the Imaging Lab at KU Leuven (© KU Leuven).

Configuración vertical del Multispectral Microdome al digitalizar varios folios del Breviario de Geraardsbergen *en el Laboratorio de Imagen de la KU Leuven (© KU Leuven).*

INTEGRATING MULTIBAND AND MULTI-LIGHT REFLECTANCE IMAGING TO EXPLORE HERITAGE ARTEFACTS

INTEGRACIÓN DE IMÁGENES MULTIBANDA Y DE REFLECTANCIA MULTILUMÍNICA PARA EXPLORAR OBJETOS PATRIMONIALES

Hendrik Hameeuw *, Bruno Vandermeulen, Lieve Watteeuw, Athena Van der Perre, Vincent Vanweddingen, Marc Proesmans
KU Leuven, Belgium

* *hendrik.hameeuw@kuleuven.be*

Introduction

Multiband and Multi-Light Reflectance imaging (MBI & MLRI) both work with radiation sources (within the visual range or just outside, i.e. near Infrared [IR] and ultraviolet [UV]) and generally use only one light sensor as a receiver for the reflected waves by the imaged object. This makes both techniques perfectly compatible. Therefore, the combination of both has already been devised and applied by several researchers in the past for a variety of heritage objects.[1] The potential advantages are multiple, as presented in the following case studies. The technique has the ability to enhance the accuracy and quality of the reconstructed geometry (case study 2) (Nam & Kim, 2014; Hameeuw, 2018) and document

[1] Examples are, Books and graphical materials: (Hanneken, 2016; Vandermeulen et al., 2018); Ceramics: (Kotoula, 2016); Paintings and painted wood: (Kotoula & Earl, 2015; Giachetti et al., 2017; Frank et al., 2021); Archaeology: (Hameeuw et al., 2023).

Introducción

Las técnicas de imagen multibanda y de reflectancia multilumínica (MBI y MLRI) funcionan con fuentes de radiación (dentro del rango visual o justo fuera, es decir, infrarrojo cercano [IR] y ultravioleta [UV]) y, por lo general, utilizan un único sensor de luz como receptor de las ondas reflejadas por el objeto fotografiado. Esto hace que ambas técnicas sean perfectamente compatibles. Por lo tanto, la combinación de ambas ya ha sido ideada y aplicada por varios investigadores en el pasado para una gran variedad de objetos patrimoniales.[1] Las ventajas potenciales son múltiples, como se presenta en los siguientes estudios de casos. La técnica tiene la capacidad de mejorar la precisión y la calidad de la geometría reconstruida (estudio de caso 2) (Nam y Kim, 2014; Hameeuw, 2018),

[1] Algunos ejemplos son libros y materiales gráficos: (Hanneken, 2016; Vandermeulen et al., 2018); cerámica: (Kotoula, 2016); pinturas y madera pintada: (Kotoula y Earl, 2015; Giachetti *et al.*, 2017; Frank *et al.*, 2021); arqueología: (Hameeuw *et al.*, 2023).

the geometry and spectral appearance of a surface in one and the same action (case study 1 & 3). Based on the reflective responses, (certain) surface materials can be characterized and even identified (case study 3) (Hameeuw et al., 2021; Watteeuw et al., 2020), while the combination can also be applied for the accurate monitoring of change through time on detailed 3D surfaces, opening pathways for automated comparisons (case study 4).

An additional advantage of combining these two imaging techniques is that both allow rich and detailed data collection without the need to touch the artefacts. When included in the calibration and/or processing phases, multiband histograms and measurements up to the scale of the individual pixels make it possible to retrieve information on the physicality in the digital model without the risk of damaging the physical integrity of the object (Figure 5).

Integrated Acquisition & Processing

MLRI captures of an object can be produced independently of MBI recordings. But, as the case studies show, one of the most important strengths can be found in the one-on-one combination (overlap) of the obtained data sets. To some extent, this can of course still be solved post-factum by (AI-driven) registration algorithms, but if MBI and MLRI are already combined during the acquisition, this can be maintained throughout the processing phase and will improve reliability, user-friendliness and multi-deployability of the results. A crucial technical obstacle in that regard is the optical phenomenon of chromatic and spherical aberration, i.e. a simple lens fails to focus light with varying wavelengths all to the exact same spot. Standard lenses correct this phenomenon within the visual range of light, but when MBI extends into shorter and longer wavelengths, this needs to be corrected with special

y documentar la geometría y el aspecto espectral de una superficie en una misma acción (estudios de caso 1 y 3). Sobre la base de las respuestas de reflectancia, se pueden caracterizar (ciertos) materiales de la superficie e incluso identificarlos (estudio de caso 3) (Hameeuw *et al.*, 2021; Watteeuw *et al.*, 2020), mientras que la combinación también se puede aplicar para el seguimiento preciso del cambio a través del tiempo en superficies 3D detalladas, abriendo vías para comparaciones automatizadas (estudio de caso 4)

Una ventaja adicional de la combinación de estas dos técnicas de imagen es que ambas permiten recopilar cuantiosos datos en detalle, sin necesidad de tocar los objetos. Cuando se incluyen en las fases de calibración y/o procesamiento, los histogramas multibanda y las mediciones incluso hasta la escala de los píxeles individuales permiten recuperar información sobre la fisicidad en el modelo digital sin riesgo de dañar la integridad física del objeto (Figura 5).

Adquisición y procesamiento integrados

Las capturas MLRI de un objeto pueden producirse independientemente del registro MBI. Pero, como muestran los estudios de casos, uno de los puntos fuertes más importantes puede encontrarse en la combinación (superposición) uno a uno de los conjuntos de datos obtenidos. Hasta cierto punto, esto puede resolverse *a posteriori* mediante algoritmos de registro (basados en IA), pero si el MBI y el MLRI ya se combinan durante la adquisición, esto puede mantenerse durante toda la fase de procesamiento y mejorará la fiabilidad, la facilidad de uso y la capacidad de despliegue múltiple de los resultados. Un obstáculo técnico crucial a este respecto es el fenómeno óptico de la aberración cromática y esférica, es decir, que una simple lente no consigue enfocar la luz con distintas longitudes de onda exactamente en el mismo punto. Las lentes estándar corrigen este fenómeno dentro del rango visual de la luz, pero cuando la MBI se extiende a longitudes de onda más cortas

lenses, designed for this purpose. This apochromatic correction is especially crucial in an integrated MLR approach. An adequate correction makes all processed maps, including those with depth information, lie automatically in perfect register.

For the case studies below, such an integrated system was applied: the Multispectral Microdome, developed at KU Leuven (Portable Light Dome system, PLD) (Van der Perre et al., 2016; Watteeuw et al., 2016). The MLRI component consists of 228 LEDs mounted and evenly spread on the inside of a 30 cm diameter dome-shaped acquisition device, topped by a single monochrome CMOS sensor. For the MBI component, the 228 LEDs were divided into five subgroups of narrow-band LEDs, each emitting an isolated range of the electromagnetic spectrum: UV (λ_p 365 nm), blue (λ_p 460 nm), green (λ_D 523 nm), red (λ_D 623 nm) and IR (λ_p 850 nm).[2] To cope with the aforementioned chromatic aberration, the Allied Vision Prosilica GX 6600 monochrome high-resolution 35 mm CCD (6576×4384 pixels) is equipped with a Coastal Opt. UV-VIS-IR 60 mm 1:4 Apo Macro lens. This ensures that a surface can be imaged during a single recording sequence with sets of five different spectra and lit from 228 distinct angles. During processing, per set of spectral results (source image set), a robust photometric stereo algorithm reconstructs both surface normals (topographical geometry) and albedo (reflectivity of the materials) and joins the calculations into one digital model. Consultation of this model, with all the integrated and aligned data, in a viewer interface such as Pixel+[3] allows visualization of the reflection (albedo responses) maps of the five spectra combined with the normals from the

[2] λp stands for Peak Light Wavelength, it is the emitted wavelength from the LED with the highest power. λd stands for Dominant Light Wavelength, it gives the emitted wavelength from the LED of the color shade as perceived by the human eye.

[3] Free online viewer: https://www.heritage-visualisation.org/viewer/, accessed 28 September 2023.

y más largas es necesario corregirlo con lentes especiales, diseñadas para este fin. Esta corrección apocromática es especialmente crucial en un enfoque MLR integrado. Una corrección adecuada hace que todos los mapas procesados, incluidos los que contienen información de profundidad, queden automáticamente en perfecto registro.

Para los estudios de caso que se presentan a continuación se aplicó un sistema integrado de este tipo: el Microdome Multiespectral, desarrollado en la KU Leuven (Portable Light Dome system, PLD) (Van der Perre *et al.*, 2016; Watteeuw *et al.*, 2016). El componente MLRI consta de 228 LED montados y distribuidos uniformemente en el interior de un dispositivo de adquisición en forma de cúpula de 30 cm de diámetro , rematado por un único sensor CMOS monocromo. El componente MBI incluye LEDs de banda estrecha divididos en cinco subgrupos, cada uno de los cuales emite un rango aislado del espectro electromagnético: UV ($\lambda_{(p)}$365 nm), azul (λ_p 460 nm), verde (λ_D 523 nm), rojo (λ_D 623 nm) e IR (λ_p 850 nm).[2] Para hacer frente a la citada aberración cromática, el CCD monocromo de alta resolución Allied Vision Prosilica GX 6600 35 mm (6576×4384 píxeles) está equipado con un sensor Coastal Opt. UV-VIS-IR 60 mm 1:4 Apo Macro. De este modo, se puede obtener una imagen de una superficie durante una única secuencia de grabación con conjuntos de cinco espectros diferentes e iluminada desde 228 ángulos distintos. Durante el procesamiento, por cada conjunto de resultados espectrales (conjunto de imágenes de origen), un algoritmo estable estéro-fotométrico reconstruye tanto las normales de la superficie (geometría topográfica) como el albedo (reflectancia de los materiales) y une los cálculos en un modelo digital. La consulta de este modelo, con todos los datos integrados y alineados, en una interfaz de visualización como Pixel+[3], permite visualizar los mapas de reflexión (respuestas del albedo) de los cinco espectros combinados con las

[2] λp significa Peak Light Wavelength, es la longitud de onda más alta emitida por el LED. λd significa Dominant Light Wavelength, da la longitud de onda emitida por el LED del tono de color percibido por el ojo humano

[3] Visor en línea gratuito: https://www.heritage-visualisation.org/viewer/, consultado el 28 de septiembre de 2023.

matching spectrum or combined with these from the other spectra. Furthermore, the reflection maps can be processed into tri-chromatic false colors based on the reflection maps of the five spectra.

Case Study 1: Multi-modal Imaging Protocol for Fragile Artefacts

All historical artefacts have specific preservation challenges. For some, however, their current state of preservation demands customized strategies to obtain safely acquired, responsible and good visual documentation. When the fragile physical condition of an artefact considerably complicates its handling, limiting the intensity and number of manipulations becomes crucial. A documentation strategy must take into account that this goes beyond the mere application of non-touch, non-invasive techniques. A documentation strategy also needs to define which properties of the original cultural artefact are of importance to assure a good and complete (visual) documentation. When an artefact is defined by multiple physically distinctive features, it is important to identify and select the best techniques.

At the Art & History Museum in Brussels such a challenge was faced with a project focusing on ancient Egyptian, unfired clay figurines. These Middle Kingdom (ca. 1850-1700 BC) figurines are inscribed with hieratic execration texts in black or red ink (Van der Perre et al., 2016-2017). The preliminary examination of these figurines showed that they contain production and post-manufacture traces all over their body, calling for an in-depth study of their 3D shape. It was also clear that their extremely fragile state and the presence of often rapidly fading inscriptions required an integrated method to document all these features with minimal handling of the objects themselves. The recordings made with the MS Microdome were only one part of the documentation

normales del espectro coincidente o combinados con las de los otros espectros. Además, los mapas de reflexión pueden procesarse en falsos colores tricromáticos basados en los mapas de reflexión de los cinco espectros.

Estudio de caso 1: Protocolo de imagen multimodal para objetos frágiles

Todos los objetos patrimoniales plantean problemas específicos de preservación. Para algunos, sin embargo, su estado actual de conservación exige estrategias personalizadas para obtener una adquisición segura, responsable y una buena documentación visual. Cuando el frágil estado físico de un objeto complica considerablemente su manipulación, resulta crucial limitar la intensidad y el número de manipulaciones. Una estrategia de documentación debe tener en cuenta que esto va más allá de la mera aplicación de técnicas no táctiles y no invasivas. Una estrategia de documentación también debe definir qué propiedades del objeto cultural original son importantes para garantizar una documentación (visual) buena y completa. Cuando un determinado objeto se define por múltiples características físicas distintivas, es importante identificar y seleccionar las técnicas más adecuadas.

En el Art & History Museum de Bruselas se afrontó este reto con un proyecto centrado en antiguas figurillas egipcias de arcilla sin cocer. Estas figurillas del Imperio Medio (ca. 1850-1700 a. C.) llevan inscritos textos hieráticos de execración en tinta negra o roja (Van der Perre *et al.*, 2016-2017). El examen preliminar de estas figurillas mostró que contienen huellas de producción y postfabricación por toda su superficie, lo que exigía un estudio en profundidad de su forma tridimensional. También estaba claro que su estado extremadamente frágil y la presencia de inscripciones que a menudo se desvanecían rápidamente requerían un método integrado para documentar todas estas características con una manipulación mínima de los propios objetos. Los registros realizados con el MS Microdome fueron solo una parte de la estrategia

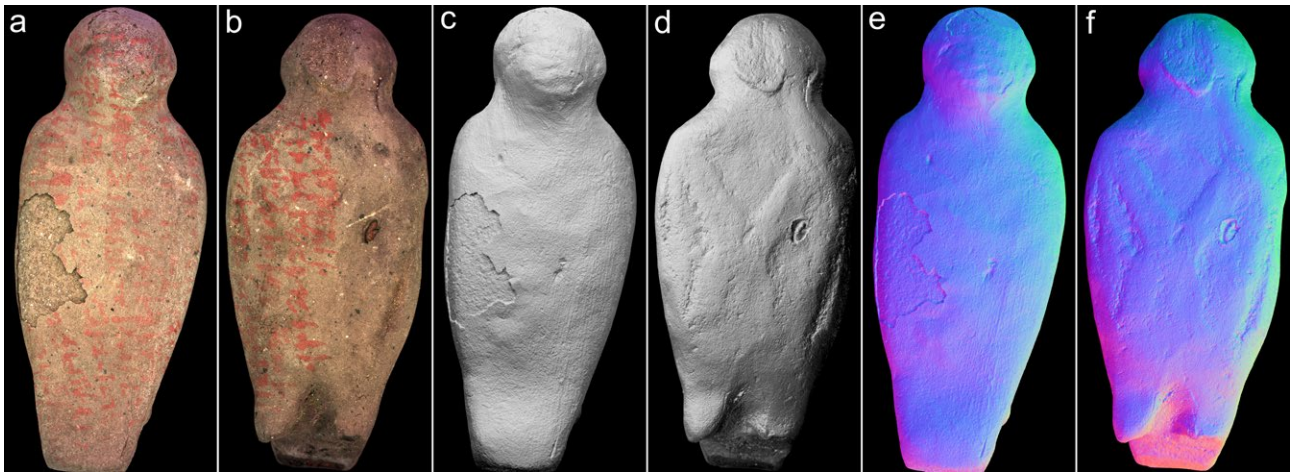


Figure 1 | Figurine E.07445 (front and back, 11.5x4.5 cm, Art & History Museum – Brussels, © RMAH & KU Leuven) – Visualisation of the physical characteristics and surface conditions, with visual styles: RGB false color (a-b), shaded (c-d) and normals (e-f), all based on the same MBI-MLRI dataset.

Figura 1 | Figurilla E.07445 (anverso y reverso, 11,5 × 4,5 cm, Art & History Museum – Brussels, © RMAH & KU Leuven) – Visualización de las características físicas y del estado de la superficie, con estilos visuales: falso color RGB (a-b), sombreado (c-d) y normales (e-f), todos ellos basados en el mismo conjunto de datos MBI-MLRI.

strategy applied to this assemblage of figurines, besides a close examination of their current physical condition and a chemical analysis of both the pigments and the clay (Van der Perre et al., 2016-2017). More recently, this strategy was equally applied to the execration figurines of the Rijksmuseum voor Oudheden (Leyden). These figurines originally belonged to the same assemblage as the Brussels group and are facing similar challenges/threats.

Physical Features

The figurines represent kneeling prisoners, with their arms bound together at their backs. While the majority of the figurines were very roughly hand modelled, some figurines contain distinct physical features that require profound investigation. An example is shown in Figure 1, where the bound arms of the prisoner are modelled in relief. The MLRI recordings allow researchers to interactively explore the surface geometry of the objects.

de documentación aplicada a este conjunto de figurillas, además de un examen minucioso de su estado físico actual y un análisis químico tanto de los pigmentos como de la arcilla (Van der Perre *et al.*, 2016-2017). Más recientemente, esta estrategia se aplicó igualmente a las figurillas de execración del Rijksmuseum voor Oudheden (Leiden). Estas figurillas pertenecían originalmente al mismo conjunto que el grupo de Bruselas y se enfrentan a retos/amenazas similares.

Características físicas

Las figuras representan a prisioneros arrodillados, con los brazos atados a la espalda. Aunque la mayoría de las figurillas fueron modeladas a mano de forma muy tosca, algunas contienen rasgos físicos distintivos que requieren una investigación profunda. Un ejemplo se muestra en la Figura 1, donde los brazos atados del prisionero están modelados en relieve. Las imágenes MLRI permiten a los investigadores explorar interactivamente la geometría de la superficie de los objetos.

Several traces of the manufacturing process are still present, such as (partial) fingerprints or traces left by fingers during the smoothing of the surface. Even the smallest details are documented on the PLD recordings. It is not only possible to study the direction of the traces, but also to measure the depth of the marks with the integrated measuring tool of the PLD viewer, with an accuracy of one tenth of a millimeter (similar to application in Figure 5).

Inscriptions

The execration figurines are covered in inscriptions, made in black carbon or red iron holding pigments. Large parts of the text have faded or even seem completely invisible to the naked eye. The MBI component in the PLD system was used to enhance the readability of the painted inscriptions. Based on the recordings in the five different spectra and a Principal Component Analysis (PCA) calculation,[4] faded parts of the red ochre inscriptions can be reconstructed. An example is shown below (Figure 2): not only is the visible part of the inscription on the reverse of figurine F1941/8.4 enhanced, but the almost entirely faded part on the top can now also be (partially) reconstructed.

The MS Microdome can also enhance black carbon inscriptions by merely using its single near-infrared λ_D 850 nm LEDs. This gave excellent results for black inscriptions on wooden objects (Hameeuw et al., 2025). The black inscriptions on the execration figurines, however, gave rather poor results due to the close similarity of the reflectance response of the black carbon-containing pigments and clay in both the applied VIS and NIR spectral bands.

Se documentan evidencias del proceso de fabricación, como huellas dactilares (parciales) o huellas dejadas por los dedos durante el alisado de la superficie. Incluso los detalles más pequeños quedan documentados en los registros PLD. No sólo es posible estudiar la dirección de las huellas, sino también medir la profundidad de las marcas con la herramienta de medición integrada del visor PLD, con una precisión de una décima de milímetro (similar a la aplicación de la Figura 5).

Inscripciones

Las figurillas de execración están cubiertas de inscripciones, realizadas con carbón negro o pigmentos que contienen rojo férrico. Gran parte del texto se ha desvanecido o incluso parece completamente invisible a simple vista. El componente MBI del sistema PLD se utilizó para mejorar la legibilidad de las inscripciones pintadas. A partir de los registros en los cinco espectros diferentes y de un cálculo de Análisis de Componentes Principales (ACP), se pueden reconstruir[4] partes descoloridas de las inscripciones en ocre rojo. A continuación se muestra un ejemplo (Figura 2): no sólo se ha mejorado la visibilidad de la inscripción en el reverso de la figurilla F1941/8.4, sino que ahora también se puede reconstruir (parcialmente) la parte casi totalmente descolorida de la parte superior.

El MS Microdome también puede mejorar las inscripciones a base de negro carbón, simplemente utilizando su único LED λ_D 850 nm de infrarrojo cercano. Así se obtuvieron excelentes resultados en las inscripciones negras de objetos de madera (Hameeuw *et al.*, 2025). Sin embargo, las inscripciones negras en las figurillas de execración dieron resultados bastante pobres debido a la gran similitud de la respuesta de reflectancia de los pigmentos que contienen carbono y la arcilla, tanto en aplicaciones de la banda espectral VIS como en la NIR.

[4] With ImageJ 1.53e6 via Paleo ToolBar_v2-4 macro by Equipoise Imaging, LLC.

[4] Con ImageJ 1.53e6 a través de la macro Paleo ToolBar_v2-4 de Equipoise Imaging, LLC.

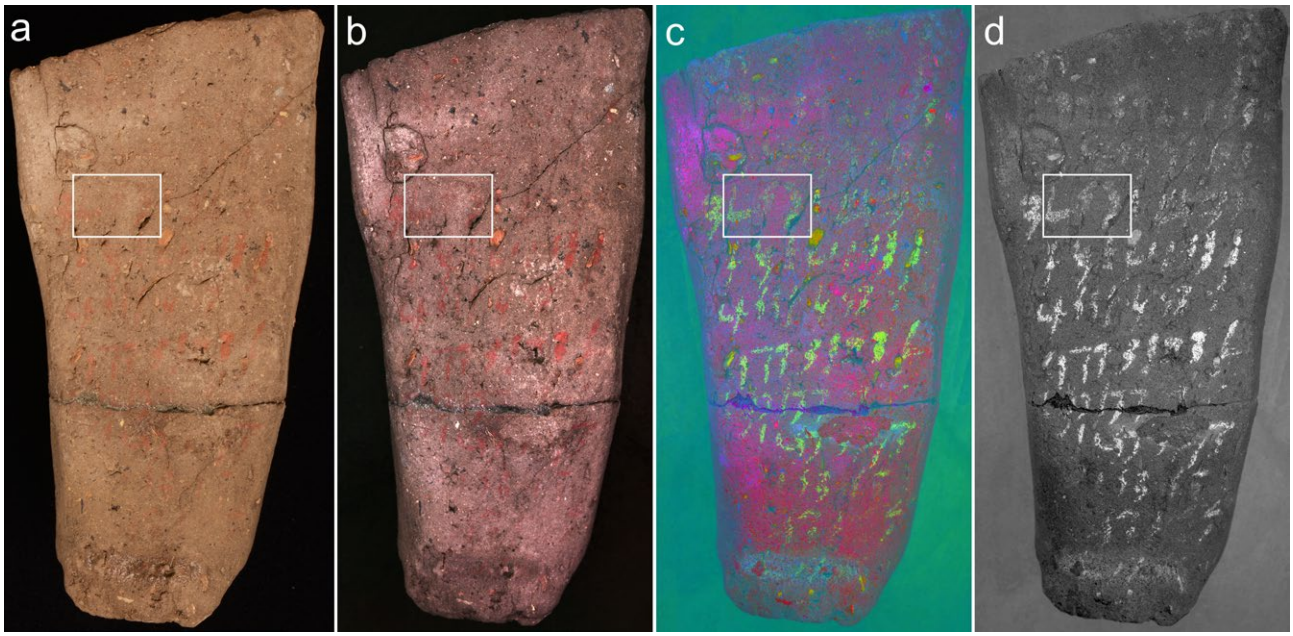


Figure 2 | Figurine RMO F1941/8.4 (back, 13.9x6.9x3.3cm, Rijksmuseum voor Oudheden - Leyden, © RMO Leiden & KU Leuven) – Enhancing of faded red ochre inscription (example reveals kinship term "msi.n", introducing the mother of the aforementioned person), all images based on the same MBI-MLRI dataset. Visual renderings are: Color calibrated photograph (a), RGB false color (b), false color combi-PCA (c), and L* value only of false color combi-PCA with auto tone (d).

Figura 2 | Figurilla RMO F1941/8.4 (reverso, 13,9 × 6,9 × 3,3 cm, Rijksmuseum voor Oudheden – Leiden, © RMO Leiden & KU Leuven) – Realce de una inscripción desvaída en ocre rojo (el ejemplo revela el término de parentesco "msi.n", que introduce a la madre de la persona mencionada). Todas las imágenes se basan en el mismo conjunto de datos MBI-MLRI. Las representaciones visuales son: fotografía calibrada en color (a), falso color RGB (b), falso color combi-PCA (c) y valor L* del falso color combi-PCA con auto-tone (d).

Case Study 2: Accurate Recording Topography Translucent Intaglios

Varying wavelengths interact differently with one and the same surface. Long waves penetrate deeper into a material, while short waves reflect on the outer parts. Therefore, the reflection received from an imaged surface of short waves is potentially purer, more direct, while deeper penetrating long waves, before they reflect back towards the light sensor, are more disturbed by the extra material they penetrate. This produces secondary and multiple reflections in the material and thus less pure, more scattered reflections back to

Estudio de caso 2: Registro preciso de la topografía en intaglios translúcidos

Las distintas longitudes de onda interactúan de manera diferente con una misma superficie. Las ondas largas penetran más profundamente en el material, mientras que las ondas cortas se reflejan en las zonas más externas. Por ello, la reflexión que se obtiene de una superficie al ser registrada con ondas cortas es potencialmente más pura y directa, mientras que las ondas largas, al penetrar más en profundidad antes de reflejarse de nuevo hacia el sensor, se ven más afectadas por el material adicional que atraviesan. Esto genera reflexiones secundarias y múltiples dentro del propio material y, en consecuencia, reflexiones

the receiver (i.e. camera). As the MLRI method is all about understanding as accurately as possible the reflections returning from light radiated from various directions on a surface to reconstruct accurately the surface orientations, this has an influence on the overall quality of the processed result. At the same time, this offers opportunities to dimensionally visualize phenomena in an object. The advantages of combined MBI and MLRI on (semi-) transparent engraved stone seals or intaglios are discussed below. The same imaging methodology was also successfully applied to the study and visualization of the presence and physical condition of translucent varnish layers on an ancient Egyptian polychrome coffin (Hameeuw et al., 2023; Hameeuw et al., 2025).

Imaging and accurately reconstructing the 3D surfaces of engraved translucent intaglios, commonly referred to as gems, is challenging as the issue discussed above has a major impact. The added value of combining MBI and MLRI is illustrated by three antique era engraved reddish agate intaglios in Figure 3: MB.GI.30 (16.2x12.7 mm), MB.GI.32 (15.3x12.2 mm) and MB.GI.33 (16.4x13.4 mm) from the collection of the KU Leuven Archaeology Unit (Baudot, 1987-1988). Typically, MLRI is an appropriate technique to document in detail the extreme fine relief, but the translucent material of the gems complicates this. When a standard bundle of white light is used (VIS),[5] the capture of the topography (surface orientations) seems to be successful. The visual style 'shaded' (as implemented in the Pixel+ and PLDViewer interfaces), for which the albedo responses in the color image is set to a uniform value, presents a good opportunity to assess the quality of the reconstructed relief. But

[5] The White Light (WL) PLD system (also a microdome) was used; sensor: Allied Vision Prosilica GX 6600 color high-resolution 35 mm CCD (6576 × 4384 pixels), lens: Nikkor AF-D 60 mm f/2.8 Micro; LEDs: Osram LZ1-30NW00-0000 (neutral white), imaged at 2184dpi.

menos puras, más dispersas cuando llegan al receptor (es decir, a la cámara). Dado que el método MLRI consiste en comprender con la mayor exactitud posible las reflexiones que vuelven de la luz irradiada desde varias direcciones en una superficie para reconstruir con precisión las orientaciones de la superficie, esto influye en la calidad general del resultado procesado. Al mismo tiempo, esto ofrece oportunidades para visualizar dimensionalmente fenómenos en un objeto. A continuación se analizan las ventajas de la combinación de MBI y MLRI en sellos de piedra grabados (semi)transparentes o intaglios. La misma metodología de obtención de imágenes también se aplicó con éxito al estudio y la visualización de la presencia y el estado físico de capas de barniz translúcido en un antiguo ataúd egipcio policromado (Hameeuw *et al.*, 2023; Hameeuw *et al.*, 2025).

La obtención de imágenes y la reconstrucción precisa en 3D de las superficies grabadas de intaglios translúcidos, comúnmente denominados gemas, resulta compleja, ya que el problema expuesto anteriormente tiene un impacto significativo. El valor añadido de combinar MBI y MLRI se ilustra mediante tres intaglios antiguos de cornalina rojiza representados en la Figura 3: MB.GI.30 (16,2 × 12,7 mm), MB.GI.32 (15,3 × 12,2 mm) y MB.GI.33 (16,4 × 13,4 mm), procedentes de la colección de la KU Leuven Archaeology Unit (Baudot, 1987–1988). Normalmente, la técnica MLRI es muy adecuada para documentar en detalle relieves extremadamente finos, pero la translucidez del material de estas gemas lo complica. Cuando se utiliza un haz estándar de luz blanca (VIS),[5] la captura de la topografía (orientaciones de la superficie) parece funcionar correctamente. El estilo visual "sombreado" (tal como se implementa en los visores Pixel+ y PLDViewer), en el que las respuestas de albedo de la imagen en color se sustituyen por un valor uniforme, ofrece una buena oportunidad para evaluar

[5] Se utilizó el sistema PLD de luz blanca (WL) (también una microcúpula); sensor: Allied Vision Prosilica GX 6600 CCD de color de alta resolución y 35 mm (6576 × 4384 píxeles); objetivo: Nikkor AF-D 60 mm f/2.8 Micro; LEDs: Osram LZ1-30NW00-0000 (blanco neutro); digitalizado a 2184 ppp.

when the MBI data is examined,[6] it becomes clear that the reconstruction of the relief with the data of the VIS-recording is insufficiently accurate. When only the IR and red sets of narrow band LED emitters are used, these longer waves penetrate into the surface and do not reflect on the surface where the engraved features are found. The responses from the green, blue and UV sets of narrow band LED provide a much better source image dataset to estimate the surface orientations. In regard to registering only the surface orientations where the engravings are, the VIS-result fits in between the red and green results. Though the three gems do not have the same degree of translucency, the phenomenon can still be clearly observed in all of them. While in our sample all three have a reddish appearance, the same has been observed with engraved translucent seals made from stones with different colors and shades (Hameeuw, 2018). Hence, it can be concluded that the longer red wavelength in white light inflects the quality of the MLRI results to reconstruct as accurately as possible the surface topography. Thus, combining MLRI with MBI (green, blue and UV radiation in particular) provides better data, documenting both the geometry and visual appearance.

For MB.Gl.30, the most translucent gem from the samples, the MLRI results calculated from both the VIS and the IR, red and green source image datasets provide information about the internal structure. Observing the left side, all around the engraved bust of the Graeco-Egyptian god Serapis, the surface of the original is perfectly polished. Yet variation can be seen in the reconstructed orientations. These concern variations inside the gem, possibly internal fractures, thus providing information about the structural integrity of the agate.

la calidad del relieve reconstruido. Pero cuando se examinan los datos del MBI,[6] queda claro que la reconstrucción del relieve con los datos del registro VIS no es lo suficientemente precisa. Cuando sólo se utilizan los conjuntos IR y rojo de emisores LED de banda estrecha, estas ondas más largas penetran en la superficie y no se reflejan en la superficie donde se encuentran los grabados. Las respuestas de los conjuntos verde, azul y UV de LED de banda estrecha proporcionan un conjunto de datos de imágenes de origen mucho mejor para estimar las orientaciones de la superficie. En lo que respecta a registrar únicamente las orientaciones de la superficie donde se encuentran los grabados, el resultado VIS se sitúa entre el resultado rojo y el verde. Aunque las tres gemas no tienen el mismo grado de translucidez, el fenómeno puede observarse claramente en todas ellas. Mientras que en nuestra muestra las tres tienen un aspecto rojizo, lo mismo se ha observado con sellos translúcidos grabados hechos con piedras de diferentes colores y tonalidades (Hameeuw, 2018). Por lo tanto, se puede concluir que la longitud de onda roja más larga en la luz blanca influye en la calidad de los resultados de MLRI para reconstruir con la mayor precisión posible la topografía de la superficie. Por lo tanto, la combinación de MLRI con MBI (radiación verde, azul y UV en particular) proporciona mejores datos, documentando tanto la geometría como la apariencia visual.

En el caso de la MB.Gl.30, la gema más translúcida de las muestras, los resultados del MLRI calculados a partir de los conjuntos de datos de imágenes de origen VIS e IR, rojo y verde, proporcionan información sobre la estructura interna. Observando el lado izquierdo, alrededor del busto grabado del dios greco-egipcio Serapis la superficie en el original está perfectamente pulida. Sin embargo, se observan variaciones en las orientaciones reconstruidas. Se trata de variaciones en el interior de la gema, posiblemente fracturas internas, que proporcionan información sobre la integridad estructural del ágata.

[6] Imaged at 2146dpi.

[6] Imagen a 2146 ppp.

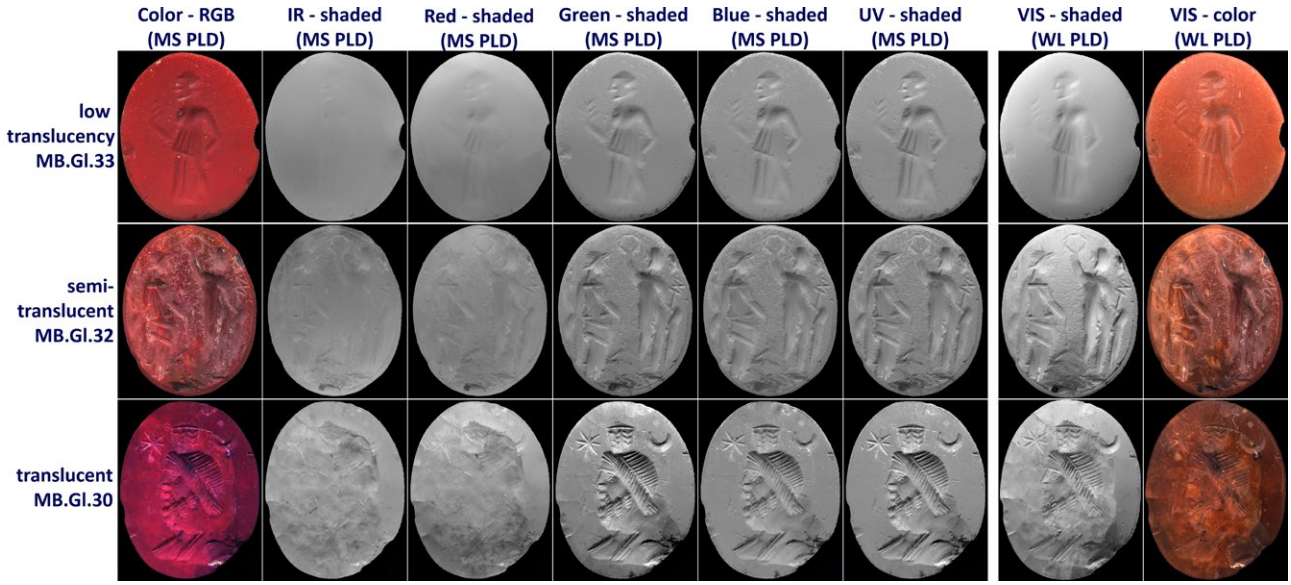


Figure 3 | Engraved translucent agate intaglios MB.Gl.30 depicting the bust of the Graeco-Egyptian god Serapis (1.6x1.3x0.4cm), MB.Gl.32 depicting a figure lifting a wreath and holding a staff possibly crowning the figure in front (1.5x1.2x0.5cm) and MB.Gl.33 depicting the Graeco/Roman goddess Demeter/Ceres (1.6x1.3x0.3cm) (Didactic Museum of Archaeology - Leuven, © KU Leuven).

Figura 3 | Intaglios translúcidos en una ágata grabada: MB.Gl.30, que representa el busto del dios greco-egipcio Serapis (1,6×1,3×0,4 cm); MB.Gl.32, que representa una figura levantando una corona y sosteniendo un bastón, posiblemente coronando a la figura situada delante (1,5×1,2×0,5 cm); y MB.Gl.33, que representa a la diosa grecorromana Deméter/Ceres (1,6×1,3×0,3 cm). (Didactic Museum of Archaeology – Leuven, © KU Leuven).

Case Study 3: Visualizing & Identifying Pigment Layers in Illuminations

Flat documentary media still holds a lot of geometry on its surface. A prominent example is illuminations when shallow pigment and gold gilded layers are applied on parchment with a variation of skin (such as hair follicles) and production marks. In this context, MLRI methods have already frequently proven their added value (Proot & Bell, 2014; Endres, 2019). By adding an MBI component, the texture enhancements and understanding of the 3D relief are expanded with spectral and color resolution across UV, white light and IR, opening aligned

Estudio de caso 3: Visualización e identificación de capas pigmentarias en iluminaciones

Los soportes documentales planos aún conservan mucha geometría en su superficie. Un ejemplo destacado son las iluminaciones cuando se aplican capas poco profundas de pigmento y dorado sobre pergamino con una variación de piel (como folículos pilosos) y marcas de producción. En este contexto, los métodos MLRI ya han demostrado con frecuencia su valor añadido (Proot y Bell, 2014; Endres, 2019). Al añadir un componente MBI, las mejoras de textura y la comprensión del relieve 3D se amplían con resolución espectral y de color a través de UV, luz blanca e IR, abriendo el examen alineado

examination towards advanced processing.[7] The case study selected here focusses on several altered illuminations in the *Breviary of St Adrian of Geraardsbergen*, kept at Maredsous Abbey (both nowadays Belgium) and dating from 1450, when the County of Flanders was ruled by Philip the Good, Duke of Burgundy (Vanwijnsberghe & Watteeuw, 2021). This extensive manuscript (four volumes, 1700 pages) has come to us virtually unchanged throughout its history, with the exception of one folio. On tome 2, part 1, folio 25r, several of the miniature illuminations seem to be altered with techniques that deviate from the standard practice observed throughout the work.

The main text throughout the breviary is written in dark brown ink, the traditional iron gall ink. When irradiated with UV and white light, iron gall ink has a limited reflection, hence appearing dark. When irradiated with IR rays, however, iron gall ink becomes transparent. The behavior of this ink makes it relatively easy to identify it when MBI techniques are applied. In miniature illuminations, including those in the breviary, the dark lines are commonly not applied iron gall, but are made with a carbon-based pigment. This material barely reflects light throughout the spectrum of UV, VIS and IR light, and thus, always appears black. However, the MS Microdome recordings of folio 25r (tome 2/1) surprisingly show a different picture. In all three illuminations on this folio, only some of the dark pigments are carbon-based. Others appear to have the spectral behavior typical of iron gall ink (Figure 4). In the B initial miniature, all windows, doors and shadows of the entire towered gatehouse appear to have been finished in iron gall ink, in contrast to other similar finishes

[7] Hanneken (2016) labels it in the context of 'imaging unreadable manuscripts' as 'Integrated Spectral RTI' and defines the added value of the combination mainly in practical terms, two different perfectly aligned rich datasets to facilitate post-processing actions. In Watteeuw et al. (2016) and Watteeuw & Hameeuw (2022), the combination was applied to visualize pigment layers, differentiate and identify specific pigments in illuminated miniatures.

hacia el procesamiento avanzado.[7] El estudio de caso seleccionado aquí se centra en varias iluminaciones alteradas del *Breviario de San Adrián de Geraardsbergen*, conservado en la abadía de Maredsous (ambas hoy Bélgica) y que data de 1450, cuando el condado de Flandes estaba gobernado por Felipe el Bueno, duque de Borgoña (Vanwijnsberghe y Watteeuw, 2021). Este extenso manuscrito (cuatro tomos, 1700 páginas) ha llegado hasta nosotros prácticamente inalterado a lo largo de su historia, con la excepción de un folio. En el tomo 2, pars 1, folio 25r, varias de las iluminaciones miniadas parecen alteradas con técnicas que se apartan de la práctica habitual observada en toda la obra.

El texto principal del breviario está escrito con tinta marrón oscura, la tradicional tinta ferrogálica. Cuando se irradia con rayos UV y luz blanca, la tinta ferrogálica tiene una reflexión limitada, por lo que parece oscura. Sin embargo, cuando se irradia con rayos infrarrojos, la tinta ferrogálica se vuelve transparente. El comportamiento de esta tinta hace que sea relativamente fácil identificarla cuando se aplican técnicas MBI. En las iluminaciones en miniatura, incluidas las del breviario, las líneas oscuras no suelen ser a base de tintas ferrogálicas, sino que están hechas con un pigmento a base de carbono. Este material apenas refleja la luz en todo el espectro de luz UV, VIS e IR, por lo que siempre parece negro. Sin embargo, los registros de MS Microdome del folio 25r (tomo 2/1) muestran sorprendentemente una imagen diferente. En las tres iluminaciones de este folio, sólo algunos de los pigmentos oscuros son a base de carbón. Otros parecen tener el comportamiento espectral típico de la tinta ferrogálica (Figura 4). En la miniatura inicial B, todas las ventanas, puertas y sombras de toda la torre de la puerta parecen haber sido acabadas con tinta ferrogálica, en contraste con otros acabados

[7] Hanneken (2016) lo etiqueta en el contexto de la "obtención de imágenes de manuscritos ilegibles" como "RTI espectral integrado" y define el valor añadido de la combinación principalmente en términos prácticos, dos conjuntos de datos ricos diferentes perfectamente alineados para facilitar las acciones de postprocesamiento. En Watteeuw *et al.* (2016) y Watteeuw y Hameeuw (2022), la combinación se aplicó para visualizar capas de pigmentos, diferenciar e identificar pigmentos específicos en miniaturas iluminadas.

Figure 4 | Examination of the use of carbon-based pigments and iron gallus ink on details on *The Breviary of Geraardsbergen*, tome 2/1, f25r, Top: B Initial (8.3x4.8cm); Bottom: lower section on folio (6.5x3.7cm). Left: visible light photography, Middle: MS PLD tri-chromatic false colors (IR-red-green) visual style, Right: narrow band IR photography at 940nm (Maredsous Abbey, © KU Leuven).

Figura 4 | Examen del uso de pigmentos a base de carbono y tinta de agalla ferrogálica en detalles del *Breviario de Geraardsbergen*, tomo 2/1, f.25r. Arriba: inicial B (8,3×4,8 cm); Abajo: sección inferior del folio (6,5×3,7 cm). Izquierda: fotografía en luz visible; Centro: falso color tricromático MS PLD (IR–rojo–verde); Derecha: fotografía IR de banda estrecha a 940 nm. (Abadía de Maredsous, © KU Leuven).

elsewhere in the miniature. This deviation is further supported by the observation in the MLRI result that where there is a thicker layer of this iron gall ink (Figure 5, white rectangle), the inks texture is also crackled, a known characteristic when this material ages. The facial features and hands also appear to be shaped in iron gall ink. The layered MS PLD dataset thus reveals an exceptional altered practice; however, its timing, closely related to the moment of manufacture or not, remains unclear.

The same MLRI/MBI dataset allows additional analyses. As the operated MS Microdome system includes a spatial calibration tool, it becomes possible to interact with the reconstructed surface topography and make xyz-measurements in mm (Figure 5, bottom). Importantly, the integrated approach with spectral info of five sets of

similares en otras partes de la miniatura. Esta desviación queda además respaldada por la observación realizada en el resultado MLRI, donde, en las zonas con una capa más gruesa de tinta ferrogálica (Figura 5, rectángulo blanco), la textura de la tinta aparece igualmente cuarteada, una característica bien conocida del envejecimiento de este material. Los rasgos faciales y las manos también parecen estar ejecutados con tinta de agalla ferrogálica. El conjunto de datos MS PLD estratificado revela, por tanto, una práctica excepcionalmente alterada; sin embargo, su cronología, estrechamente relacionada con el momento de fabricación, sigue sin estar clara.

El mismo conjunto de datos MLRI/MBI permite realizar análisis adicionales. Como el sistema MS Microdome operado incluye una herramienta de calibración espacial, es posible interactuar con la topografía de superficie reconstruida y realizar mediciones xyz en mm (Figura 5, abajo). Es importante destacar que el enfoque integrado

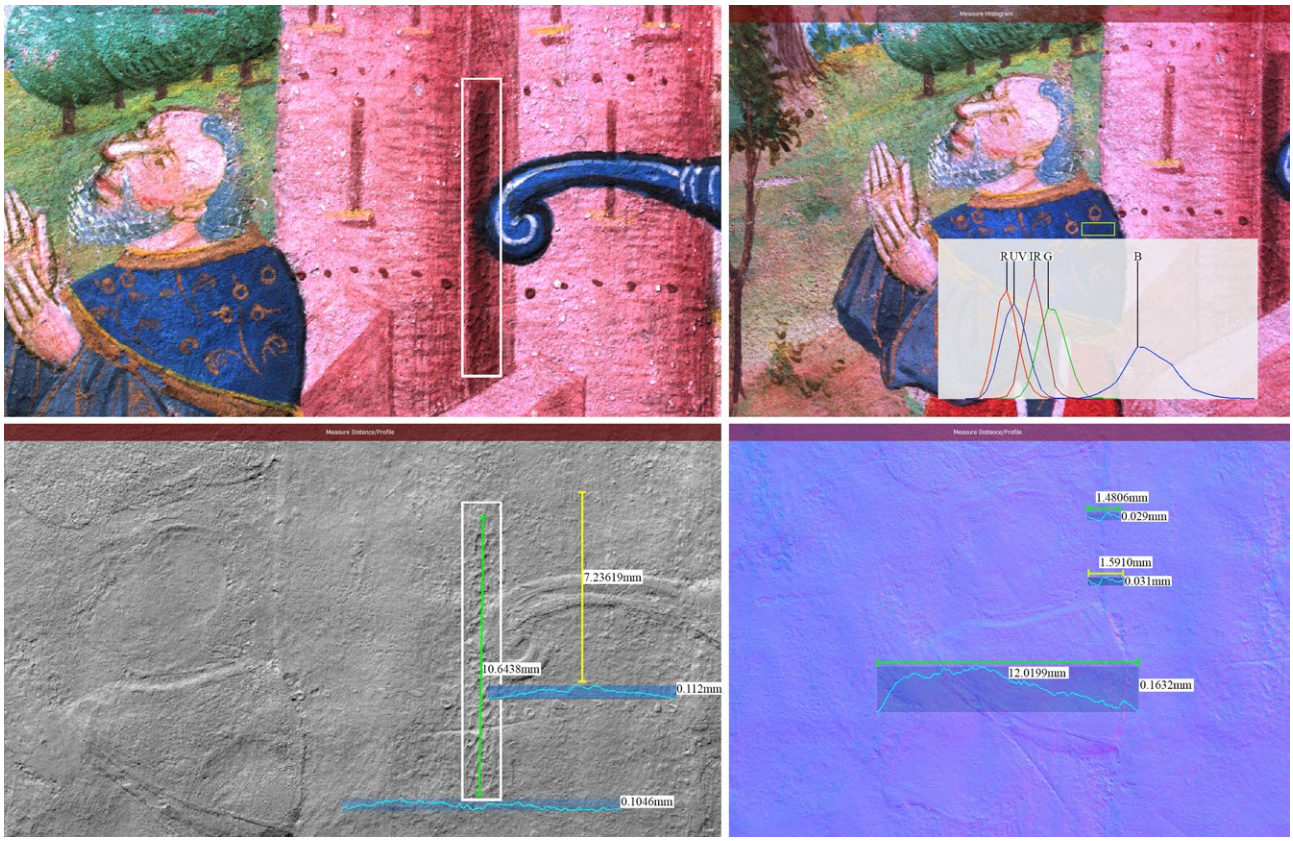


Figure 5 | Examination of materials and pigment layers with interactive MS PLD data, detail of *The Breviary of Geraardsbergen*, tome 2/1, f25r: B Initial. Top: Tri-chromatic false colors (RGB) visual style; Bottom left: shaded visual style, including surface xyz-measurements; Bottom right: UV normals, including surface xyz-measurements; Top right: multiband histogram of blue pigment (zone in green/yellow rectangular), typical for azurite (Maredsous Abbey, © KU Leuven).

Figura 5 | Examen de materiales y estratos pictóricos con datos interactivos MS PLD, detalle del *Breviario de Geraardsbergen*, tomo 2/1, f.25r: inicial B. Arriba: falso color tricromático (RGB); abajo izquierda: estilo visual *shaded*, con mediciones de superficie xyz; abajo derecha: normales UV, con mediciones de superficie xyz; arriba derecha: histograma multibanda del pigmento azul (zona indicada en el rectángulo verde/amarillo), característico de la azurita. (Abadía de Maredsous, © KU Leuven).

narrow band light emitters offers the possibility to indicate which pigment was applied by the illuminator(s). Best results are obtained for the blue pigment, which reveals the typical reflectance signature of azurite when compared with verified ancient or modern pigment samples (Figure 5, Top

con información espectral de cinco conjuntos de emisores de luz de banda estrecha ofrece la posibilidad de indicar qué pigmento fue aplicado por el iluminador o iluminadores. Los mejores resultados se obtienen para el pigmento azul, que revela la respuesta de reflectancia típica de la azurita cuando se compara con muestras verificadas de pigmentos antiguos o modernos (Figura 5, arriba a la

right).[8] This same approach was also used in other illuminated manuscripts to differentiate and identify azurite/ultramarine, malachite/verdigris and iron gallus/carbon black (Watteeuw et al., 2016; Watteeuw et al., 2020).

Case Study 4: Automated Accurate & Precise Change Detection

The materiality and morphology of the surface of heritage objects change over time. Being able to document that change as accurately and precisely as possible opens perspectives for addressing certain research questions and restoration challenges. It is crucial that only useful changes in the structural composition of the surface are detected, and not, for example, differences resulting from misalignments. However, when changes between imaging moments are severe, especially concerning topographical aspects, standard automated alignment procedures based on 2D color photography alone may fail, as too few reference points are detected. Including depth-related information derived from five different spectral bands provides new pathways to overcome this issue and to minimize incorrectly highlighted differences due to misalignments.

Applying a combined MBI/MLRI dataset for automated accurate and precise change detection between condition stages imaged at different times of a heritage object was, after an initial trial on a painted wood panel (Hameeuw et al., 2021), extensively tested during the restoration project of the large (316x668 cm) painting *The Battle of the Milvian Bridge*, housed at the Bladelin Court in Bruges, Belgium (Watteeuw, 2021). The

derecha).[8] Este mismo enfoque también se utilizó en otros manuscritos iluminados para diferenciar e identificar azurita de ultramar, malaquita de verdigris, y tinta ferrogálica de negro cabrón (Watteeuw *et al.*, 2016; Watteeuw *et al.*, 2020).

Estudio de caso 4: Detección automatizada de cambios exactos y precisos

La materialidad y la morfología de la superficie de los objetos del patrimonio cambian con el tiempo. Poder documentar ese cambio con la mayor exactitud y precisión posibles abre perspectivas para abordar determinadas cuestiones de investigación y retos conservativos. Es crucial que sólo se detecten los cambios útiles en la composición estructural de la superficie y no las diferencias resultantes de desalineaciones, por ejemplo. Sin embargo, cuando los cambios entre los momentos de la toma de imágenes son graves, especialmente en lo que respecta a los aspectos topográficos, los procedimientos automatizados de alineación estándar basados únicamente en la fotografía 2D en color pueden fallar, ya que se detectan muy pocos puntos de referencia. La inclusión de información relacionada con la profundidad derivada de cinco bandas espectrales diferentes proporciona nuevas vías para superar este problema y minimizar las diferencias incorrectamente destacadas debidas a alineaciones erróneas.

La aplicación de un conjunto de datos combinados MBI/MLRI para la detección automatizada de cambios precisos y exactos entre las fases de estado de un objeto patrimonial obtenidas en diferentes momentos fue, tras una prueba inicial en un panel de madera pintado (Hameeuw *et al.*, 2021), ampliamente probada durante el proyecto de restauración de la gran pintura (316x668 cm) *La Batalla del Puente Milvio*, que se encuentra en la Corte

[8] This was further confirmed by XRF analyzes by finding copper (Cu) everywhere where this bright blue pigment was applied (Vanwijnsberghe & Watteeuw, 2021: 62).

[8] Esto se confirmó además mediante análisis XRF al encontrar cobre (Cu) por todas partes donde se aplicó este pigmento azul brillante (Vanwijnsberghe y Watteeuw, 2021: 62).

painting concerns a copy (ca. 1700 AD) on canvas of Rafael's fresco of the same name in the Vatican. Before (1x), during (3x) and after finalizing (1x) the restoration process, two selected zones on this masterpiece were imaged five times with the MS Microdome.

At the International Platform for Art Research and Conservation (IPARC) lab, first the old varnish layers were completely removed, followed by the old fillings and overpaintings which were mostly in a very poor condition and sometimes even covering cracks in the original paint layers. By removing these old interventions, the cleaning could be completed and the canvas could be treated with a new reinforcing cloth (mist-lining technique). Next, the created gaps were masticated, the lacunes retouched and the entire surface was fitted with new varnish to restore the original glory of the painting. At one of the selected zones for close monitoring (the head of a white horse), all the interventions turned out to have significantly altered the physical condition, both the topography and the visual appearance. Beside the effect of this removal of old interventions on many sections, the application of a new support on the back of the canvas restored the deformations of the original painting caused by aging, thus reestablishing – i.e. altering – the overall flat surface structure during the restoration process. By using the five multispectral bands in the MLRI dataset, even the most subtle differences of diverse materials in the surface topography between each of the restoration/imaging treatments/actions can be used to permit a successful alignment and have computer guided automated detections document and analyze change.

For the alignment procedure, Scale Invariant Feature Transform (SIFT) feature matching (Lowe, 2004), together with the OpenCV framework and tools (Kaehler & Bradski, 2016), was used

Bladelin en Brujas, Bélgica (Watteeuw, 2021). Se trata de una copia (hacia 1700 d.C.) sobre lienzo del fresco homónimo de Rafael, conservado en el Vaticano. Antes (1x), durante (3x) y después de finalizar (1x) el proceso de restauración, dos zonas seleccionadas de esta obra maestra fueron fotografiadas cinco veces con el MS Microdome.

En el laboratorio de la Plataforma Internacional para la Investigación y Conservación del Arte (IPARC), primero se eliminaron por completo las antiguas capas de barniz, seguidas de los antiguos empastes y repintes, que en su mayoría se encontraban en muy mal estado y a veces incluso cubrían grietas en las capas de pintura originales. Al eliminar estas antiguas intervenciones, se pudo completar la limpieza y tratar el lienzo con una nueva tela de refuerzo (técnica del "mist-lining"). A continuación, se rellenaron las lagunas creadas, se retocaron y se aplicó un nuevo barniz a toda la superficie para devolver al cuadro su esplendor original. En una de las zonas seleccionadas para un seguimiento minucioso (la cabeza de un caballo blanco), todas las intervenciones resultaron haber alterado significativamente el estado físico, tanto la topografía como el aspecto visual. Además del efecto de esta eliminación de intervenciones antiguas en muchas secciones, la aplicación de un nuevo soporte en la parte posterior del lienzo solucionó las deformaciones de la pintura original causadas por el envejecimiento, restableciendo así —es decir, alterando— la estructura general de la superficie plana durante el proceso de restauración. Al utilizar las cinco bandas multiespectrales del conjunto de datos MLRI, incluso las diferencias más sutiles entre los distintos materiales en la topografía superficial —derivadas de cada uno de los tratamientos, intervenciones o acciones de restauración/registro— pueden emplearse para lograr una alineación precisa y permitir que las detecciones automatizadas guiadas por ordenador documenten y analicen los cambios.

Para el procedimiento de alineación, se emplea la coincidencia de características mediante el algoritmo Scale Invariant Feature Transform (SIFT). (Lowe, 2004), junto con el marco y las herramientas de OpenCV (Kaehler

to extract local descriptive features in corresponding images and match them based on their respective descriptors. With the MS Microdome data, a mechanism processes all the different maps (i.e. all color and depth maps) in parallel and finds the transformation from the joint matches. The use of depth gives the additional advantage that features can be found that are not visible in the color maps, such as the craquelures. To map one type of images onto another, although these are recordings of a different modality, the statistical technique Mutual Information (MI) was applied by using the Elastix software tool (Klein et al., 2010). With this combined SIFT and MI approach, even the severe changes between some of the restoration phases in the white horse sample can be rendered.

Once perfectly aligned, the result allows pixel-based comparison by using the detecting feature correspondences between the different color and normal maps derived from the multiband MLRI analysis. Using these correspondences, a global transformation can be found to align the original and restored state(s). Given the pixel-accurate alignment, it now becomes possible to perform pixel-by-pixel comparisons. Figure 6 (bottom left) shows a MAD (Multivariate Alteration Detection) comparison indicating the main difference between original and final restoration on pixel level only. This metric shows (in white) both highly detailed as well as more global changes. In Figure 6 (bottom right) the finer details were filtered out using wavelet decomposition before aligning image differences and showing them with a false color map. Blueish areas indicate moderate or small changes, the red or black ones are more pronounced. The eye of the horse clearly shows substantial changes around the eyeline, the eyelid, and eyelash. The more subtle narrowing and shift of the red cheek pieces of the horse's gear becomes equally noticeable. Such detailed information would otherwise stay unmarked.

y Bradski, 2016), para extraer características descriptivas locales en las imágenes correspondientes y hacerlas coincidir en función de sus respectivos descriptores. Con los datos de MS Microdome, un mecanismo procesa todos los mapas diferentes (es decir, todos los mapas de color y profundidad) en paralelo y encuentra la transformación a partir de las coincidencias conjuntas. El uso de la profundidad ofrece la ventaja adicional de que se pueden encontrar características que no son visibles en los mapas de color, como las craqueladuras. Para mapear un tipo de imágenes en otro, aunque se trate de grabaciones de una modalidad diferente, se aplicó la técnica estadística *Mutual Information* (MI) mediante la herramienta de software Elastix (Klein *et al.*, 2010). Con este enfoque combinado de SIFT y MI de se pueden representar incluso los cambios severos entre algunas de las fases de restauración en la muestra del caballo blanco.

Una vez perfectamente alineados, el resultado permite la comparación basada en píxeles utilizando las correspondencias de características de detección entre los diferentes mapas de color y normales derivados del análisis MLRI multibanda. A partir de estas correspondencias, se puede encontrar una transformación global para alinear el estado original y el restaurado. Dada la precisión de la alineación píxel a píxel, ahora es posible realizar comparaciones píxel a píxel. La Figura 6 (abajo a la izquierda) muestra una comparación MAD (Detección Multivariante de Alteraciones) que indica la principal diferencia entre la restauración original y la final sólo a nivel de píxel. Esta métrica muestra (en blanco) tanto cambios muy detallados como cambios más globales. En la Figura 6 (abajo a la derecha) se filtraron los detalles más finos mediante descomposición wavelet antes de alinear las diferencias de imagen y mostrarlas con un mapa de colores falsos. Las zonas azuladas indican cambios moderados o pequeños, las rojas o negras son más pronunciadas. El ojo del caballo muestra claramente cambios sustanciales alrededor de la línea ocular, el párpado y la pestaña. El estrechamiento y el desplazamiento más sutiles de las piezas rojas de las mejillas del caballo son igualmente perceptibles. De otro modo, una información tan detallada quedaría sin marcar.

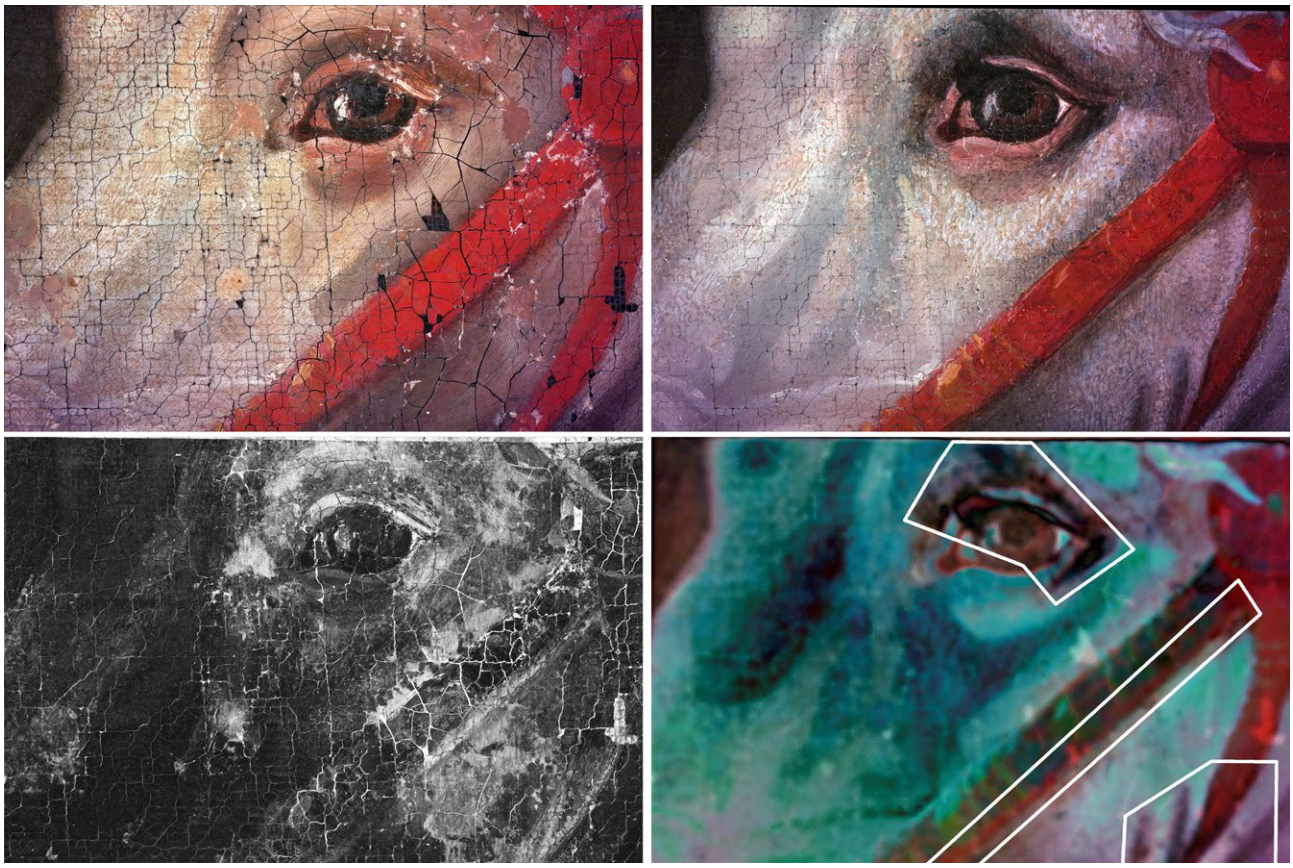


Figure 6 | Renderings with MS PLD data of selected zone with the white horse head on The Battle of the Milvian Bridge (Bladelin Court, Bruges). Top left: Tri-chromatic false colors (RGB) visual style before restoration; Top right: after all restoration phases; Bottom left: high frequency pixel-based, i.e. micro-level MAD, comparisons before and after restoration; Bottom right: lower frequency, macro-level changes before and after restoration (© KU Leuven).

Figura 6 | Representaciones con datos MS PLD de la zona seleccionada con la cabeza del caballo blanco en La Batalla del Puente Milvio (Bladelin Court, Brujas). Arriba izquierda: falso color tricromático (RGB) antes de la restauración; Arriba derecha: después de todas las fases de restauración; Abajo izquierda: comparaciones de alta frecuencia basadas en píxeles, es decir, MAD a nivel micro, antes y después de la restauración; Abajo derecha: cambios de menor frecuencia, a nivel macro, antes y después de la restauración. (© KU Leuven).

Conclusions

The discussed case studies present the advantages of the combination of MLRI and MBI for the study of a variety of heritage objects (typological, materiality, shape, ...). In that regard, it should be noted that this is merely a selection; the potential

Conclusiones

Los casos prácticos comentados presentan las ventajas de la combinación de MLRI y MBI para el estudio de una gran variedad de objetos patrimoniales (tipológicos, de materialidad, de forma, ...). A este respecto, cabe señalar que se trata de una mera selección; las aplicaciones

applications of this integration are much broader. The combination produces rich data sets benefiting from both the measured interactive reflectance values and surface orientation estimations on a pixel scale. All this allows the characterization (sometimes even identification) of materials and leads to various insights into the layered topography of the image surfaces. Integrating both techniques from the start or selecting methodologies that allow to integrate and streamline the calibrated output, will not only lead to better results, but the results will also bring a clear added value to support research questions, documentation strategies and the exploration of new pathways to analyze complex heritage objects.

Acknowledgements

The authors are most grateful to the editors of this volume for their thorough work and for the opportunity to present their results here. Special thanks go to Dr. Daniel Soliman (RMO, Leiden) and Dr. Luc Delvaux (Art & History Museum, Brussels), collection holders of the Egyptian execration figurines, and Dr. Vanessa Boschloos (UGent) and Dennis Braekmans (Leyden University) for their contributions to the research; to Anne Verbrugge (KU Leuven) collection keeper of the engraved intaglios; to Abbot Bernard Lorent (Abbey of Maredsous, Denée) keeper of the Breviary of Geraardsbergen, to David Lainé (IPARC, Kampenhout) for facilitating the successive imaging of the Bladelin Court painting. The research in the case studies was financially supported by respectively BRAIN-BE Pioneer Belspo, National Museum of Antiquities and Leyden University MCS stimulation grant, and the King Baudouin Foundation, Baillet Latour Fund.

potenciales de esta integración son mucho más amplias. La combinación produce ricos conjuntos de datos que se benefician tanto de los valores de reflectancia interactiva medidos como de las estimaciones de orientación de la superficie a escala de píxel. Todo ello permite la caracterización (a veces incluso la identificación) de materiales y conduce a diversas percepciones de la topografía estratificada de las superficies de la imagen. La integración de ambas técnicas desde el principio o la selección de metodologías que permitan integrar y racionalizar la salida calibrada, no sólo dará lugar a mejores resultados, sino que éstos aportarán un claro valor añadido para apoyar las cuestiones de investigación, las estrategias de documentación y la exploración de nuevas vías para analizar objetos patrimoniales complejos.

Agradecimientos

Los autores están muy agradecidos a los editores de este volumen por su minucioso trabajo y por la oportunidad de presentar aquí sus resultados. Un agradecimiento especial al Dr. Daniel Soliman (RMO, Leiden) y al Dr. Luc Delvaux (Museo de Arte e Historia, Bruselas), poseedores de la colección de figurillas de execración egipcias, y a la Dra. Vanessa Boschloos (UGent) y al Dr. Dennis Braekmans (Universidad de Leiden) por sus contribuciones a la publicación de este volumen. Anne Verbrugge (KU Leuven) conservadora de la colección de los intaglios grabados; al abad Bernard Lorent (Abadía de Maredsous, Denée) conservador del Breviario de Geraardsbergen, a David Lainé (IPARC, Kampenhout) por facilitar la sucesiva obtención de imágenes de la pintura de la Corte de Bladelin. La investigación de los estudios de caso ha contado con el apoyo financiero de BRAIN-BE Pioneer Belspo, respectivamente, del Museo Nacional de Antigüedades y de la beca de estímulo MCS de la Universidad de Leiden, así como de la Fundación Rey Balduino, Fondo Baillet Latour.

References | Bibliografía

Baudot, M.P. (1987-1988). The Ancient Near Eastern seals and gems in the Biblical Museum at the Catholic University of Leuven. *Acta Archaeologica Lovaniensia, 26-27*, 113-130.

Endres, B. (2019). Reflectance Transformation Imaging: An enhanced view of surface details. In B. Endres, *Digitizing Medieval manuscripts: The St. Chad Gospels: Materiality, recoveries, and representation in 2D* & 3D (pp. 33-46). Arc Medieval Press. https://doi.org/10.1515/9781942401803-004

Frank E., Heath S., & Stein Ch. (2021). Integration of Photogrammetry, Reflectance Transformation Imaging (RTI), and Multiband Imaging (MBI) for Visualization, Documentation, and Analysis of Archaeological and Related Materials. *ISAW Papers 21*. http://hdl.handle.net/2333.1/0cfxq0c3

Giachetti, A., Ciorta, I., Daffara, C., Pintus, R. & Gobbetti, E. (2017). Multispectral RTI analysis of heterogeneous artworks. In T. Schreck & T. Weyrich (Eds.), *EUROGRAPHICS Workshop on Graphics and Cultural Heritage* (pp. 19-28). The Eurographics Association. http://dx.doi.org/10.2312/gch.20171288

Hameeuw, H., Watteeuw, L., Vandermeulen, B., & Proesmans, M. (2021). The painted panels of the early sixteenth century Mechelen Enclosed Gardens: Art technical examination with the Photometric Stereo: White Light and Multispectral Microdomes. In J. Beckers, A. Vogels, J. Van der Stock, & L. Watteeuw (Eds.), *Papers presented at the Twentieth Symposium for the study of underdrawing and technology in painting held in Mechelen and Leuven, 11-13 January 2017: vol. 20* (pp. 165-175). Peeters Publishers.

Hameeuw, H., Van der Perre, A., & Boschloos, V. (2025). #Multispectral #Mobile #Interactive: Imaging polychrome surfaces with the MS PLD System. In A. Amenta, H. Guichard, & K. Cooney (Eds.), *Proceedings of the Second Vatican Coffin Conference, Vatican, Musei Vaticani, 6-9 June 2017, Rome*. Edizioni Musei Vaticani. pp. 323-332.

Hameeuw, H., Van der Perre, A., & Boschloos, V. (2023). Chapter 3: Interactive 2D and Multispectral Imaging on the crossroads of archaeology, Egyptology and Assyriology. In V. Bigot Juloux, A. Di Ludovico, & S. Matskevich (Eds.), *The Ancient World goes digital: Case studies on archaeology, texts, online publishing, digital archiving, and preservation* (pp. 72–111). Brill. https://doi.org/10.1163/9789004527119_005

Hameeuw, H. (2018). Imaging seals and coins with various light angles and spectra: Consequences for the understanding and representing of colour and relief. In K. Kelley, & R.K.L. Wood (Eds.), *Digital Imaging of artefacts: Developments in methods and aims* (pp. 101-117). Archaeopress Access Archaeology. https://doi.org/10.2307/j.ctv1zckznq.11

Hanneken, T.R. (2016). New technology for imaging unreadable manuscripts and other artifacts: Integrated Spectral Reflectance Transformation Imaging (Spectral RTI). In C. Clivaz, P. Dilley, & D. Hamidović (Eds.): *Ancient Worlds in a Digital Culture*. Digital Biblical Studies 1 (pp. 180-195). Brill. https://doi.org/10.1163/9789004325234_010

Kaehler, A., & Bradski, G. (2016). *Learning OpenCV 3: Computer Vision in C++ with the OpenCV Library*. O'Reilly Media.

Klein, S., Staring, M., Murphy, K., Viergever, M.A., & Pluim, J.P.W. (2010). Elastix: a toolbox for intensity-based medical image registration. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, *29*(1), 196-205. https://doi.org/10.1109/TMI.2009.2035616

Kotoula, E. (2016). Reflectance Transformation Imaging Beyond the Visible: Ultraviolet Reflected and Ultraviolet Induced Visible Fluorescence. In S. Campana, R. Scopigno, G. Carpentiero, & M. Cirillo (Eds.), *Keep the Revolution Going. Proceedings of the 43rd Annual Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology 2015* (pp. 909–919). Archaeopress.

Kotoula, E., & Earl, G. (2015). Integrated RTI approaches for the study of painted surfaces. In F. Giligny, F. Djindjian, L. Costa, P. Moscati & S. Robert (Eds.), *21st Century archaeology: Concepts, methods and tools: Proceedings of the 42nd conference on computer applications and quantitative methods in archaeology 2014* (pp. 123–134). Archaeopress. https://doi.org/10.2307/jj.15135883.18

Lowe, D.G. (2004). Distinctive image features from scale-invariant keypoints. *International Journal of Computer Vision*, *60*(2), 91-110. https://doi.org/10.1023/B:VISI.0000029664.99615.94

Nam, G., & Kim, M.H. (2014). Multispectral photometric stereo for acquiring high-fidelity surface normals. *IEEE Computer Graphics and Applications*, *34*(6), 57-68. https://doi.org/10.1109/MCG.2014.108

Proot, G., & Bell, A. (2014). New scholarship in Early Modern binding. *Journal of Paper Conservation*, *15*, 32-34. https://doi.org/10.1080/20571682.2014.12462356

Vandermeulen, B., Hameeuw, H., Watteeuw, L., Van Gool, L., & Proesmans, M. (2018). Bridging Multi-light & Multi-Spectral images to study, preserve and disseminate archival documents. *Proceedings Imaging Science and Technology Archiving, 2018*, 64-69. Society for Imaging Science and Technology. https://doi.org/10.2352/issn.2168-3204.2018.1.0.15

Van der Perre, A., Hameeuw, H., Boschloos, V., Delvaux, L., Proesmans, M., Vandermeulen, B., Van Gool, L., & Watteeuw, L. (2016). Towards a combined use of IR, UV and 3D-Imaging for the study of small inscribed and illuminated artefacts. In P.M. Homem (Ed.), *Lights On … Cultural Heritage and Museums!* (pp. 163-192). LabCR_Laboratory for Conservation and Restoration.

Van der Perre, A., Braekmans, D., Boschloos, V., Ossieur, F., Hameeuw, H., & Delvaux, L. (2016-2017). The Egyptian execration figurines of the Royal Museums of Art and History, Brussels: Conservation, pigments and digitisation. *Bulletin des Musées royaux d'Art et d'Histoire, Bruxelles, 87/88*, 5-29.

Vanwijnsberghe, D. & Watteeuw, L. (2021). *Le Bréviaire de Grammont: Un manuscrit de l'époque bourguignonne conservé à l'abbaye de Maredsous*. Denée.

Watteeuw, L. & Hameeuw, H. (2022). Art technical research on manuscript heritage with the White Light and Multispectral Portable Light Dome system (Multi Light Reflectance imaging). In C. Perna (Ed.), *Immaginare la Commedia* (pp. 225-235). Salerno Editrice.

Watteeuw, L. (Ed.) (2021). *Het Hof Bladelin in Brugge en de restauratie van de schilderijen in de Romeinse Zaal*. Peeters Publishers. https://doi.org/10.2307/j.ctv2114fw7

Watteeuw, L., Van Bos, M., Gersten, T., Vandermeulen, B., & Hameeuw, H. (2020). An applied complementary use of Macro X-ray Fluorescence scanning and Multi-light reflectance imaging to study medieval illuminated manuscripts: The Rijmbijbel of Jacob van Maerlant. *Microchemical Journal, 155* (June 2020), 104582. http://doi.org/10.1016/j.microc.2019.104582

Watteeuw, L., Hameeuw, H., Vandermeulen, B., Van der Perre, A., Boschloos, V., Delvaux, L., Proesmans, M., Van Bos, M., & Van Gool, L. (2016) Light, shadows and surface characteristics: The multispectral Portable Light Dome. *Applied Physics A: Materials Science & Processing*, *122*(976), 1-7. https://doi.org/10.1007/s00339-016-0499-4

Examination of the use of carbon-based pigments and iron gall ink in details of the *Breviary of Geraardsbergen*, vol. 2/1, f. 25r. (Maredsous Abbey, © KU Leuven).

Examen del uso de pigmentos a base de carbono y tinta de agalla ferrogálica en detalles del Breviario de Geraardsbergen, *tomo 2/1, f.25r. (Abadía de Maredsous, © KU Leuven).*

Detail of a photograph of an outdoor location (n. A1Σ23Y2Φ5T1, ARETHAS Photographic Collection of the Historical Archives of the National Bank of Greece).

Detalle de una fotografía de un lugar al aire libre (n. A1Σ23Y2Φ5T1, Colección Fotográfica ARETHAS de los Archivos Históricos del Banco Nacional de Grecia).

THE USE OF THE MULTIBAND IMAGING TO THE STANDARDIZATION OF DAMAGE TERMS OF OLD PHOTOGRAPHS

EL USO DE LA IMAGEN MULTIBANDA PARA LA NORMALIZACIÓN TERMINOLÓGICA DE DAÑOS DE FOTOGRAFÍAS ANTIGUAS

Vasiliki Kokla [a] *, Agamemnon Tselikas [b]
[a] *University of West Attica, Greece*
[b] *The Mediterranean Research Institute for Paleography, Bibliology and History of Texts-ARETHAS Institute, Greece & Historical and Paleographical Archive, Cultural Foundation of the National Bank, Greece*
* *vkokla@uniwa.gr*

Introduction

One of the most important categories of human culture is tangible cultural materials. Cultural objects can be destroyed through physical damage, leading to the loss of the intangible information they contain. By understanding the factors that led to their destruction (Corsaro et al., 2016; Dale, 2000), we could intervene, changing the direction from destruction to preservation, for a longer period of time (Clark, 2009). This study aims to contribute to the preservation of photographs by aiding in the identification of their preservation status to support decisions about conservation treatments.

Technological developments have created the basis for the improvement of many scientific fields, including photographic documentation, allowing the recovery of information from documents that were previous lost

Introducción

Una de las categorías más importantes de la cultura humana son los materiales culturales tangibles. Los objetos culturales pueden destruirse por daños físicos, lo que conlleva la pérdida de la información intangible que contienen. Al comprender los factores que condujeron a su destrucción (Corsaro *et al*., 2016; Dale, 2000), podríamos intervenir, cambiando la dirección de la destrucción a la preservación, durante un período de tiempo más largo (Clark, 2009). Este estudio pretende contribuir a la preservación de las fotografías ayudando a identificar su estado de conservación para apoyar las decisiones sobre los tratamientos de conservación.

Los avances tecnológicos han sentado las bases para la mejora de muchos campos científicos, entre ellos la documentación fotográfica, permitiendo recuperar información de documentos que antes se habían

(Cattaneo et al., 2008). Scientists have studied various methods to record information on the manufacture and damage of old photos (Adelstein et al., 1995; Ash et al., 2014; Bigourdan, 2000; Dune et al., 2005; Florianetal.,1994;Lavendrine,2009;Nishimura,1996; Reilly, 1986; Weaver, 2009; Wilhelm & Brower, 1993; Yum, 2009). Aasbo et al. (2003) described a multi-layered software by which photographic collections can be classified and indexed. Tragni et al. (2005) used ultraviolet radiation to investigate old photographs, such as daguerreotypes, ferrotypes, and color films. Ravines et al. (2007) used optical and surface metrology to assess the preservation state of daguerreotypes. Carretti et al. (2009) applied optical microscopy (OM) and Environmental Electron Scanning Microscopy (ESEM) to two ferrotypes to obtain information about the chemical composition of the materials that make up the ferrotypes and their preservation status. Van Camp (2010) created an atlas of general damages of old photographs that could be used by curators, conservators and others working with photographic collections. This atlas is an important attempt to describe many photographic material damages and their causes, and it contains selected visible light images of damage and a thesaurus of related terminology. Yum (2009) applied analytical examinations to more than 300 photographic papers dating to the 1840s and 1850s. Stulik & Art (2013) created an atlas containing characteristics of different photographic techniques that could help the research community involved in the management and preservation of photographic collections. Ash et al. (2014) created a software database that allows users to describe drawings, collages, and photographic prints. Lavéndrine (2019) emphasized the possibilities offered by contemporary digital technology in the preservation of historical photographs. She formulated that in digital copies of the historical photographs, it is impossible to understand some physical elements of them, such as the physical aging of photographs, and the remains of time on them. Thus, she redefined the value of preserving the

perdido (Cattaneo *et al.*, 2008). Los científicos han estudiado diversos métodos para registrar información sobre la fabricación y el deterioro de fotos antiguas (Adelstein *et al.*, 1995; Ash *et al.*, 2014; Bigourdan, 2000; Dune *et al.*, 2005; Florian *et al.*, 1994; Lavendrine, 2009; Nishimura, 1996; Reilly, 1986; Weaver, 2009; Wilhelm y Brower, 1993; Yum, 2009). Aasbo *et al.* (2003) describieron un programa informático de varios niveles que permite clasificar e indexar colecciones fotográficas. Tragni *et al.* (2005) utilizaron radiación ultravioleta para investigar fotografías antiguas, como daguerrotipos, ferrotipos y películas en color. Ravines *et al.* (2007) utilizaron metrología óptica y de superficie para evaluar el estado de conservación de los daguerrotipos. Carretti *et al.* (2009) aplicaron microscopía óptica (MO) y microscopía electrónica de barrido ambiental (ESEM) a dos ferrotipos para obtener información sobre la composición química de los materiales que los componen y su estado de conservación. Van Camp (2010) creó un atlas de daños generales de fotografías antiguas que podría ser utilizado por comisarios, conservadores y otras personas que trabajan con colecciones fotográficas. Este atlas es un intento importante de describir muchos daños del material fotográfico y sus causas, y contiene imágenes seleccionadas de daños con luz visible y un tesauro de terminología relacionada. Yum (2009) aplicó exámenes analíticos a más de 300 papeles fotográficos que datan de las décadas de 1840 y 1850. Stulik y Art (2013) crearon un atlas con características de diferentes técnicas fotográficas que podría ayudar a la comunidad investigadora implicada en la gestión y conservación de colecciones fotográficas. Ash *et al.* (2014) crearon una base de datos de software que permite a los usuarios describir dibujos, collages e impresiones fotográficas. Lavéndrine (2019) hizo hincapié en las posibilidades que ofrece la tecnología digital contemporánea en la preservación de fotografías históricas. Formuló que en las copias digitales de las fotografías históricas es imposible comprender algunos elementos físicos de las mismas, como el envejecimiento físico de las fotografías y los restos del tiempo en ellas. Así, redefinió el valor de preservar la materialidad de

materiality of the historic photographs. Chun et al. (2023) studied and examined various characteristics in order to identify silver dye bleach prints and chromogenic prints using different examinations such as digital 3D microscopy, spectrophotometry, etc.

After Van Camp's (2010) attempt to create a terminology guide for photographic material damage, no further attempts in this direction have been identified by the author. However, there have been some attempts identified to develop shared terminology about historical photographic techniques (Stulik & Art, 2013) and a glossary of damage types of archival material (Conor & Burge, 2016; Konsa et al. 2012), but these are scarce and incomplete. Furthermore, while these resources and initiatives include examples of photographic documentation, the author did not find studies that used multiband imaging for the standardizing terms for damage of old photographs.

The purpose of this study is to demonstrate the crucial role of multiband imaging in defining and standardizing the terms used to describe damage of photographic materials. To achieve this goal, multiband imaging techniques were used to illustrate the optical characteristics of damage in photographic material. A visual guide was then created containing:

- A collection of terms used to describe different types of damage.
- Definitions of the damage.
- Examples of multiband imaging of the damage (macro and micro).

People working in photographic collections have observed that more than one term can be used for a particular type of damage. Although several terms can be used to describe the same damage, this proposed methodology can help to understand the type

las fotografías históricas. Chun *et al.* (2023) estudiaron y examinaron diversas características para identificar las impresiones con blanqueador de tinte de plata y las impresiones cromogénicas utilizando diferentes exámenes como la microscopía digital 3D, la espectrofotometría, etc.

Tras el intento de Van Camp (2010) de crear una guía terminológica para los daños del material fotográfico, el autor no ha identificado más intentos en este sentido. Sin embargo, se han identificado algunos intentos de desarrollar una terminología compartida sobre técnicas fotográficas históricas (Stulik y Art, 2013) y un glosario de tipos de daños del material de archivo (Conor y Burge, 2016; Konsa *et al.* 2012), pero son escasos e incompletos. Además, si bien estos recursos e iniciativas incluyen ejemplos de documentación fotográfica, el autor no encontró estudios que utilizaran imágenes multibanda para la normalización de términos de daños de fotografías antiguas.

El objetivo de este estudio es demostrar el papel crucial de las imágenes multibanda en la definición y normalización de los términos utilizados para describir los daños de los materiales fotográficos. Para lograr este objetivo, se utilizaron técnicas de imagen multibanda que ilustran las características ópticas de los daños en el material fotográfico. A continuación se creó una guía visual que contenía:

- Una colección de términos utilizados para describir diferentes tipos de daños
- Definiciones de los daños.
- Ejemplos de imágenes multibanda de los daños (macro y micro).

Las personas que trabajan con colecciones fotográficas han observado que puede utilizarse más de un término para un determinado tipo de daño. Aunque se pueden utilizar varios términos para describir el mismo daño, esta metodología propuesta puede ayudar a comprender el tipo de daño normalizando estos términos con el

of damage by standardizing these terms with the corresponding damage. Under this view, the vocabulary of damage terms can be improved. Damage to old photographs can be determined using non-invasive techniques such as multiband imaging, macroscopically and microscopically, in different regions of the electromagnetic spectrum (visible, ultraviolet, near infrared) as well as by imaging in different lighting positions in the visible region (normal and raking). Thus, it is suggested that the term used for any damage be combined with the images showing that damage.

For each damage documented using the multiband techniques, the term and a brief description are listed. The terms were based on glossaries and articles on the degradation of historical photographs (Aasbo et al., 2003; Bigourdan, 2000; Florian et al., 1994; Lavendrine, 2009; Mateus, 2008; Planck, 2005; Reilly, 1986; Schmidt & Carlos, 2013; Van Camp, 2010; Weaver, 2009) and on terms used by conservators and curators of the collaborating photographic collections in this study, such as the ARETHAS Institute, the Historical Archive of the National Bank of Greece and the Historical and Ethnological Museum of Athens. In this way, any discrepancy between the terms of damage can be overcome and the archival community can be helped in this direction. New technologies provide multiple solutions to preservation problems using both the term describing the damage and its image, thus creating a visual guide. In this visual guide, the damage of old photographs is presented, the term or terms used for them, a brief description, and the multiband images, both microscopical and macroscopical, that correspond to the characteristic features of the damage. By using this guide, greater uniformity in damage terminology can be achieved, as well as standardization of the terms used to describe a damage, thereby assisting the community involved in photographic collections.

daño correspondiente. De este modo, se puede mejorar el vocabulario de términos de daños. Los daños en fotografías antiguas pueden determinarse mediante técnicas no invasivas como la obtención de imágenes multibanda, macroscópica y microscópicamente , en diferentes regiones del espectro electromagnético (visible, ultravioleta, infrarrojo cercano), así como mediante la obtención de imágenes en diferentes posiciones de iluminación en la región visible (normal y rasante). Así pues, se sugiere que el término utilizado para cualquier daño se combine con las imágenes que muestran dicho daño.

Para cada daño documentado mediante las técnicas multibanda, se enumera el término y una breve descripción. Los términos se basaron en glosarios y artículos sobre la degradación de fotografías históricas (Aasbo *et al.*, 2003; Bigourdan, 2000; Florian *et al.*, 1994; Lavendrine, 2009; Mateus, 2008; Planck, 2005; Reilly, 1986; Schmidt y Carlos, 2013; Van Camp, 2010; Weaver, 2009) y en términos utilizados por comisarios y conservadores de las colecciones fotográficas colaboradoras en este estudio, como el Instituto ARETHAS, el Archivo Histórico del Banco Nacional de Grecia y el Museo Histórico y Etnológico de Atenas. De este modo, se puede superar cualquier discrepancia entre los términos de los daños y ayudar a la comunidad archivística en este sentido. Las nuevas tecnologías ofrecen múltiples soluciones a los problemas de conservación utilizando tanto el término que describe el daño como su imagen, creando así una guía visual. En esta guía visual se presentan los daños de las fotografías antiguas, el término o términos utilizados para designarlos, una breve descripción y las imágenes multibanda, tanto micro como macroscópicas, que corresponden a los rasgos característicos de los daños. Mediante el uso de esta guía, se puede lograr una mayor uniformidad en la terminología de los daños, así como la estandarización de los términos utilizados para describir un daño, ayudando así a la comunidad involucrada en las colecciones fotográficas.

Photographic Collections

The study was applied to the old photographs from the photographic collections of the Historical and Ethnological Museum of Athens, the Historical Archive of the National Bank of Greece, and the ARETHAS Institute. These photographic collections contain photographs belonging to different time periods. Photographs studied and belonging to the photographic collection of the Historical and Ethnological Museum of Athens are from the second half of the 19th century. Photographs studied and belonging to the Historical Archive of the National Bank derived are from the second half of the 20th century. Finally, photographs studied and belonging to the photographic collection of the ARETHAS Institute are from the end of the 19th and the beginning of the 20th century. The study was applied to a total of thirty-five paper photographs and one ferrotype. The photographs studied represent different storage and preservation conditions; therefore, providing different types of damage.

Methods

Multiband Imaging

Multiband imaging was implemented using different spectral regions between 380 nm and about 1100 nm.[1] Five images were acquired in three different regions of the electromagnetic spectrum, which include reflected UV (RUV), ultraviolet-induced visible luminescence (UVL), visible normal and raking light (VIS), and reflected IR (IR). Images were collected using a FujiFilm XT-10 full-spectrum camera (16MP) with a Nikkor 50 mm f/1.8 lens. The radiation sources and optical filters used for the different imaging techniques are included in Table 1.

[1] The sensor of Fuji camera is sensitive approximately between 360 nm and 1100 nm (Kokla, 2021).

Colecciones fotográficas

El estudio se aplicó a las fotografías antiguas de las colecciones fotográficas del Museo Histórico y Etnológico de Atenas, el Archivo Histórico del Banco Nacional de Grecia y el Instituto ARETHAS. Estas colecciones fotográficas contienen fotografías pertenecientes a distintos periodos de tiempo. Las fotografías estudiadas y pertenecientes a la colección fotográfica del Museo Histórico y Etnológico de Atenas son de la segunda mitad del siglo XIX. Las fotografías estudiadas y pertenecientes al Archivo Histórico del Banco Nacional derivadas son de la segunda mitad del siglo XX. Por último, las fotografías estudiadas y pertenecientes a la colección fotográfica del Instituto ARETHAS son de finales del siglo XIX y principios del XX. El estudio se aplicó a un total de treinta y cinco fotografías en papel y un ferrotipo. Las fotografías estudiadas representan diferentes condiciones de almacenamiento y conservación, por lo que presentan distintos tipos de daños.

Métodos

Imágenes multibanda

Se implementaron imágenes multibanda utilizando diferentes regiones espectrales entre 380 nm y unos 1100 nm.[1] Se adquirieron cinco imágenes en tres regiones diferentes del espectro electromagnético, que incluyen UV reflejado (RUV), luminiscencia visible inducida por ultravioleta (UVL), luz visible normal y rasante (VIS) e IR reflejado (IR). Las imágenes se tomaron con una cámara de espectro completo FujiFilm XT-10 (16MP) con un objetivo Nikkor 50 mm f/1,8. Las fuentes de radiación y los filtros ópticos utilizados para las distintas técnicas de obtención de imágenes se incluyen en la Tabla 1.

[1] El sensor de la cámara Fuji es sensible aproximadamente entre 360 nm y 1100 nm (Kokla, 2021).

Table 1 | Radiation Sources and Optical Filters Used for Multiband Imaging Techniques.

Imaging technique	Radiation Sources	Filter in front of camera	Range investigated
Visible-reflected imaging (VIS)	2 x halogen lights	B+W 486	c.380 nm-700 nm
Visible raking light imaging	1 x halogen light	B+W 486	c.380 nm-700 nm
Ultraviolet-reflected imaging (RUV)	2 x Osram Blacklights (~350-400 nm)	B+W 403	c.320-400 nm
Ultraviolet-induced visible luminescence imaging (UVL)	2 x Osram Blacklights (~300-450 nm)	B+W 081 B+W 486	c.400-590 nm
Infrared-reflected imaging (IR)	2 x halogen lights	B+W 093	beyond 800 nm

Tabla 1 | Fuentes de radiación y filtros ópticos utilizados para las técnicas de formación de imágenes multibanda.

Técnica de imagen	Fuentes de radiación	Filtro delante de la cámara	Gama investigada
Imágenes de reflexión visible (VIS)	2 x luces halógenas	B+W 486	c.380 nm-700 nm
Imagen de luz rasante visible	1 x luz halógena	B+W 486	c.380 nm-700 nm
Imágenes de ultravioleta reflejado (RUV)	2 x Osram Blacklights (~350-400 nm)	B+W 403	c.320-400 nm
Imágenes de luminiscencia visible inducida por ultravioleta (UVL)	2 x Osram Blacklights (~300-450 nm)	B+W 081 B+W 486	c.400-590 nm
Imágenes de infrarrojo reflejado (IR)	2 x luces halógenas	B+W 093	más de 800 nm

The multiband imaging and raking visible light imaging can show the type of a damage, the extent of damage, and the effect on the photographic layers. These images can provide information about the photographic surface and emulsion texture, as well as, information found on the recto and verso of photos, such as covered or erased texts, or blind stamps, etc.

Microscopic Multiband Imaging

Multiband microscopic surface imaging of the photographs was conducted using two DinoLite microscopes. Both have a 2MP resolution and a magnification range between 20X and 200X[2] (Table 2).

Results and Discussion

Multiband Imaging

Regarding multiband imaging, information is provided from the whole of a studied photograph. Normal visible light imaging is essential because

[2] https://docs.rs-online.com/a1f4/0900766b814406e5.pdf

Las imágenes multibanda y las imágenes de luz visible rasante pueden mostrar el tipo de daño, la extensión del daño y el efecto sobre las capas fotográficas. Estas imágenes pueden proporcionar información sobre la superficie fotográfica y la textura de la emulsión, así como información que se encuentra en el anverso y reverso de las fotos, como textos cubiertos o borrados, o sellos ciegos, etc.

Imágenes microscópicas multibanda

Las imágenes microscópicas multibanda de la superficie de las fotografías se realizaron con dos microscopios DinoLite. Ambos tienen una resolución de 2MP y un rango de aumentos entre 20X y 200X[2] (Tabla 2).

Resultados y discusión

Imágenes multibanda

En lo que respecta a las imágenes multibanda, se proporciona información de la totalidad de una fotografía estudiada. Las imágenes normales de luz visible son

[2] https://docs.rs-online.com/a1f4/0900766b814406e5.pdf

Table 2 | DinoLite Microscopes and Associated Multiband Imaging Techniques.

Microscope Model	Imaging Technique	Radiation Source
AM4115T-CFVW	Visible light imaging (VIS)	1 x white (VIS) LED
	Ultraviolet-induced visible luminescence imaging (UVL)	7 x violet (400 nm) LEDs with 430 nm emission filter
AD4113T-I2V	Ultraviolet-reflected imaging (RUV)	4 x UV (395 nm) LEDs
	Infrared-reflected imaging (IR)	4 x IR (940 nm) LEDs

Tabla 2 | Microscopios DinoLite y técnicas de imagen multibanda asociadas.

Modelo de microscopio	Técnica de imagen	Fuente de radiación
AM4115T-CFVW	Imágenes de luz visible (VIS)	1 x LED blanco (VIS)
	Imágenes de luminiscencia visible inducida por ultravioleta (UVL)	7 x LED violeta (400 nm) con filtro de emisión de 430 nm
AD4113T-I2V	Imágenes de ultravioleta reflejado (RUV)	4 x LED UV (395 nm)
	Imágenes de infrarrojo reflejado (IR)	4 x LED IR (940 nm)

it records the preservation state and color of the photographs providing a basis for interpreting the optical characteristics of a damage in the multiband images. Significant information is provided by the raking visible light imaging, such as the distortion of the photographic surface or various deposits on it. This imaging technique allows blind stamps to be easily distinguished. Reflected ultraviolet (RUV) images can document damage to upper layers of photographs, such as the degradation of the protective emulsion layer, the growth of biological agents, and the extent of various stains and oxidations found on the photographic surface. This type of imaging can also help to reveal texts or signatures that are covered or erased and located on the recto or verso of photographs.

Figure 1 shows an example of the multiband images of a photographic portrait of a woman (AR.9, ARETHAS Institute collection). The normal visible light (VIS) image provides information about the damage of the photograph including the adhesive deposits seen as scattered transparent white spots on the upper left and scattered oxidations with boundaries that are not quite apparent in the bottom left.

esenciales porque registran el estado de conservación y el color de las fotografías, proporcionando una base para interpretar las características ópticas de un daño en las imágenes multibanda. Las imágenes de luz visible rasante proporcionan información significativa, como la distorsión de la superficie fotográfica o diversos depósitos sobre ella. Esta técnica de imagen permite distinguir fácilmente los sellos ciegos. Las imágenes ultravioletas reflejadas (RUV) pueden documentar daños en las capas superiores de las fotografías, como la degradación de la capa protectora de la emulsión, el crecimiento de agentes biológicos y la extensión de diversas manchas y oxidaciones encontradas en la superficie fotográfica. Este tipo de imágenes también puede ayudar a revelar textos o firmas cubiertos o borrados y situados en el anverso o el reverso de las fotografías.

La Figura 1 muestra un ejemplo de las imágenes multibanda de un retrato fotográfico de mujer (AR.9, colección del Instituto ARETHAS). La imagen normal de luz visible (VIS) proporciona información sobre los daños de la fotografía, incluidos los depósitos de adhesivo que se ven como manchas blancas transparentes dispersas en la parte superior izquierda y oxidaciones dispersas con límites que no son del todo aparentes en la parte inferior izquierda.

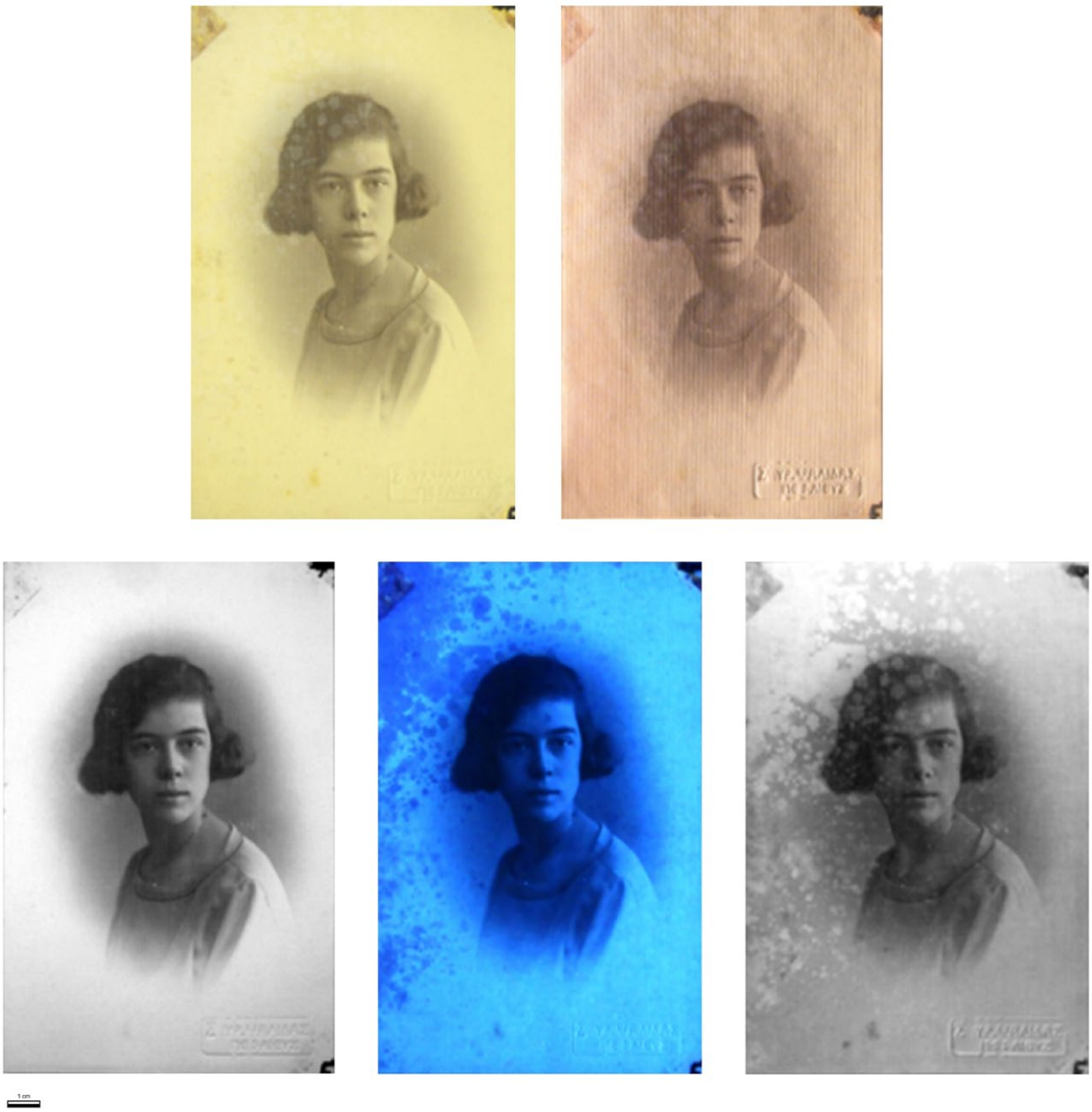


Figure 1 | Multiband imaging of the photographic portrait of a woman (AR. 9, ARETHAS Institute collection). Imaging techniques included are (top left to right) VIS and raking visible light, (bottom left to right) IR, UVL and RUV.

Figura 1 | Imágenes multibanda del retrato fotográfico de una mujer (AR. 9, colección del Instituto ARETHAS). Las técnicas de imagen incluidas son (arriba de izquierda a derecha) VIS y luz visible rasante, (abajo de izquierda a derecha) IR, UVL y RUV.

In the raking light image, a matte surface with a striped texture is discernible and the blind stamp in the bottom right is emphasized. The RUV image shows early stage stains on the photographic surface (Choi, 2007, p.142). Furthermore, the extent and limits of adhesive damage, oxidations, and damage to the protective emulsion layer can be easily discerned. The UVL image shows the degradation of the protective layer of the photograph extending over more of the surface than is apparent in the VIS image. In the IR image, the adhesive deposits appear to have affected not only the photographic surface but also the photographic substrates, although the extent of damage is less.

Figure 2 includes examples of multiband images (VIS, raking, and RUV) of a photography depicting people working outdoors (n. A1Σ11Y8Φ2T4, Historical Archive of the National Bank of Greece collection). The extent and boundaries of a

En la imagen de luz rasante se aprecia una superficie mate con textura rayada y se destaca el sello ciego de la parte inferior derecha. La imagen RUV muestra manchas en fase temprana en la superficie fotográfica (Choi, 2007, p.142). Además, se pueden discernir fácilmente la extensión y los límites de los daños adhesivos, las oxidaciones y los daños en la capa protectora de la emulsión. La imagen UVL muestra la degradación de la capa protectora de la fotografía extendiéndose por más superficie de la que se aprecia en la imagen VIS. En la imagen IR, los depósitos de adhesivo parecen haber afectado no sólo a la superficie fotográfica, sino también a los sustratos fotográficos, aunque la extensión del daño es menor.

La Figura 2 incluye ejemplos de imágenes multibanda (VIS, rasante y RUV) de una fotografía en la que aparecen personas trabajando al aire libre (n. A1Σ11Y8Φ2T4, Archivo Histórico de la colección del Banco Nacional de Grecia). La extensión y los límites de una mancha

Figure 2 | Multiband images of a photograph depicting people working outdoors (n. A1Σ11Y8Φ2T4, Historical Archive of the National Bank of Greece collection). The images include VIS, raking visible light, and RUV.

Figura 2 | Imágenes multibanda de una fotografía que muestra a personas trabajando al aire libre (n. A1Σ11Y8Φ2T4, colección del Archivo Histórico del Banco Nacional de Grecia). Las imágenes incluyen VIS, luz visible rasante y RUV.

Figure 3 | VIS image of recto of photgraphic portrait of a man standing (left) (AR.14, ARETHAS Institute collection). The VIS image of the verso of the portrait (middle) shows text obscured by a layer of glue, and the IR image of the verso (right) increases the legibility of the text.

Figura 3 | Imagen VIS del anverso del retrato fotográfico de un hombre de pie (izquierda) (AR.14, colección del Instituto ARETHAS). La imagen VIS del reverso del retrato (centro) muestra el texto oscurecido por una capa de cola, y la imagen IR del reverso (derecha) aumenta la legibilidad del texto.

moisture-induced stain across the right side of the photograph is easily seen in the raking visible light and reflected UV images. Raking light emphasizes the distortions of the photographic paper. The RUV image also clearly records the emulsion damage at the bottom edge of the photograph. Both images provide information about photograph damage in areas where there are surface irregularities, the emulsion shows degradation.

Multiband imaging, in addition to the photographic damage documentation, can also help to identify manufacturing defects as well as revealing

inducida por la humedad en la parte derecha de la fotografía se aprecian fácilmente en las imágenes de luz visible rasante y de luz ultravioleta reflejada. La luz rasante acentúa las distorsiones del papel fotográfico. La imagen RUV también registra claramente el daño de la emulsión en el borde inferior de la fotografía. Ambas imágenes proporcionan información sobre los daños de la fotografía en las zonas donde hay irregularidades de la superficie, la emulsión muestra degradación.

Las imágenes multibanda, además de la documentación de daños fotográficos, también pueden ayudar a identificar defectos de fabricación, así como a revelar

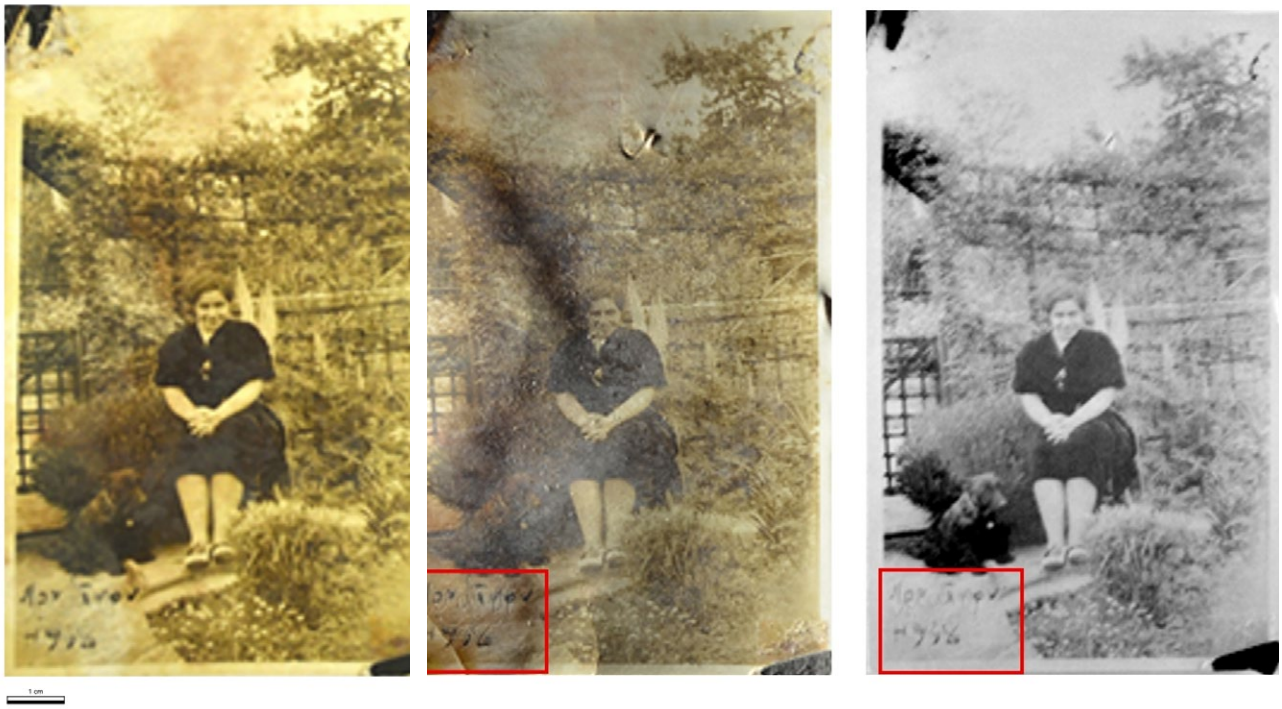


Figure 4 | VIS (left), visible raking light (middle), and IR (right) images of a photograph of a woman sitting in a garden (AR.3, ARETHAS Institute collection). The red rectangle indicates the location of the writing and the area of details included in Figure 5.

Figura 4 | Imágenes VIS (izquierda), luz visible rasante (centro) e IR (derecha) de una fotografía de una mujer sentada en un jardín (AR.3, colección del Instituto ARETHAS). El rectángulo rojo indica la ubicación de la escritura y la zona de detalles incluida en la Figura 5.

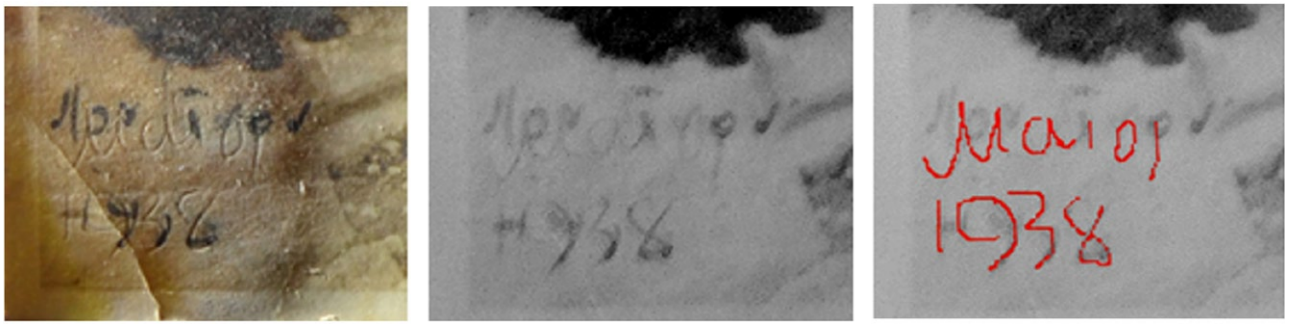


Figure 5 | Details of the raking visible light (left) and IR (middle) images from the photograph included in Figure 4. The first two images show details of the old writing traces in both imaging techniques, and the image on the right shows a detail of the IR image in which red has been used to make these traces more apparent.

Figura 5 | Detalles de las imágenes rasante (izquierda) e IR (centro) de la fotografía incluida en la Figura 4. Las dos primeras imágenes muestran detalles de las antiguas huellas de escritura en ambas técnicas de imagen, y la imagen de la derecha muestra un detalle de la imagen IR en la que se ha utilizado el rojo para hacer más evidentes estas huellas.

erased and covered texts located under deposits or thick adhesive layers. This information is important for understanding the creation, fabrication, and history of old photographs. One such example is shown in Figure 3 where texts under a thick and solid layer of glue are legible in the IR images.

Another example of imaging techniques helping to increase the legibility of text is a photograph of a woman in a garden with handwriting in the lower left corner (Figures 4 and 5). While "London" and the date "1938" are legible in the VIS image, visible raking light and IR images help to retrieve the word "May" under "London". Thus, this photograph is considered to have been taken in May 1938, in London.

Microscopic Multiband Imaging

Microscopic multiband imaging was used because some features are not easily legible or distinct in multiband imaging. This type of imaging can clearly distinguish details, thus allowing for more accurate and precise results. The microscopic multiband imaging yields a plethora of information about the biological agents, fabrication materials, photographic stratigraphy, the process used and the preservation state in a more precise way. Microscopic surface imaging can provide more reliable results about the factors causing the damage. The microscopic multiband imaging included reflected IR yields clear information on the effect of damage on the photographic layers, as well as on the erased and covered texts on the recto and verso of the photographs and their effects on the photographic layers. UV-induced visible luminescence (UVL) can clearly identify damage to the photographic emulsion, especially if they are fluorescent.

An example of microscopic multiband imaging is shown in Figure 6 with VIS, UVL, RUV and IR images of a photographic portrait of a young woman

textos borrados y cubiertos situados bajo depósitos o capas gruesas de adhesivo. Esta información es importante para comprender la creación, fabricación e historia de las fotografías antiguas. Un ejemplo de ello se muestra en la Figura 3, donde los textos situados bajo una gruesa y sólida capa de pegamento son legibles en las imágenes IR.

Otro ejemplo de técnicas de imagen que ayudan a aumentar la legibilidad del texto es la fotografía de una mujer en un jardín con letra manuscrita en la esquina inferior izquierda (Figuras 4 y 5). Mientras que «Londres» y la fecha «1938» son legibles en la imagen VIS, las imágenes visibles de luz rasante e IR ayudan a recuperar la palabra «mayo» debajo de «Londres». Así pues, se considera que esta fotografía fue tomada en mayo de 1938, en Londres.

Imágenes microscópicas multibanda

Se utilizó la imagen microscópica multibanda porque algunas características no son fácilmente legibles o distinguibles en la imagen multibanda. Este tipo de imagen puede distinguir claramente los detalles, lo que permite obtener resultados más exactos y precisos. La imagen microscópica multibanda proporciona una gran cantidad de información sobre los agentes biológicos, los materiales de fabricación, la estratigrafía fotográfica, el proceso utilizado y el estado de conservación de una forma más precisa. Las imágenes microscópicas de superficie pueden proporcionar resultados más fiables sobre los factores causantes del daño. La imagen microscópica multibanda que incluye IR reflejado proporciona información clara sobre el efecto de los daños en las capas fotográficas, así como sobre los textos borrados y cubiertos en el anverso y el reverso de las fotografías y sus efectos en las capas fotográficas. La luminiscencia visible inducida por UV (UVL) permite identificar claramente los daños en la emulsión fotográfica, especialmente si son fluorescentes.

En la Figura 6 se muestra un ejemplo de imagen microscópica multibanda con imágenes VIS, UVL, RUV e IR de un retrato fotográfico de una mujer joven (AR.9,

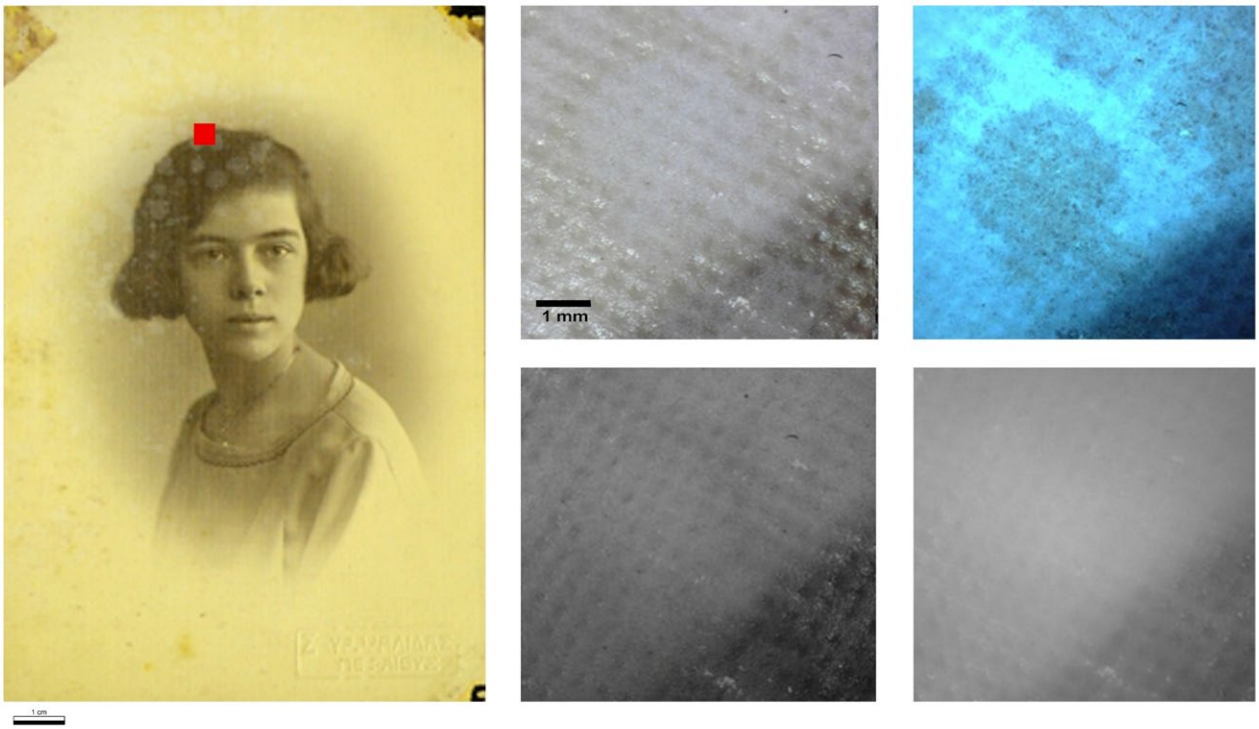


Figure 6 | A photographic portrait of a young woman (left) was investigated using multiband microscopic imaging (top row: VIS and UVL; bottom row: RUV and IR). The multiband microscope images were acquired with a magnification of 70x. (AR.9, ARETHAS Institute collection).

Figura 6 | Se investigó el retrato fotográfico de una mujer joven (izquierda) utilizando imágenes microscópicas multibanda (fila superior: VIS y UVL; fila inferior: RUV e IR). Las imágenes microscópicas multibanda se adquirieron con un aumento de 70x. (AR.9, colección del Instituto ARETHAS).

(AR.9, ARETHAS Institute collection). The red rectangle in the overall VIS image shows the area where the microscopic images were acquired. In the UVL microscope image, biological growth is detected between the protective layer[3] and the emulsion.

Figure 7 shows the microscopic multiband imaging of the emulsion damage caused by ink on a photograph depicting an outdoor place (n. A1Σ23Y2Φ5T1,

colección del Instituto ARETHAS). El rectángulo rojo de la imagen VIS general muestra la zona en la que se adquirieron las imágenes microscópicas. En la imagen microscópica UVL se detecta crecimiento biológico entre la capa protectora[3] y la emulsión.

La Figura 7 muestra la imagen microscópica multibanda de los daños en la emulsión causados por la tinta en una fotografía que representa un lugar al aire libre

[3] On photographic papers of the 20th century, there is often a protective layer on top of the emulsion that protects the emulsion from mechanical damage such as scratches, abrasions, etc.

[3] En los papeles fotográficos del siglo xx, suele haber una capa protectora sobre la emulsión que la protege de daños mecánicos como arañazos, abrasiones, etc.

Historical Archive of the National Bank of Greece collection). In particular, in the UVL image, the effect of ink oxidation is detected which extends beyond the damage limits evident in the VIS image. In the IR image, the damage caused by the ink is limited to the photographic emulsion layer, while the underlying layers are slightly affected.

In addition, the multiband microscope images reveal various interventions, such as local hand-coloring applied by the photographer. In Figure 8 the extensive painting on the figure's eyes using black and white watercolors is presented. All the microscope images clearly show the retouching strokes and how the black

(n. A1Σ23Y2Φ5T1, colección del Archivo Histórico del Banco Nacional de Grecia). En particular, en la imagen UVL se detecta el efecto de la oxidación de la tinta, que se extiende más allá de los límites de los daños evidentes en la imagen VIS. En la imagen IR, el daño causado por la tinta se limita a la capa de emulsión fotográfica, mientras que las capas subyacentes se ven ligeramente afectadas.

Además, las imágenes del microscopio multibanda revelan diversas intervenciones, como el coloreado local a mano aplicado por el fotógrafo. En la Figura 8 se presenta la extensa pintura de los ojos de la figura con acuarelas en blanco y negro. Todas las imágenes microscópicas muestran claramente las pinceladas de retoque

Figure 7 | A photograph depicting an outdoor place (left) was investigated using microscopic multiband imaging (top row: VIS and UVL; bottom row: RUV and IR). The multiband microscope images were acquired with a magnification of 70x. (n. A1Σ23Y2Φ5T1, ARETHAS Photographic Collection of the Historical Archives of the National Bank of Greece).

Figura 7 | Una fotografía de un lugar al aire libre (izquierda) se investigó mediante imágenes microscópicas multibanda (fila superior: VIS y UVL; fila inferior: RUV e IR). Las imágenes microscópicas multibanda se adquirieron con un aumento de 70x. (n. A1Σ23Y2Φ5T1, Colección Fotográfica ARETHAS de los Archivos Históricos del Banco Nacional de Grecia).

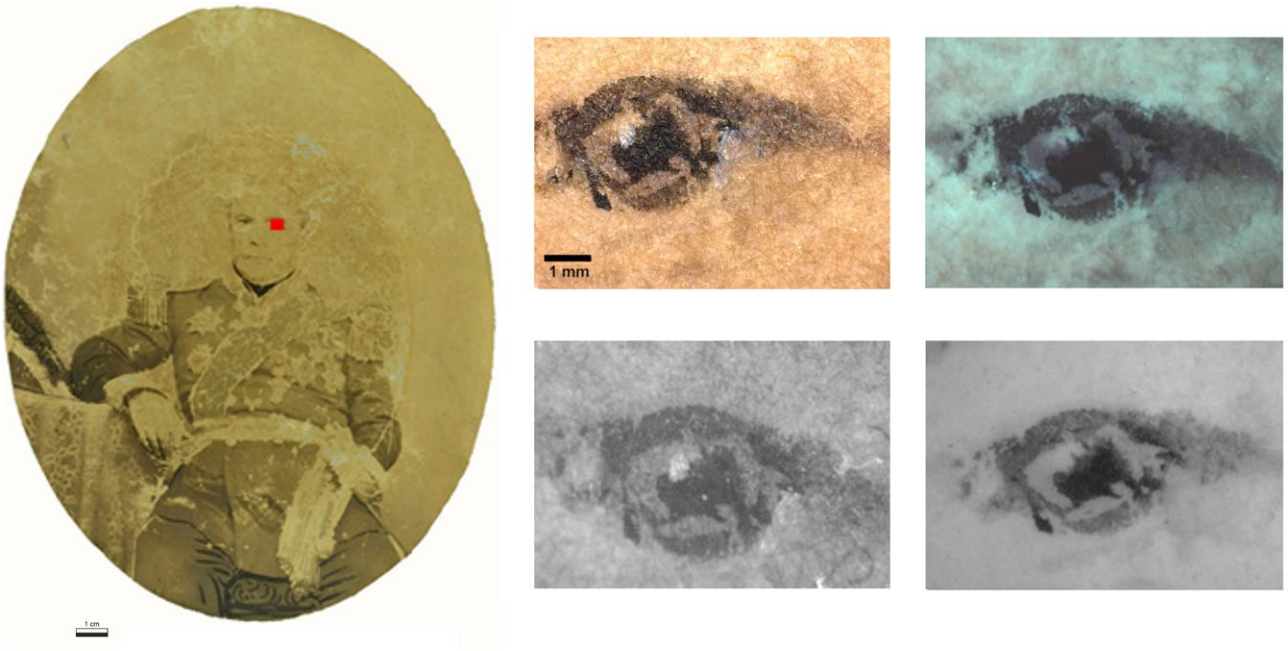


Figure 8 | A photographic portrait of a man (left) was investigated using microscopic multiband imaging (top row: VIS and UVL; bottom row: RUV and IR). The multiband microscope images were acquired with a magnification of 70x. (IB.176, Historical and Ethnological Museum of Athens).

Figura 8 | Se investigó el retrato fotográfico de un hombre (izquierda) utilizando imágenes microscópicas multibanda (fila superior: VIS y UVL; fila inferior: RUV e IR). Las imágenes microscópicas multibanda se adquirieron con un aumento de 70x. (IB.176, Museo Histórico y Etnológico de Atenas).

pigment was deposited. Also, the photographer added small white strokes (seen in the VIS and RUV images), as an attempt to highlight the man's eye.

Creating a Visual Guide to Photograph Damage

Today, multiband imaging can offer solutions to the heterogeneity of terms used in a damage thus helping people involved in photographic archives, such as curators, conservators, etc. Multiband images can record features of different types of damage in photographs, contributing significantly to the visualization of the typical features of a particular damage. A visual damage guide was created that includes common damage of historic photographs.

y cómo se depositó el pigmento negro. Además, el fotógrafo añadió pequeñas pinceladas blancas (que se ven en las imágenes VIS y RUV), en un intento de resaltar el ojo del hombre.

Creación de una guía visual para fotografiar los daños

Hoy en día, las imágenes multibanda pueden ofrecer soluciones a la heterogeneidad de los términos utilizados en un daño, ayudando así a las personas implicadas en los archivos fotográficos, como comisarios, conservadores, etc. Las imágenes multibanda pueden registrar las características de distintos tipos de daños en las fotografías, lo que contribuye significativamente a la visualización de los rasgos típicos de un daño concreto. Se ha creado

Table 3 | Damage Found in the Photographs Studied and Different Terms Used.

Damage of the photographic image	Damage of the support	Mechanical damage	Other damage
· Filamentous silver · Brittleness, Embrittlement Mirroring - Silvering · Color fading · Image loss · Delamination · Surface dirt, surface deposit, accretion, soiling, filth, stain, soot, dust, soil, grime · Discoloration - Stain	· Loss, Lacuna, Perforation · Distortion, Lack of flatness · Deformation, Undulation, Buckling, Curves · Yellowing of the paper support	· Emulsion cracks · Tears · Scratch · Crease · Dent	· Manufacture error · Fingerprint · Yellowing of varnish · Adhesive residue · Old restorations · Chemical stains · Biological decay, Biological attack, Grazing · Pest damage

Tabla 3 | Daños encontrados en las fotografías estudiadas y diferentes términos utilizados.

Daño de la imagen fotográfica	Daños en el soporte	Daños mecánicos	Otros daños
· Plata filamentosa · Quebradizo, frágil, espejado- plateado · Desvanecimiento del color · Pérdida de imágen · Delaminación · Suciedad superficial, depósito superficial, acumulación, suciedad, mugre, mancha, hollín, polvo, tierra, mugre · Decoloración - Mancha	· Pérdida, laguna, perforación · Distorsión, Falta de planitud · Deformación, ondulación, pandeo, curvas · Amarilleamiento del soporte de papel	· Grietas en la emulsión · Rasgados · Arañazo · Pliegue · Deformaciones	· Error de fabricación · Huella dactilar · Amarilleamiento del barniz · Residuos de adhesivos · Restauraciones antiguas · Manchas químicas · Deterioro biológico, Ataque biológico, rasguño · Daños por plagas

The guide combines a selection of multiband images depicting a type of damage with the terms used to describe that damage. Table 3 shows the recorded damage of the photographs studied. The types of damage were divided into four categories: the damage of photographic image, damage of the support, mechanical damage, and the damage that does not belong to the first three types.

After reviewing the international literature (glossaries and articles, see Introduction) about the damage of photographic materials, it was found that in many cases different terms are used for a particular damage. This was confirmed by the conservators and curators of the photographic collections that participated in the study. For this reason, each type of damage was matched with associated terms, and this was accompanied by multiband imaging that depicts the optical characteristics of that damage. Under this aspect, all terms used for a damage are presented together. Thus, a visual guide has been created in which each damage type contains the term, definition, and typical optical characteristics from multiband imaging. The aim is that the visual guide can be used by

una guía visual de daños que incluye los daños más comunes de las fotografías históricas. La guía combina una selección de imágenes multibanda que muestran un tipo de daño con los términos utilizados para describir dicho daño. La Tabla 3 muestra los daños registrados en las fotografías estudiadas. Los tipos de daños se dividieron en cuatro categorías: los daños de la imagen fotográfica, los daños del soporte, los daños mecánicos y los daños que no pertenecen a los tres primeros tipos.

Tras revisar la bibliografía internacional (glosarios y artículos, véase la Introducción) sobre el daño de los materiales fotográficos, se comprobó que en muchos casos se utilizan términos diferentes para un daño concreto. Así lo confirmaron los comisarios y conservadores de las colecciones fotográficas que participaron en el estudio. Por esta razón, cada tipo de daño se emparejó con los términos asociados, y esto se acompañó de imágenes multibanda que representan las características ópticas de ese daño. Bajo este aspecto, todos los términos utilizados para un daño se presentan juntos. Así, se ha creado una guía visual en la que cada tipo de daño contiene el término, la definición y las características ópticas típicas a partir de imágenes multibanda. El objetivo es que la guía visual pueda ser utilizada por las personas que

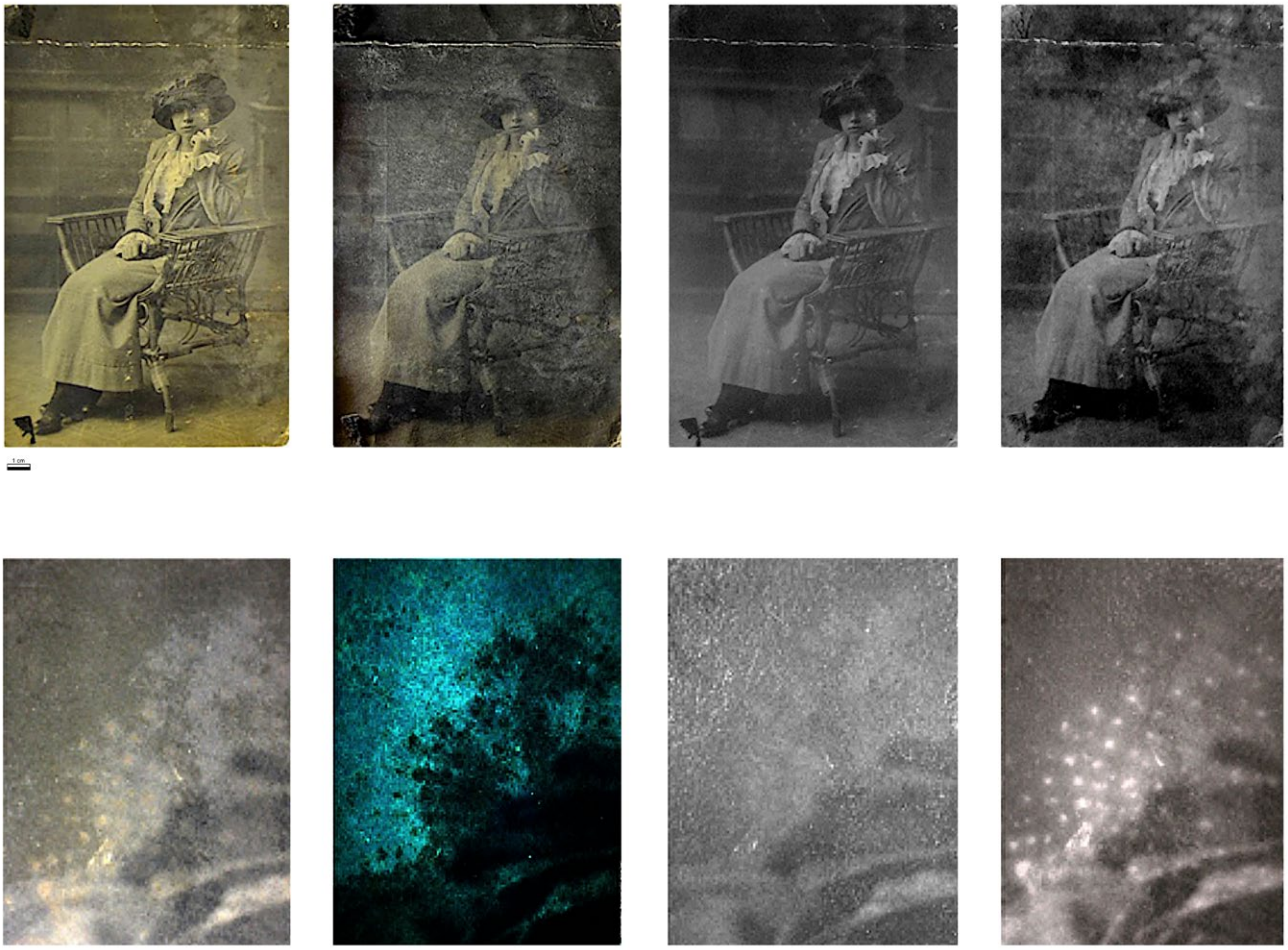


Figure 9 | An example of surface deposit damage in the visual guide. The example of this particular damage included the terms used for it, a definition of the specific damage, and multiband imaging of the damage, macro and micro.

Figura 9 | Ejemplo de daño por depósito superficial en la guía visual. El ejemplo de este daño concreto incluía los términos utilizados para designarlo, una definición del daño específico e imágenes multibanda del daño, macro y micro.

people working with archives and historical collections (archivists, conservators, curators, etc.) to have common terms related to the damage of historic photographs. Common terms of damage facilitate the management of historic photographic collections, while they can contribute decisively to making decisions about dealing with photographs

trabajan con archivos y colecciones históricas (archiveros, conservadores, comisarios, etc.) para disponer de términos comunes relacionados con los daños de las fotografías históricas. Los términos comunes sobre daños facilitan la gestión de las colecciones históricas fotográficas, ya que pueden contribuir decisivamente en la toma de decisiones al intervenir fotografías con problemas de

with special preservation problems that require conservation treatment or stabilization until treatment can be carried out.

As shown in Table 3, sometimes, different terms have been used for the same damage. A typical example of the guide, especially, of surface dirt and other terms used for it is shown in Figure 9. This damage is shown using three elements, the term and its definition, and its visual characteristics seen in the multi-zone display. Thus, the proposed presentation helps to avoid issues of confusion regarding the terms used in this damage.

The visual guide has been provided for use to the collaborating institutes, such as the ARETHAS Institute, the Historical Archive of the National Bank of Greece, the Ioannis F. Kostopoulos Foundation, as well as the Historical and Ethnological Society. Conservators and curators agreed that the visual guide proved useful and important to the prevailing confusion on the terms used in the damage found in the photographic collections.

Conclusions

The standardization of the damage terms can be successful using the definition of a damage and its optical features recorded with multiband imaging. The application of non-invasive multiband imaging to document damage to old photographs provides significant information about their preservation state. The imaging helps to record the features of damage in different regions of the electromagnetic spectrum, which allows the characterization of different types of damage and the extent of the damage to be distinguished. The behavior of the damage in the different regions of the electromagnetic spectrum allows the user to distinguish the extent and limits of the damages and the ability to characterize them. A good

preservación especiales que requieren de tratamientos de estabilización antes de realizar el tratamiento de conservación.

Como se muestra en la Tabla 3, a veces, se han utilizado diferentes términos para el mismo daño. En la Figura 9 se muestra un ejemplo típico de la guía, especialmente de la suciedad superficial y otros términos utilizados para ella. Este daño se muestra utilizando tres elementos, el término y su definición, y sus características visuales vistas en la pantalla multi-zona. De este modo, la presentación propuesta ayuda a evitar problemas de confusión en relación con los términos utilizados en este daño.

La guía visual se ha facilitado para su uso a los institutos colaboradores, como el Instituto ARETHAS, el Archivo Histórico del Banco Nacional de Grecia, la Fundación Ioannis F. Kostopoulos, así como la Sociedad Histórica y Etnológica. Comisarios y conservadores coincidieron en que la guía visual resultaba útil e importante ante la confusión existente sobre los términos empleados en los daños encontrados en las colecciones fotográficas.

Conclusiones

La normalización terminológica de las patologías puede lograrse utilizando la definición de un daño y sus características ópticas registradas con imágenes multibanda. La aplicación de imágenes multibanda no invasivas para documentar alteraciones en fotografías antiguas proporciona información significativa sobre su estado de conservación. Las imágenes ayudan a registrar las características de los daños en distintas regiones del espectro electromagnético, lo que permite caracterizar distintos tipos de alteraciones y distinguir su alcance. El comportamiento de laspatologías en las distintas regiones del espectro electromagnético permite distinguir su extensión y límites así como caracterizarlos. Un buen ejemplo es que, aunque los términos de ataque biológico,

example is that although the terms of biological attack, biological decomposition, and biological agents are different, they present similar optical features in UVL imaging and therefore the optical features of a damage can be matched to its specific terms. Another typical example is that various terms are used for the surface deposits, but they present similar optical characteristics in visible raking light imaging. RUV and IR imaging can help to identify and characterize stains in the historical photographs.

By standardizing terminology for damage, preservation decisions and conservation treatments can become more precise and targeted, contributing to better preservation and management of photographic collections. Apart from information on the preservation state of old photographs, non-invasive imaging techniques provide a lot of information about fingerprints, covered or erased texts, etc., elements important for understanding the history of old photographs. In this way, the documentation of historical photographs is further enriched by elements found and made apparent due to multiband imaging. Thus, the visual guide can aid the community active in historical archives and collections in more than one way in the management and preservation of old photographs.

Furthermore, it has been observed by people involved in photographic historical collections that different terms of damage prevail. In this case, the proposed methodology can help to smooth out this heterogeneity. The ability provided by technological advances using the multiband imaging on any damage of historical photographic materials simultaneously with its term allows for greater uniformity in photographic damage terminology, which helps the photographic archival community.

descomposición biológica y agentes biológicos son diferentes, presentan características ópticas similares en las imágenes UVL y, por lo tanto, las características ópticas de un daño pueden corresponderse con sus términos específicos. Otro ejemplo típico es que se utilizan varios términos para los depósitos superficiales, pero presentan características ópticas similares en las imágenes de luz visible rasante. Las imágenes RUV e IR pueden ayudar a identificar y caracterizar las manchas en las fotografías históricas.

Al normalizar la terminología de los daños, las decisiones de preservación y los tratamientos de conservación pueden ser más precisos y específicos, lo que contribuye a mejorar la preservación y la gestión de las colecciones fotográficas. Aparte de la información sobre el estado de conservación de las fotografías antiguas, las técnicas de imagen no invasivas proporcionan mucha información sobre huellas dactilares, textos cubiertos o borrados, etc., elementos importantes para comprender la historia de las fotografías antiguas. De este modo, la documentación de las fotografías históricas se enriquece aún más con los elementos encontrados y puestos de manifiesto gracias a las imágenes multibanda. De este modo, la guía visual puede ayudar de más de un modo a la comunidad activa en archivos y colecciones históricas en la gestión y conservación de fotografías antiguas.

Además, las personas que se dedican a las colecciones históricas fotográficas han observado que prevalecen distintos términos de daños. En este caso, la metodología propuesta puede ayudar a suavizar esta heterogeneidad. La capacidad que proporcionan los avances tecnológicos al utilizar la imagen multibanda sobre cualquier daño de los materiales fotográficos históricos, simultáneamente con su término, permite una mayor uniformidad en la terminología de los daños fotográficos, lo que ayuda a la comunidad de los archivos fotográficos.

Acknowledgments

The authors wish to express their thanks to the Director of the Archives, Mr. Gerasimos Notaras, Director of the Historical Archive of the National Bank and Ms. M. Papanastasiou, Director of the Historical and Ethnological Society, for the access to the old photographs.

Special thanks to the Ioannis F. Kostopoulos Foundation which partially financed the research and especially to the Director of the Foundation Mr. H. Verykios and Ms. As. Round, who trusted and strengthened this study.

Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento al Director de los Archivos, Sr. Gerasimos Notaras, Director del Archivo Histórico del Banco Nacional, y a la Sra. M. Papanastasiou, Directora de la Sociedad Histórica y Etnológica, por el acceso a las fotografías antiguas.

Un agradecimiento especial a la Fundación Ioannis F. Kostopoulos, que financió parcialmente la investigación, y especialmente al Director de la Fundación, el Sr. H. Verykios, y a la Sra. As. Round, que confiaron en este estudio y lo reforzaron.

References | Bibliografía

Aasbo, K., Ortega Garcva, I., Isomursu, A., Johansson, T., & Klijn, E. (2003). *SEPIADES Recommendations for cataloguing photographic collections*, in European Commission on Preservation and Access Amsterdam. Royal Netherlands Academy of Arts and Sciences. https://www.ica.org/en/sepiades-recommendations-cataloguing-photographic-collections

Adelstein, P.Z., Reilly, J.M., Nishimura, D.W., Erbland, C.J., & Bigourdan, J.L. (1995). Stability of Cellulose Ester Base Photographic Film: Part V - Recent Findings. *SMPTE Journal*, *104*(7), 439-447. https://doi.org/10.5594/J00276

Ash, N., Homolka, S., Lussier, S., Pollak, R., & Spaulding, E. (2014). *Descriptive Terminology for Works of Art on Paper: Guidelines for the accurate and consistent description of the materials and techniques of drawings, prints, and collages*. R. Wolcott (Ed.). Conservation Department, Philadelphia Museum of Art.

Bigourdan, J.L. (2000). *The Vinegar Syndrome: A Handbook, Prevention, Remedies and the Use of New Technologies*, The GAMMA Group.

Cattaneo, B., Chelazzi, D., Giorgi, R., Serena, T., Merlo, C., & Baglioni, P. (2008). Physico-chemical characterization and conservation issues of photographs dated between 1890 and 1910, *Journal of Cultural Heritage*, *9*, 277-284. https://doi.org/10.1016/j.culher.2008.05.002

Carretti, E., Milano, M., Dei, L., & Baglioni, P. (2009). Noninvasive physicochemical characterization of two 19th century English ferrotypes. *Journal of Cultural Heritage*, *10*, 501–508. https://doi.org/10.1016/j.culher.2009.03.002

Choi, S. (2007). Foxing on paper: A literature review. *Journal of the American Institute for Conservation*, *46*(2), 137-152. https://doi.org/10.1179/019713607806112378

Chun, S.F., Hofmann-Sievert, R., & Stigter, S. (2023). Definite Identifiers of Silver Dye Bleach Prints. *Heritage* *6*(1), 26-43. https://doi.org/10.3390/heritage6010002

Clark, S. (2009). *Preservation of photographic material*, London: The Preservation Advisory Centre. British Library.

Conor, M., & Burge, D. (2016). The Atlas of Water Damage on Inkjet Fine Art. Image Permanence Institute, Rochester Institute of Technology.

Corsaro, C., Mallamace, D., Vasi, S., Pietronero, L., Mallamace, Fr., & Missori, M. (2016). The role of water in the degradation process of paper using 1H HR-MAS NMR spectroscopy. *Journal Physical Chemistry Chemical Physics*, *18*(48), 1-3. https://doi.org/10.1039/c6cp06601a

Dale, P. (2000). An alternative to foxing? Oxidative degradation as a cause of cellulosic discolouration, *PapierRestaurierung*, *1*, 55-60. https://doi.org/10.1080/15632628.2000.12461750

Dune, C., Grinde, L., & Wiegandt, R. (2005). Characterization of Black-and-White Silver Gelatin Fiber-Based Photographic Prints. *Topics in Photographic Preservation*, *11*, 38-56.

Florian, M., Koestler, R., Nicholson, K., Parker, T., Stanlley, T., Szczepanowska, H., & Wagner, S. (1994). *Chapter 12-mold/fungi*. In S. Bertalan (ed.). Paper Conservation Catalog 1-39 American Institute for Conservation/Book and Paper Group.

Kokla, V. (2021). Contemporary approach in the study of a Byzantine-illuminated manuscript on parchment. *European Physical Journal Plus* 136, 786. https://doi.org/10.1140/epjp/s13360-021-01699-z

Konsa, K., Lepp, A., & Reimo, T. (2012). Books as Physical Objects: Damage Atlas and Condition Calculator. *The international Journal of the Book*. *9*(4), 111-123. https://doi.org/10.18848/1447-9516/CGP/v09i04/36953

Lavendrine, B. (2019). Photography and Its Conservation: Continuity and Changes in the Digital Era. *Senri Ethnological Studies*, *Conservation of Cultural Heritage in a Changing World* (N. Sonoda Ed.), *10*, 115–122. https://doi.org/10.15021/00009470

Lavendrine, B. (2009). *Photographs of the past: process and preservation*. The Getty Conservation Institute. Getty Publications.

Mateus, C. (2008). *Photograph Conservation Thesaurus*. [MA Thesis in Preventive Conservation at Northumbria University, U.K].

Nishimura, D.W. (1996). The Practical Presentation of Research Studies on Film Stability. In *Proceedings Research Techniques in Photographic Conservation* (pp.85-91).

Planck, M. (2005). *Preserving B&W Negatives from Physical Damage: Handling Methods and Enclosure Design*. [Capstone Research Project, Advanced Residency Program in Photograph Conservation, George Eastman House/Image Permanence Institute]. Rochester, N.Y.

Ravines, P., Wiegandt, R., Wichern, Ch., Hailstone, R., & Romer, G. (2007). The Application of Optical and Surface Metrology to Daguerreotypes. *Topics in Photographic Preservation*, *12*, 211-223.

Reilly, J. (1986). *Care and Identification of 19th Century Photographic Prints*, Kodak.

Schmidt, M., & Carlos, M. (2013). *Fotoverfahren Hausarbeit: Gutachten zur Aufbewahrung fotografischer Materialien [Master »Konservierung Neuer Medien und Digitaler Information*, Staatliche Akademie der Bildenden Kunste Stuttgard]. https://www.academia.edu/7573044/Recommendations_on_the_Storage_of_Photographic_Materials

Stulik, D., & Art K. (2013). The Atlas of Analytical Signatures of Photographic Processes. *Topics in Photographic Preservation*, *15*, 249-263.

Tragni, C.B., Chen, J., & Kushel, D. (2005). *The Use of Ultraviolet-Induced Visible Fluorescence for Examination of Photographs*. [Capstone Research Project, Advanced Residency Program in Photograph Conservation, George Eastman House/Image Permanence Institute]. Rochester, NY. https://www.eastman.org/advanced-residency-program-photograph-conservation-capstoneresearch-projects

Weaver, G. (2009). *A Guide to Fiber-Base Gelatin Silver Print Condition and Deterioration*. [Advanced Residency Program in Photograph Conservation. George Eastman House, International Museum of Photography and Film Image Permanence Institute], Rochester Institute of Technology.

Wilhelm, H., & Brower, C. (1993). *Permanence and Care of Color Photographs: Traditional and digital color prints, color negatives, slides, and motion pictures*. Preservation Publishing Company.

Van Camp, K. (2010). Damage Atlas for Photographic materials. Analogue objects. *CeROArt, EGG 1*. https://doi.org/10.4000/ceroart.1770

Yum, H. (2009). *A Study of Early Photographic Paper*, Capstone Research Project. [Advanced Residency program in Photograph Conservation, George Eastman House/Image Permanence Institute]. Rochester, NY.

Codex Quetzalecatzin detail, ca. 1593, polychrome Mesoamerican manuscript map: Geography and Map Division, Library of Congress

Detalle del Códice Quetzalecatzin, ca. 1593, mapa manuscrito mesoamericano policromado: División de Geografía y Mapas, Biblioteca del Congreso.

THE *CODEX QUETZALECATZIN*: THE EVOLUTION OF ITS CREATION REVEALED THROUGH MULTIBAND IMAGING

EL CÓDICE QUETZALECATZIN: *LA EVOLUCIÓN DE SU CREACIÓN REVELADA MEDIANTE IMÁGENES MULTIBANDA*

Mary Elizabeth Haude
Library of Congress, United States
mhaud@loc.gov

Introduction

The *Codex Quetzalecatzin* is a polychrome Mesoamerican manuscript created circa 1593 by Indigenous Mexican artists. In 2017, the Library of Congress acquired the codex where it was given a place alongside two other significant 16th-century Mesoamerican codices in its collections, the *Huexotzinco Codex* and the *Otztoticpac Lands Map*. In 2021, Library of Congress Senior Paper Conservator Mary Elizabeth Haude performed an in-depth examination of the codex in the Conservation Division that included multiband imaging. After repeatedly reviewing and scrutinizing the images, Haude made some enlightening discoveries.

This case study will show those discoveries and discuss their implications regarding the facture, provenance, restoration, and revision of the codex. It will also demonstrate how conservators can use multiband imaging to reveal previously

Introducción

El *Códice Quetzalecatzin* es un manuscrito mesoamericano policromado creado hacia 1593 por artistas indígenas mexicanos. En 2017, la Biblioteca del Congreso adquirió el códice, incorporándolo a sus colecciones junto con otros dos importantes códices mesoamericanos del siglo XVI: el *Códice Huexotzinco* y el *Mapa de las Tierras de Otztoticpac*. En 2021, la restauradora Mary Elizabeth Haude, responsable del departamento de conservación de papel de la Biblioteca del Congreso, examinó el códice mediante imágenes multibanda. Tras analizar detalladamente dichas imágenes, la restauradora Haude hizo algunos descubrimientos esclarecedores.

Este estudio de caso presenta esos hallazgos y analiza sus implicaciones respecto a la fabricación, procedencia, restauración y revisión del códice. Asimismo, demostrará cómo las imágenes multibanda pueden emplearse en conservación para revelar información previamente

undiscovered information about an artifact. In addition, it will add to previous multiband imaging studies of 16th-century Mesoamerican codices, such as the *Saville Codex* at the Smithsonian Institution's National Museum of the American Indian (Radlo-Dzur et al., 2021), the *Huexotzinco Codex* at the Library of Congress (Haude & Villafana, 2023), and the *Beinecke Map* at Yale University's Beinecke Library (Magaloni Kerpel, 2012). Rather than provide concrete answers to the findings, this paper is intended as a starting point for a more comprehensive research project to deepen the understanding of the codex with regard to its material aspects and informational content. Potential future investigations are detailed at the end of the paper.

Codex Quetzalecatzin

The *Codex Quetzalecatzin*, also known as the Mapa de Ecatepec-Huitziltepec, is a colonial Mexican manuscript that functions as a genealogy on the left side depicting the ruler Lord Quetzalecatzin and his descendants, and as a map on the right side showing their territories in the southern Puebla and northern Oaxaca regions of present-day Mexico (Figure 1). This style of manuscript is typical of record-keeping by Indigenous Mesoamerican societies who recorded various information they deemed important, including "…tributes; censuses; maps; local and imperial histories; rulers' genealogies; and religious, calendrical, and astrological information" (Berdan, 2014, p. 252). The *Codex Quetzalecatzin* is also characteristic of colonial Mesoamerican manuscripts in that it contains information conveyed through Indigenous pictographic writing and glyphs as well as alphabetic writing in Spanish and the Indigenous language Nahuatl.

The codex was in the holdings of the French collector Charles Ratton after its purchase in 1939 from Sotheby and Company until 2017 when it was acquired

no detectada en objetos históricos. El análisis se suma a estudios previos centrados en códices mesoamericanos del siglo XVI documentados mediante imágenes multibanda, como el *Códice Saville* del Museo Nacional del Indígena Americano del Smithsonian Institution (Radlo-Dzur *et al.*, 2021), el *Códice Huexotzinco* de la Biblioteca del Congreso (Haude y Villafana, 2023) y el *Mapa Beinecke* de la Biblioteca Beinecke de la Universidad de Yale (Magaloni Kerpel, 2012). Más que ofrecer respuestas concluyentes, este capítulo busca servir como punto de partida para una investigación más exhaustiva que profundice en la comprensión del códice, tanto en sus aspectos materiales como en la información que contiene. Al final del capítulo se proponen posibles líneas de investigación futuras.

Códice Quetzalecatzin

El *Códice Quetzalecatzin*, también conocido como el *Mapa de Ecatepec-Huitziltepec*, es un manuscrito colonial mexicano que funciona como una genealogía en su lado izquierdo, donde se representa al gobernante Señor Quetzalecatzin y sus descendientes, y como un mapa en su lado derecho, que muestra sus territorios en el sur de Puebla y el norte de Oaxaca regiones del actual México (Figura 1). Este tipo de manuscrito es característico de los registros de las sociedades indígenas mesoamericanas, que documentaban información que consideraban trascendental, como "...tributos, censos, mapas, historias locales e imperiales, genealogías de gobernantes e información religiosa, calendárica y astrológica" (Berdan, 2014, p. 252). El *Códice Quetzalecatzin* también es representativo de los manuscritos virreinales mesoamericanos por contener información expresada tanto en escritura pictográfica y glifos indígenas como en escritura alfabética en español y en la lengua indígena náhuatl.

El códice perteneció al coleccionista francés Charles Ratton, quien lo adquirió en 1939 a través de Sotheby & Company, y lo conservó hasta 2017,

Figure 1 | *Codex Quetzalecatzin*, ca. 1593, polychrome manuscript map, 90 x 73 cm: Geography and Map Division, Library of Congress (G4701.G46 1593 .C6).

Figura 1 | *Códice Quetzalecatzin*, ca. 1593, mapa manuscrito policromado, 90 x 73 cm: División de Geografía y Mapas, Biblioteca del Congreso (G4701.G46 1593 .C6).

by the Library of Congress (Seda-Galarza, 2017; van Doesburg, 2018, p. 126). Before 1939, it was owned by the United States newspaper magnate and collector William Randolph Hearst (Glass & Robertson, 1975, p. 127). John B. Glass and Donald Robertson raise the possibility of the codex being in the collection of the Mexican archaeologist Alfredo Chavero since both he and Hearst owned the same manuscript (1975, p. 127). According to Sebastián van Doesburg of the Institute of Philological Research at the National Autonomous University of Mexico, the *Codex Quetzalecatzin* was taken out of Mexico in 1906 after the death of Chavero and that little is known about its provenance before 1906 (2018, pp. 126-127).

The codex is painted on several sheets of European laid rag paper adhered together to make a larger sheet. Pre-contact and some early colonial Mesoamerican manuscripts used the Indigenous pounded papers amate, from the inner bark of *Ficus* trees, and to a lesser extent maguey, from the fibers of leaves of agave plants (López Binnqüist et al., 2012, p. 141; Vander Meeren, 1997, p. 70; González Tirado & Cruz Chagoyán, 2013). As the 16th century progressed, European paper began to replace amate and maguey papers in the production of Mesoamerican manuscripts, such as the Relaciones Geográficas maps (Haude, 1998) and the Codex Mendoza (Domenici, 2019, pp. 109-110).

The palette of the codex includes carmine red, pink, turquoise blue, several shades of green, warm yellow, and black. The Mesoamerican palette traditionally consisted of dye-based and organic-inorganic hybrid pigments (Domenici, 2019, p. 109; Dupey García, 2017, p. 27). The carmine red and turquoise blue paints on the codex evoke the Indigenous dye-based cochineal lake pigments and the hybrid Maya blue pigment respectively. However, some of the pigments may be of European introduction

cuando fue adquirido por la Biblioteca del Congreso (Seda-Galarza, 2017; van Doesburg, 2018, p. 126). Antes de 1939, fue propiedad del magnate de la prensa y coleccionista estadounidense William Randolph Hearst (Glass y Robertson, 1975, p. 127). John B. Glass y Donald Robertson plantean la posibilidad de que el códice hubiera formado parte de la colección del arqueólogo mexicano Alfredo Chavero, ya que tanto él como Hearst poseían el mismo manuscrito (1975, p. 127). Según Sebastián van Doesburg, del Instituto de Investigaciones Filológicas de la Universidad Nacional Autónoma de México, el códice fue sacado de México en 1906 tras la muerte de Chavero, y se sabe poco sobre su procedencia antes de ese año (2018, pp. 126-127).

El códice está pintado sobre varias hojas de papel de trapo verjurado europeo adheridas entre sí para formar una hoja de mayor tamaño. Los manuscritos mesoamericanos anteriores a la colonización, así como algunos de los primeros manuscritos coloniales, fueron elaborados en papeles indígenas hechos a partir de amate —corteza interna de los árboles del género *Ficus*—y, en menor medida maguey, elaborado con fibras de hojas de plantas de agave (López Binnqüist *et al.*, 2012, p. 141; Vander Meeren, 1997, p. 70; González Tirado y Cruz Chagoyán, 2013). Conforme avanzó el siglo XVI, el papel europeo comenzó a sustituir a los papeles de amate y maguey en la producción de manuscritos mesoamericanos, como se observa en los mapas de las Relaciones Geográficas (Haude, 1998) y el Códice Mendoza (Domenici, 2019, pp. 109-110).

La paleta del códice incluye rojo carmín, rosa, azul turquesa, varios tonos de verde, amarillo cálido y negro. La paleta mesoamericana tradicional estaba compuesta por pigmentos a base de tintes y compuestos híbridos orgánico-inorgánicos (Domenici, 2019, p. 109; Dupey García, 2017, p. 27). Las pinturas en rojo carmín y azul turquesa evocan los pigmentos laca indígenas, a base de tintes de cochinilla y el pigmento híbrido conocido como azul maya, respectivamente. Sin embargo,

since European pigments were gradually adopted in the 16th century for painting Mesoamerican pictorial manuscripts, such as those identified on the *Relaciones Geográficas* maps (Haude, 1998), the *Codex Mendoza* (Domenici, 2019), and the *Florentine Codex* (Magaloni Kerpel, 2011).

The outlines of the images and glyphs and most of the alphabetic glosses are composed of black ink. Carbon-based black ink, made from the soot of pine trees, was used throughout Mesoamerica by Indigenous artists in the production of painted books and manuscripts in the pre-contact eras (Dupey García, 2017, p. 27; Domenici et al., 2014, p. 105) and the early colonial period (Albro & Albro, 1990, p. 105; Haude, 1998, pp. 258-259; Newman & Derrick, 2012, p. 98). Brown ink comprises some of the glosses and revisions to the glyphs that is reminiscent of iron-gall ink, which was introduced in Mexico by the Spanish in the 16th-century (Domenici, 2019, p. 110; Dupey García, 2017, p. 27).

Since its creation, the codex underwent restoration and revision. For the purposes of this paper, restoration refers to actions taken to repair or provide structural support to the codex, whereas revision refers to adding to or altering the codex's imagery and glyphs. Thin paper patches adhered to the recto were likely intended as repairs for tears, losses, and weakened areas of the paper apparent throughout the codex. To provide additional support, a thick fabric was adhered overall to the verso. The thin paper patches conceal the informational content underneath, while the fabric backing renders any information on the verso unattainable (Figure 2). In addition, the surface texture of the paper is obscured in many areas on the manuscript with what appears to be white and off-white paints. Revisions to the codex's imagery and glyphs were made directly to the paper in these painted areas and on top of the thin paper patches.

algunos pigmentos podrían ser de origen europeo, ya que estos comenzaron a adoptarse gradualmente en el siglo XVI para pintar manuscritos pictográficos mesoamericanos, como los identificados en los mapas de las *Relaciones Geográficas* (Haude, 1998), el *Códice Mendoza* (Domenici, 2019) y el *Códice Florentino* (Magaloni Kerpel, 2011).

Los contornos de las imágenes y glifos, así como la mayoría de las glosas alfabéticas, están realizados con tinta negra. La tinta negra a base de carbón, producida a partir del hollín de pino, fue utilizada en toda Mesoamérica por artistas indígenas para la creación de libros pintados y manuscritos durante las épocas anteriores a la colonización (Dupey García, 2017, p. 27; Domenici *et al*., 2014, p. 105) y en el primer periodo del virreinato (Albro y Albro, 1990, p. 105; Haude, 1998, pp. 258-259; Newman y Derrick, 2012, p. 98). La tinta marrón observada en algunas de las glosas y revisiones de los glifos recuerda a la tinta ferrogálica, introducida en México por los españoles en el siglo XVI (Domenici, 2019, p. 110; Dupey García, 2017, p. 27).

Desde su creación, el códice ha sido objeto de restauración y revisión. En el contexto de este estudio, se entiendo por restauración las intervenciones destinadas a reparar o reforzar estructuralmente el manuscrito, y por revisión se refiere a la adición o modificación de la imaginería y los glifos. Finos parches de papel adheridos al anverso fueron probablemente utilizados para reparar desgarros, pérdidas y zonas debilitadas del soporte. En el reverso se aplicó una tela gruesa como refuerzo adicional. Estos parches de papel ocultan el contenido informativo subyacente, mientras que el soporte de tela impide el acceso a cualquier información del reverso (Figura 2). Además, la textura de la superficie del papel está oscurecida en numerosas zonas del manuscrito por lo que parecen ser capas de pinturas blancas y blanquecinas. Las revisiones de las imágenes y los glifos del códice se realizaron directamente sobre el papel en estas zonas pintadas y sobre los parches finos de papel.

Figure 2 | Verso of the *Codex Quetzalecatzin* showing the fabric backing.

Figura 2 | Verso del *Códice Quetzalecatzin* mostrando el soporte de tela.

One revision is different from those described above, where a somewhat large paper patch is adhered in the top central area on which new imagery and glosses were added (Figure 6a). As opposed to the thin paper repairs, the paper of this patch is similar to that of the surrounding codex, being handmade European laid rag paper. The thin repairs, on the other hand, have the appearance of machine-made wove papers from the 19th- and 20th-centuries.[1] Wove paper was invented in the 18th century, and industrialized machine-made wove paper gained widespread use in the 19th century (Hunter, 1978).

Currently the codex is in stable condition, however the fabric backing and the adhesive used to adhere it have made the paper stiff and have contributed to planar distortion. While concerning, conservation treatment to remedy these issues was considered too invasive as it would likely involve moisture. Since aqueous treatment could potentially cause changes to the revisions, which are now considered part of the content and history of the codex, it was deemed unacceptable. Preservation strategies include storage of the codex in a custom-made conservation-quality housing in a secure location with a stable environment; no further preservation actions are planned at this time.

Methods

Imaging of the *Codex Quetzalecatzin* spanned the ultraviolet (UV) to visible (VIS) to infrared (IR) spectrum. A Nikon D700 camera with the internal IR-blocking removed and a CoastalOpt UV-Vis-IR 60mm lens were used. The imaging bands, filters, transmittance, and light sources are detailed in

[1] The author bases the hypothesis of the thin paper patches originating from the 19th or 20th centuries on her experience as a paper conservator, where she has observed and removed these types of repairs from many manuscripts in the Library of Congress collections.

Una revisión particularmente significativa resulta diferente de las anteriormente descritas: en la parte superior central del manuscrito se encuentra adherido un parche de papel de mayor tamaño, sobre el cual se añadieron nuevas imágenes y glosas (Figura 6a). A diferencia de los parches finos, este papel es similar al soporte original del códice circundante, tratándose de papel de trapo europeo verjurado hecho a mano. En contraste, los parches más finos muestran características de papeles industriales de los siglos XIX y XX.[1] El papel elaborado a máquina fue inventado en el siglo XVIII, y su producción industrial se generalizó en el siglo XIX (Hunter, 1978).

Actualmente, el códice se encuentra en un estado estable, aunque el soporte de tela y el adhesivo utilizado para adherirlo han endurecido el papel y han contribuido a su deformación. Aunque preocupante, cualquier tratamiento de conservación orientado a resolver estos problemas fue considerado excesivamente invasivo, ya que implicaría el uso de humedad. Dado que el tratamiento acuoso podría alterar cambios en las revisiones —ahora consideradas parte integral del contenido y la historia del códice—, se consideró inaceptable. Las estrategias de conservación actuales se centran en su almacenamiento en una caja hecha a medida y que reúne los estándares de conservación, en un entorno seguro y estable, y por el momento no se prevén medidas adicionales.

Métodos

La obtención de imágenes del *Códice Quetzalecatzin* abarcó el espectro que va desde el ultravioleta (UV) hasta el visible (VIS) y el infrarrojo (IR). Se utilizó una cámara Nikon D700 con el filtro de bloqueo IR interno retirado, equipada con un objetivo CoastalOpt UV-Vis-IR de 60 mm. Las bandas espectrales utilizadas, los filtros, la

[1] La autora basa la hipótesis de los parches de papel fino originarios de los siglos XIX o XX en su experiencia como conservadora de papel, donde ha observado y eliminado este tipo de reparaciones de muchos manuscritos de las colecciones de la Biblioteca del Congreso.

Table 1. The images, including the false color modes also noted in Table 1, were processed using Adobe Photoshop. A Library of Congress internal manual details the imaging and post-processing methods used in the Conservation Division (Digital Imaging Workflow for Treatment Documentation, n.d.) and is based on protocols for the photographic documentation of cultural heritage by conservation professionals (Warda et al., 2017; Dyer et al., 2013).

transmitancia y las fuentes de luz empleadas se detallan en la Tabla 1. Las imágenes obtenidas —incluidos los modos de falso color también indicados en la tabla—, fueron procesadas mediante Adobe Photoshop. Los procedimientos de captura y posprocesamiento seguidos por la División de Conservación están descritos en un manual interno de la Biblioteca del Congreso (Digital Imaging Workflow for Treatment Documentation, s.f.), el cual se fundamenta en protocolos desarrollados por profesionales de la restauración para la documentación fotográfica del patrimonio cultural (Warda *et al.*, 2017; Dyer *et al.*, 2013).

Table 1 | Multiband Imaging Specifications.

Band	Filter(s)	Transmittance (approximate)	Radiation/Light Source
Visible Light Imaging (VIS)	PECA 916 PECA 918	400-750 nm 380-700 nm	North Light High-Intensity Discharge (HID) copy light (2)
Reflected Infrared Imaging (IR)	PECA 910	850-1000 nm	North Light High-Intensity Discharge (HID) copy light (2)
Transmitted Infrared Imaging (IRT)	PECA 904	795-1000 nm	TTI Copy Systems copy stand with halogen projector lamp
Reflected Ultraviolet Imaging (UVR)	PECA 900 X-Nite BP1	250-400 nm 300-650nm	UV Systems Triple Bright II LW370 (2)
Ultraviolet-Induced Visible Luminescence Imaging (UVL)	PECA 916 PECA 918	400-750 nm 380-700 nm	UV Systems Triple Bright II LW370 (2)
	Images Used		**Channel Substitutions**
False Color Infrared Imaging (IRFC)	VIS + IR		G to B; R to G; IR to R

Tabla 1 | Especificaciones de las imágenes multibanda.

Bandas	Filtros	Transmitancia (aproximada)	Fuentes de radiación/iluminación
Imagen Visible con luz reflejada (VIS)	PECA 916 PECA 918	400-750 nm 380-700 nm	Par de focos North Light High-Intensity Discharge (HID)
Imagen infrarroja reflejada (IR)	PECA 910	850-1000 nm	Par de focos North Light High-Intensity Discharge (HID)
Imagen infrarroja trasnmitida (IRT)	PECA 904	795-1000 nm	Sistema de proyección halógeno TTI Copy Systems
Imagen ultravioleta reflejada (UVR)	PECA 900 X-Nite BP1	250-400 nm 300-650nm	UV Systems Triple Bright II LW370 (2)
Luminiscencia visible inducida por radiación ultravioleta (UVL)	PECA 916 PECA 918	400-750 nm 380-700 nm	UV Systems Triple Bright II LW370 (2)
	Imágenes usadas		**Sustituciones de canales**
Imagen infrarroja de falso color	VIS + IR		G a B; R a G; IR a R

Aspects Revealed in the Multiband Images

Ultraviolet-induced Visible Luminescence and Reflected Ultraviolet

Ultraviolet-induced visible luminescence (UVL) overwhelmingly reveals the presence of the white and off-white paints on the surface of the codex, even though these paints are readily detected with the naked eye. Both the white and off-white paints luminesce in UVL, but differently from each other with one luminescing bright yellow and the other luminescing whiter in comparison (Figure 3a). It is worth noting that the luminescence of these paints in UVL may result from the interaction between the pigments and binders, and not necessarily from the pigments themselves. UVL also shows the extent to which these paints were applied to the recto of the manuscript. In reflected ultraviolet (UVR), the off-white paint that luminesces bright yellow is dark and the white paint is bright (Figure 3b).

The strong luminescence of the white and off-white paints detracted from other features revealed by ultraviolet-induced visible luminescence. After repeated examination of the UVL image, faint areas of writing were discovered all over the codex (Figure 4). This was enlightening because these areas of writing are not apparent to the naked eye.

Reflected Infrared, Transmitted Infrared, and False Color Infrared

Another discovery was made by close examination of the reflected infrared (IR) image: an area of printed text that is also not visible to the naked eye and is not in keeping with a manuscript created by Indigenous Mesoamerican artists in the 16th century. The partial word "TERIZAS" was easily readable, and many other printed words in different font sizes in this same area were also noticeable.

Aspectos revelados en las imágenes multibanda

Luminiscencia visible inducida por el ultravioleta y ultravioleta reflejado

La luminiscencia visible inducida por radiación ultravioleta (UVL) revela de forma notable la presencia de las pinturas blanca y blanquecina en la superficie del códice, aunque ya son detectables a simple vista. Tanto la pintura blanca como la blanquecina presentan luminiscencia bajo UVL, pero lo hacen de forma diferente: una emite un brillo amarillo intenso, mientras que la otra de color aparece más blanca (Figura 3a). Es importante señalar que esta luminiscencia podría deberse a la interacción entre los pigmentos y los aglutinantes, y no exclusivamente a los pigmentos en sí. La UVL también permite observar el grado de aplicación de estas pinturas sobre el anverso del manuscrito. En las imágenes de ultravioleta reflejado (UVR), la pintura blanquecina que muestra luminiscencia amarilla intensa es oscura, mientras que la pintura blanca se percibe brillante (Figura 3b).

La intensa luminiscencia de ambas pinturas limita la visibilidad de otros rasgos detectables mediante UVL. No obstante, tras un examen reiterado de estas imagenes, se identificaron tenues zonas de escritura distribuidas a lo largo del códice (Figura 4), lo cual resulta esclarecedor, ya que estas zonas no son visibles a simple vista.

Infrarrojo reflejado, infrarrojo transmitido e infrarrojo falso color

Otro hallazgo surgió al examinar de cerca las imágenes de infrarrojo reflejado (IR): se identificó un área con texto impreso, invisible a simple vista y no concordante con un manuscrito producido por artistas indígenas mesoamericanos del siglo xvi. En esta zona, la palabra parcial "TERIZAS" era legible con claridad, y se percibían otras palabras impresas en distintos tamaños de fuente.

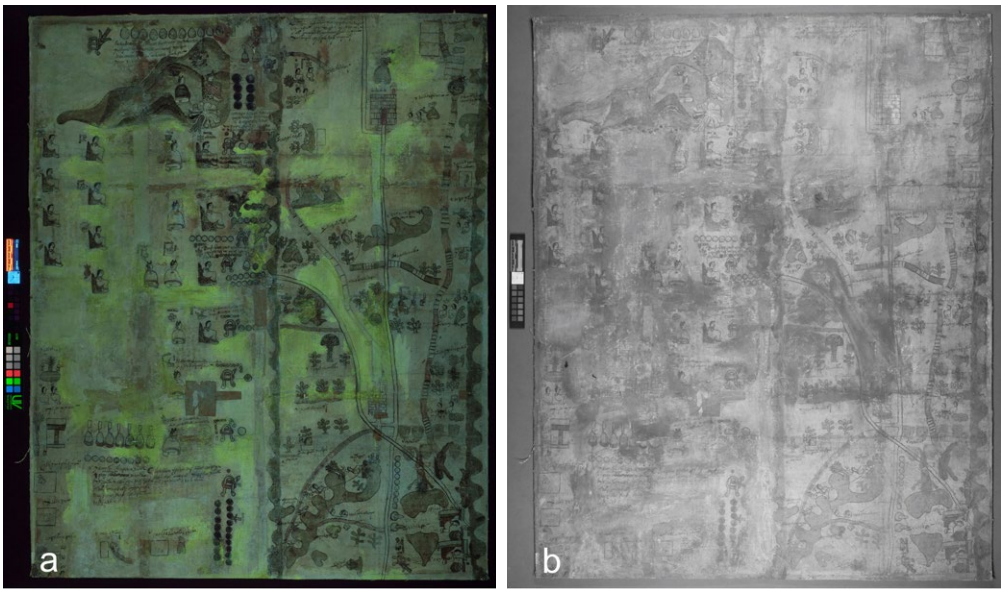


Figure 3 | White and off-white paints appearing white and bright yellow in UVL and appearing bright and dark in UVR (a and b, respectively).

Figura 3 | Pinturas blancas y blanquecinas que aparecen blancas y amarillo brillante en UVL y aparecen brillantes y oscuras en UVR (a y b, respectivamente).

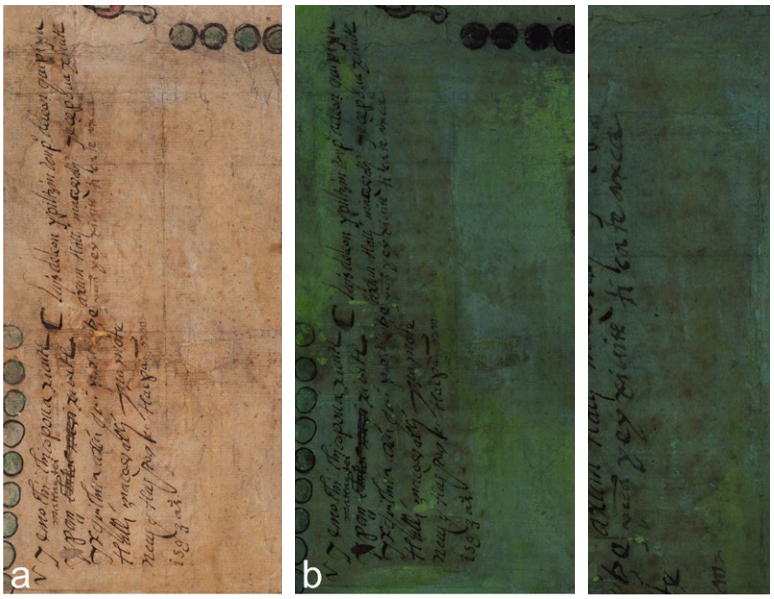


Figure 4 | Detail from the *Codex Quetzalecatzin* showing the faint lines of handwritten text, perpendicular to the gloss, that are apparent in UVL but not in VIS (b and a, respectively). Note that the right-most UVL image is zoomed in further than the UVL image in the middle.

Figura 4 | Detalle del *Códice Quetzalecatzin* que muestra las tenues líneas de texto manuscrito, perpendiculares a la glosa, que se aprecian en UVL pero no en VIS (b y a, respectivamente). Obsérvese que la imagen UVL de la derecha está más ampliada que la imagen UVL del centro.

The mystery of the printed text was resolved with transmitted infrared (IRT) imaging. IRT reveals a printed fragment between the verso of the codex's paper and the fabric backing. IRT also shows a large tear and thinning of the paper in this area. The fragment is from a Spanish language newspaper or broadside, and likely functioned as a repair for the tear and thinned manuscript paper (Figure 5).

Transmitted infrared was useful for revealing aspects of facture of the *Codex Quetzalecatzin* not apparent in visible light. While it seemed likely that the landscape surrounding Lord Quetzalecatzin would continue beneath the rectangular patch adhered on the recto, the IRT image of this area confirms it (Figure 6). IRT also reveals where the leaves overlap to construct the larger sheet of the codex (Figure 7). While some areas of overlapping are visible to the naked eye, most of the overlapped areas are obscured by the white and off-white paints. Finally, the presence of a watermark, a faint circle with an intersecting diagonal line, is slightly discernible on one of the sheets (not shown here).

El misterio del texto impreso se resolvió gracias a las imágenes de infrarrojas transmitidas (IRT), las cuales revelaron un fragmento impreso entre el reverso del papel del códice y el soporte de tela. Las imágenes IRT también evidenciaron un gran desgarro y adelgazamiento del papel en esta zona. El fragmento corresponde a un periódico o a un folletín en lengua española, y fue probablemente utilizado para reforzar la zona dañada del manuscrito (Figura 5).

La imagen infrarroja transmitida resultó igualmente útil para revelar aspectos de la factura del *Códice Quetzalecatzin* que no son perceptibles en luz visible. Aunque ya se sospechaba que el paisaje que rodeaba al Señor Quetzalecatzin continuaba debajo del parche rectangular adherido al anverso, la imagen IRT de esta zona lo confirma (Figura 6). También se evidenció la disposición de las hojas superpuestas utilizadas para formar el soporte completo del códice (Figura 7). Aunque algunas de estas uniones son visibles a simple vista, la mayoría permanecen ocultas bajo capas de pinturas blanca y blanquecina. Por último, en una de las hojas se distingue tenuemente una marca de agua, un círculo atravesado por una línea diagonal (no se muestra aquí).

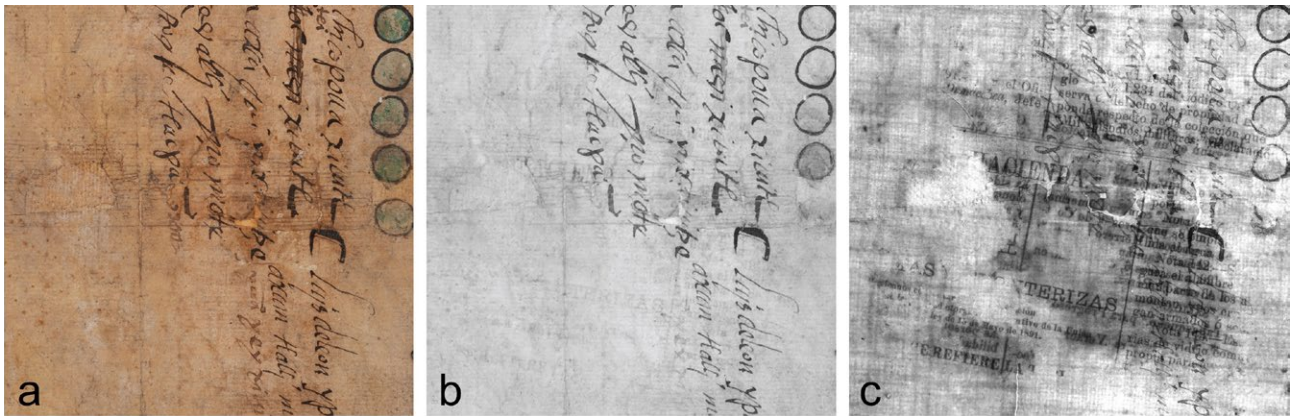


Figure 5 | Detail from the *Codex Quetzalecatzin* showing faint areas of printing apparent in IR but not in VIS (b and a, respectively), that was revealed to be a newspaper or broadside fragment in IRT (c).

Figura 5 | Detalle del *Códice Quetzalecatzin* que muestra débiles áreas de impresión aparentes en IR pero no en VIS (b y a, respectivamente), que se reveló ser un fragmento de periódico o portada en IRT (c).

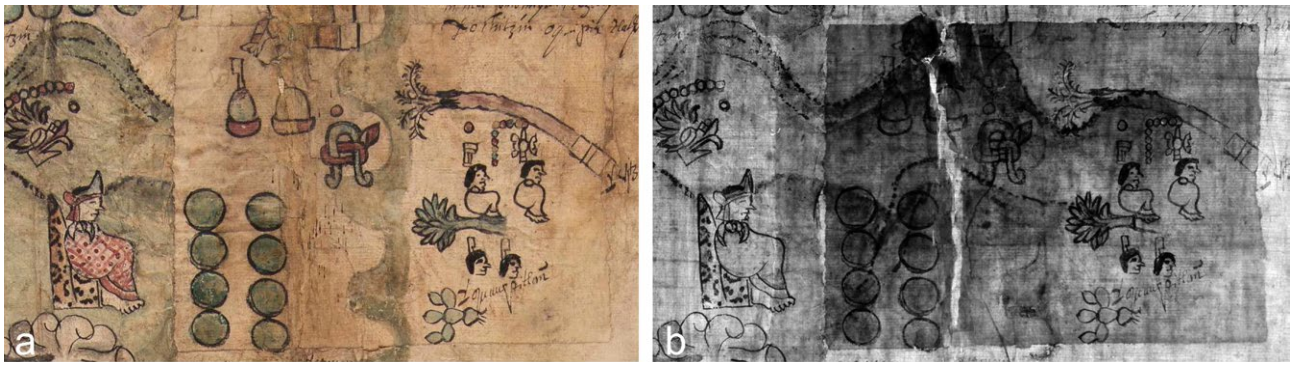


Figure 6 | Detail from the *Codex Quetzalecatzin* showing the painted landscape beneath the paper patch revealed in IRT, as compared to VIS (b and a, respectively).

Figura 6 | Detalle del *Códice Quetzalecatzin* que muestra el paisaje pintado bajo el parche de papel revelado en la IRT, en comparación con el VIS (b y a, respectivamente).

The multiband imaging revealed several areas where the pictographic writing and glyphs were revised. Areas that concern name, place, and date glyphs will be discussed in this paper. Indigenous Mesoamerican artists used pictographic writing to convey information pertaining to "...dates and time, persons, places, and various actions and events" (Boone, 2000, p. 39). On pictorial codices, a person is identified by their name glyph that appears next to them (Boone, 2000, p. 48). Similarly, geographic locations are represented by place glyphs, such as stylized images of hills and small circular bodies of water (Boone, 2000, pp. 49 - 51). Dates for years and days were also depicted with glyphs, often as disks or circles (Boone, 2000, p. 41).

One area concerns the name glyph of a noble woman that van Doesburg says is difficult to read (2018, p. 134). The reason this glyph is hard to decipher is that it was reworked, possibly more than once. White and off-white paints and various revisions to the black outlines are perceptible in VIS (Figure 8a). Revisions to the day count, represented by circles, are discernible in IR such that two additional circles appear at the bottom of the vertical band of circles and two circles are detectible to the right of

Las imágenes multibanda revelaron las zonas donde se revisaron (es decir, se rehicieron) la escritura pictográfica y los glifos. En este artículo se centra en el análisis de las áreas que están relacionadas con los glifos de nombres, lugares y fechas. Los artistas indígenas mesoamericanos emplearon la escritura pictográfica para transmitir información sobre "...fechas y tiempo, personas, lugares y diversas acciones y acontecimientos" (Boone, 2000, p. 39). En los códices pictográficos, las personas se identifican por el glifo de su nombre, ubicado junto a su figura(Boone, 2000, p. 48). Del mismo modo, las ubicaciones geográficas se representan con glifos de lugar, como colinas estilizadadas o pequeñas masas de agua circulares (Boone, 2000, pp. 49 - 51). Las fechas, ya sean de años y días también se representaban mediante glifos, frecuentemente en forma de discos o círculos (Boone, 2000, p. 41).

Una de las zonas estudiadas corresponde al glifo del nombre de una mujer noble que, según van Doesburg, resulta es difícil de interpretar (2018, p. 134). La dificultad se debe a que el glifo fue modificado, posiblemente en más de una ocasión. En la imagen VIS se observan capas de pintura blanca y blanquecina, así como múltiples revisiones en los contornos negros (Figura 8a). En IR se hacen evidentes las revisiones alusivas al conteo de días representado por círculos: aparecen dos círculos adicionales en

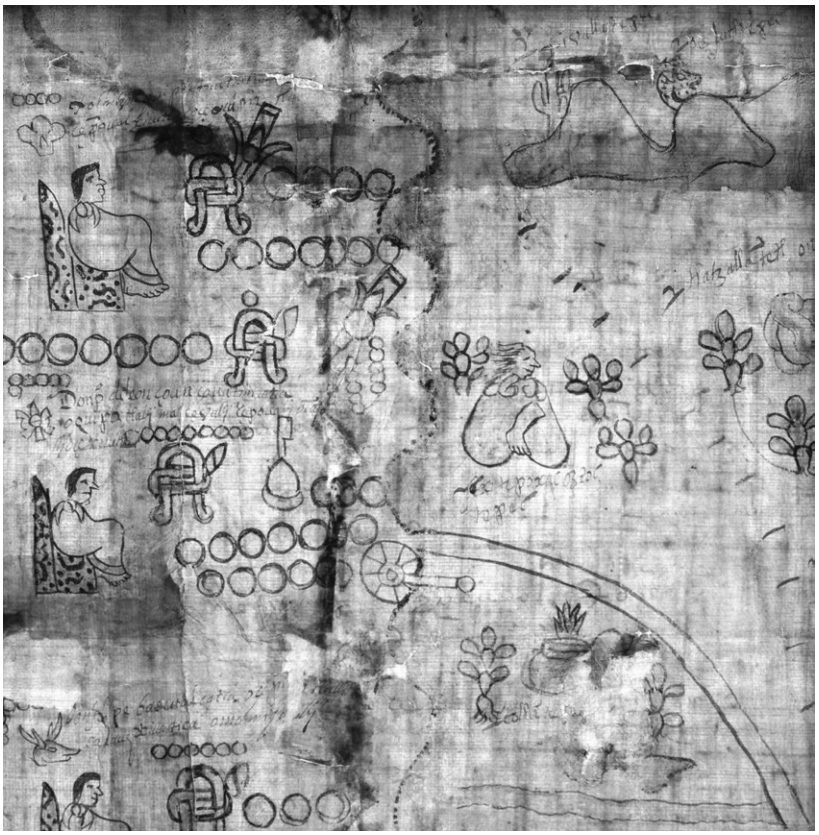


Figure 7 | Detail from the *Codex Quetzalecatzin* in IRT showing where the individual sheets of paper overlap, appearing as dark vertical and horizontal bands, to form a larger sheet.

Figura 7 | Detalle del *Códice Quetzalecatzin* en el IRT que muestra dónde se superponen las hojas individuales de papel, apareciendo como bandas oscuras verticales y horizontales, para formar una hoja más grande.

the animal glyph. IR also shows that the shape and outline of the animal glyph is slightly different than what is seen in VIS (Figure 8b). IRT further reveals a change in the way the face of the animal glyph was drawn, as well as the layout of the circles (Figure 8c). Finally, false color infrared (IRFC) shows the different media used to draw the name glyph. Most of the outlines appear black in IRFC, which is characteristic of carbon black ink, while some of the revisions appear red, which is characteristic of iron-gall ink (Havermans et al., 2003, pp. 89-90) (Figure 8d).

la parte inferior de la banda vertical y otros dos a la derecha del glifo animal. Además, la IR revela variaciones en la forma y el contorno del glifo animal en comparación con la VIS (Figura 8b). Las imágenes IRT muestran cambios en la forma de la cara del glifo animal y en la disposición de los círculos (Figura 8c). Finalmente, las imágenes en infrarrojo falso color (IRFC) permiten distinguir los distintos medios utilizados para dibujar el glifo del nombre: la mayoría de los contornos aparecen negros —propios de la tinta negra de carbón—, mientras que algunas revisiones se muestran rojas, lo cual es característico de la tinta ferrogálica (Havermans *et al.*, 2003, pp. 89-90) (Figura 8d).

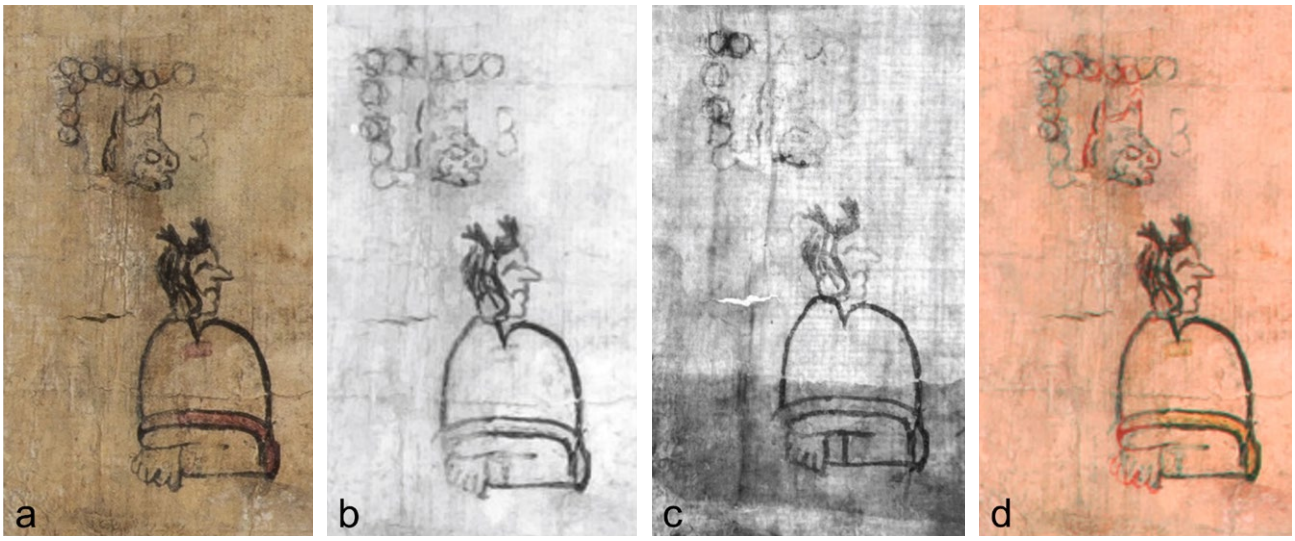


Figure 8 | Detail from the *Codex Quetzalecatzin* showing the revisions to an Indigenous noble woman and her name glyph in IR, IRT, and IRFC (b, c, and d, respectively), as compared to VIS (a).

Figura 8 | Detalle del *Códice Quetzalecatzin* que muestra las revisiones de una mujer noble indígena y el glifo de su nombre en IR, IRT e IRFC (b, c y d, respectivamente), en comparación con VIS (a).

A second area involves the terrain and the name glyph of a commoner. In VIS, the imagery shows a nopal cactus over a murky area of white paint and darkened paper, and a man to the right whose name glyph is also murky and unreadable (Figure 9a). IR reveals the outline of a hill glyph below the cactus that is obscured by a thin paper patch and white paint. In IR, the seated man's name glyph is more discernible and revisions to the cactus are apparent (Figure 9b). IRT clearly reveals the man's name glyph and the outline of the hill glyph, and a large loss to the paper of the manuscript in this area (Figure 9c). Revisions to the pool of water below the hill glyph are also apparent in these multiband images.

A third area shows two rulers, 4-Flower at the top and 6-Movement at the bottom, and the years of their reign to their right (Figure 10a). According to van Doesburg, 4-Flower ruled for 13 years during 1507 and 1520. In addition, van Doesburg says: "The drawing

Una segunda zona se relaciona con el terreno y el glifo del nombre de un plebeyo. En VIS, se observa un cactus nopal sobre una superficie turbia de pintura blanca y papel oscurecido; a la derecha se representa un hombre cuyo glifo nominal resulta ilegible (Figura 9a). En IR se distingue un glifo de colina debajo del cactus, parcialmente cubierto por una fina mancha de papel y pintura blanca. El glifo del nombre del hombre sentado se vuelve más visible, al igual que las revisiones en el cactus (Figura 9b). La IRT revela con claridad el glifo del nombre del hombre y el contorno del glifo de la colina, además de una gran pérdida en el papel del manuscrito en esta zona (Figura 9c). Las revisiones en el glifo de agua de bajo de la colina también son evidentes en estas imágenes multibanda.

Una tercera área muestra a dos gobernantes, 4-Flor en la parte superior, y 6-Movimiento, en la inferior, junto con los años de sus respectivos reinados a su derecha (Figura 10a). Según van Doesburg, 4-Flor reinó durante 13 años entre 1507 y 1520, y afirma que : "El dibujo del

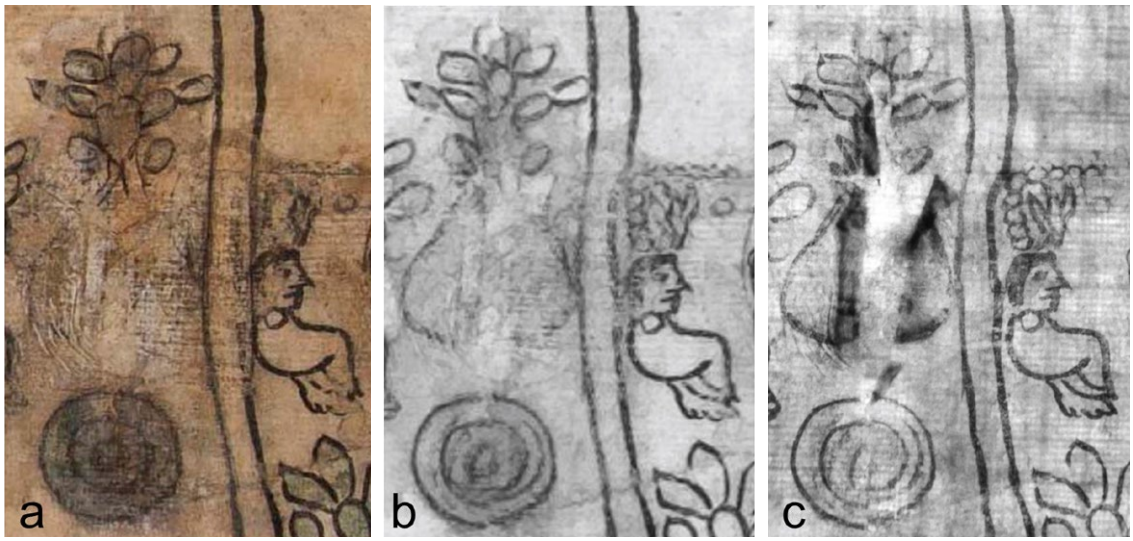


Figure 9 | Detail from the *Codex Quetzalecatzin* showing the revisions to the terrain and a commoner's name glyph in IR and IRT (b and c, respectively), as compared to VIS (a).

Figura 9 | Detalle del *Códice Quetzalecatzin* que muestra las revisiones del terreno y del glifo del nombre de un plebeyo en IR e IRT (b y c, respectivamente), en comparación con VIS (a).

of the interval was repainted and only ten circles can be identified. An eleventh circle was added between the first ones" (2018, p. 133, translation from Spanish to English by the author). As previously mentioned, a circle represents a year. In VIS, nine turquoise circles are easily discernible (Figure 10a, top). The IR, IRT, and IRFC images clearly show eleven circles (Figures 10b, 10c, and 10d, top), which is in line with van Doesburg's claim. Van Doesburg also states that 6-Movement governed for 36 years between 1528 to 1564 (2018, p. 134). In VIS, there are 14 turquoise circles in three rows to the right of a turquoise and red egg-shaped glyph topped with a flag (Figure 10a, bottom). The egg-shaped glyph stands for one year like the circles, whereas the flag glyph symbolizes the count of 20 (Wood, n.d.). IRT shows the damage and paper loss to the codex in this area, as well as potential original drawing media (Figure 10c, bottom). Revisions to the year glyphs are apparent in IR, IRT, and IRFC (Figures 10b, 10c, and 10d, bottom). From these images, one can

intervalo fue repintado y sólo pueden identificarse diez círculos. Se añadió un undécimo círculo entre los primeros" (2018, p. 133). Como se ha mencionado, cada círculo representa un año. En el VIS se identifican con claridad nueve círculos de color turquesa (Figura 10a, arriba). Las imágenes IR, IRT e IRFC muestran un total de once círculos (Figuras 10b, 10c y 10d, arriba), en concordancia con la afirmación de van Doesburg. Por su parte, van Doesburg señala que el 6-Movimiento gobernó durante 36 años entre, 1528 y 1564 (2018, p. 134). En el VIS, se observan 14 círculos turquesa distribuidos en tres filas a la derecha de un glifo ovalado turquesa y rojo coronado por una bandera (Figura 10a, abajo). El glifo oval representa un año como los círculos, mientras que el glifo de la bandera simboliza una cuenta de veinte (Wood, s.f.). La IRT revela los daños y pérdidas en el papel, así como los posibles soportes originales del dibujo (Figura 10c, abajo). Las revisiones en los glifos de los años se hacen evidentes en IR, IRT e IRFC (Figuras 10b, 10c y 10d, abajo). En estas imágenes se distinguen 16 círculos:

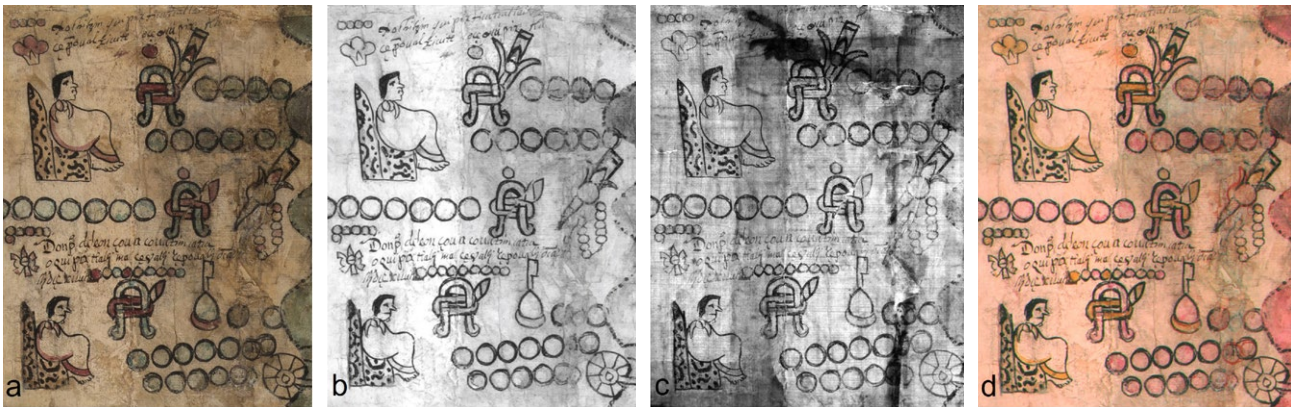


Figure 10 | Detail from the *Codex Quetzalecatzin* showing the revisions to the years of reign of the rulers 4-Flower (top) and 6-Movement (bottom) depicted as circles and a flag-topped egg-shaped glyph in IR, IRT, and IRFC (b, c, and d, respectively), as compared to VIS (a).

Figura 10 | Detalle del *Códice Quetzalecatzin* que muestra las revisiones de los años de reinado de los gobernantes 4-Flor (arriba) y 6-Movimiento (abajo) representados como círculos y un glifo en forma de huevo coronado por una bandera en IR, IRT e IRFC (b, c y d, respectivamente), en comparación con VIS (a).

make out 16 circles comprised of 14 full circles and two partial circles at the far right of the third row. Thus, the total comes to 36 by adding the 16 circles to the 20 of the flag-topped egg-shaped glyph and is in agreement with van Doesburg.

Finally, IRT is useful in revealing the condition of the codex in that skinned and thin areas of the paper as well as losses are discernible. These areas are obscured by the fabric backing on the verso and the areas of restoration and revision on the recto. Close examination of the IRT images also revealed the presence of smaller printed fragments between the fabric and the verso of the manuscript's paper that likely functioned as repairs like the large, printed fragment.

Implications of the Multiband Imaging Findings

Facture

With regard to the initial facture of the codex, a larger sheet of paper was needed than what was on hand at the time. Review of the transmitted infrared

14 completos y 2 parciales en el extremo derecho de la tercera fila. Sumando los 16 círculos a los 20 del glifo ovalado con bandera, se confirma un total de 36 años, los que coincide con la afirmación de van Doesburg.

Finalmente, la IRT resulta útil para observar el estado físico del códice, ya que se revela zonas desgastadas y finas del papel, y pérdidas. Estas áreas están ocultas por el soporte de tela del reverso y por las intervenciones de restauración y revisión del anverso. Un análisis minucioso de las imágenes IRT reveló también la presencia de fragmentos impresos más pequeños insertos entre la tela y el reverso del manuscrito, que probablemente funcionaron como refuerzos, al igual que el fragmento impreso mayor.

Implicaciones de los resultados de las imágenes multibanda

Confección

Respecto a la confección inicial del códice, fue necesario ensamblar una hoja de papel de mayor tamaño de la que se tenía a mano en ese momento. El análisis de las

images revealed that five full sheets and one partial sheet make up the entirety of the manuscript. It appears that the full sheets are similar in size to each other, and as previously mentioned, a partial watermark is discernible in the bottom right area of the manuscript. It may be possible to identify the paper used to construct the codex by determining the approximate sheet sizes and the watermark from the IRT images and comparing that information with European papers known to be in use in 16th-century Mexico.

The faint writing throughout the manuscript revealed in ultraviolet-induced visible luminescence may indicate that the *Codex Quetzalecatzin* was made from recycled manuscript leaves. Using paper from discarded documents may have been necessary since paper was expensive and difficult to obtain in Mexico in the 16th century. In UVL, the writing has the appearance of iron-gall ink due to the diffuse discoloration surrounding the inscribed text and its ability to absorb ultraviolet radiation (Albro et al., 2008, pp. 134-135). While conjectural, the faint writing is likely iron-gall ink since it was the predominant writing ink used by the Spanish in Mexico during the 16th century.[2] Even as UVL makes the alphabetic script apparent, the language of the writing cannot be ascertained. It is also difficult to determine if the writing is on the recto or the verso. Consequently, the relationship between the faint writing and the pictorial codex cannot be determined. Therefore, additional imaging techniques are needed to enhance these areas of writing apparent in UVL.

imágenes de infrarrojo transmitido (IRT) reveló que el manuscrito está compuesto por cinco hojas completas y una parcial. Estas hojas parecen ser pliegos completos de tamaño similar y, como se indicó anteriormente, en la parte inferior derecha del manuscrito, se observa una marca de agua parcial. Es posible que, mediante la determinación del tamaño aproximado de las hojas y el análisis de dicha marca de agua en las imágenes de la IRT, se pueda identificar el tipo de papel utilizado, comparándolo con papeles europeos que se sabe fueron empleados en el México del siglo XVI.

La tenue escritura revelada por la luminiscencia visible inducida por radiación ultravioleta a lo largo del manuscrito sugiere que el *Códice Quetzalecatzin* pudo haberse confeccionado sobre hojas de manuscritos reciclados. El uso de papel proveniente de documentos descartados puedo haber sido una necesidad, dado el alto costo y la escasa disponibilidad de papel en México del siglo XVI. En las imágenes UVL, la escritura presenta características típicas de tintas ferrogálicas, como la decoloración difusa que la rodea y su capacidad de absorber la radiación ultravioleta (Albro *et al.*, 2008, pp. 134-135). Aunque esta interpretación es preliminar, es probable que se trate de tinta ferrogálica, la cual era comúnmente utilizada por los españoles en México durante ese periodo.[2] Si bien la escritura alfabética es evidente en UVL, no se ha podido determinar con certeza el idioma en el que está escrita. Tampoco se puede discernir si la escritura se encuentra en el anverso o en el reverso de manuscrito. En consecuencia, no es posible establecer con claridad la relación entre esta escritura tenue y el contenido pictórico del códice. Por ello, se considera necesario aplicar técnicas de imagen adicionales que permitan mejorar la visibilidad de estas zonas detectadas mediante UVL.

[2] The author bases the hypothesis that the faint writing is likely iron-gall ink based on her experience working with iron-gall ink-inscribed documents (Dekle & Haude, 2008; Albro et al., 2008), and Mesoamerican manuscripts (Haude, 2023; Radlo-Dzur et al., 2021; and Villafana et al., 2021; Haude, 1998).

[2] La hipótesis de la autora, según la cual la escritura tenue habría sido realizada con tinta ferrogálica, se sustenta en su dilatada experiencia con documentos escritos con este medio (Dekle y Haude, 2008; Albro et al., 2008) y con manuscritos mesoamericanos (Haude, 1998; Radlo-Dzur et al., 2021; Villafana et al., 2021; Haude, 1998).

Restoration and Revision

Imaging, especially IRT, shows the extent of the damage to the manuscript that led to its repair and lining with fabric. It is likely that the white and off-white paints were applied during this restoration campaign to cover areas of damage and stains on the paper, and to disguise the paper repairs.

Transmitted infrared allows for the text to be readable on both sides of the printed newspaper or broadside fragment. On one side, a date of May 13 or 15, 1891 is legible. By flipping the IRT image of the fragment, the names Veracruz and Progreso are discernible. Veracruz is a port city in the Mexican state of Veracruz, and Progreso is a port city in the Mexican state of Yucatán. The date and locations printed on the fragment suggest that the *Codex Quetzalecatzin* was in Mexico in the late 19th century.

Preliminary X-ray fluorescence spectrometry (XRF) analysis performed on the codex in 2022 identified strong peaks for zinc and lead in several spots on the paper and in areas where paint is readily apparent on the surface of the paper as well as in areas where it is not. Even if paint is not discernible in areas where zinc and lead were identified, it is possibly present as a thin wash. This could be due to the variability of the paint when it was applied to the paper, either from differing dilutions with water when mixing, the technique of the painter, or both. Further XRF analysis is warranted to determine the extent of zinc and lead on the codex.

The off-white paint strongly luminesces bright yellow in UVL and appears dark in UVR, which is characteristic of zinc white (Cosentino, 2014, p. 7). This combined with the XRF results suggest that the off-white paint is a

Restauraciones y adiciones

Las imágenes, especialmente las obtenidas mediante IRT, revelan la magnitud de los daños que sufrió el manuscrito, que dieron lugar a su restauración y refuerzo con tela. Es probable que las pinturas blanca y blanquecina se aplicaran durante esta intervención con el propósito de cubrir las zonas dañadas y manchas en el papel, así como de disimular las reparaciones visibles.

La imagen de IRT permite leer el texto impreso presente en ambas caras del fragmento de periódico o folleto utilizado en la restauración. En una de las caras, puede leerse la fecha del 13 o 15 de mayo de 1891. Al invertir digitalmente la imagen del fragmento, se distinguen los nombres "Veracruz" y "Progreso". Veracruz es una ciudad portuaria del estado mexicano de mismo nombre, y Progreso es una ciudad portuaria del estado mexicano de Yucatán. Tanto la fecha como las localidades impresas en el fragmento sugieren que el *Códice Quetzalecatzin* permaneció en México hacia finales del siglo XIX.

Un análisis preliminar mediante espectrometría de fluorescencia de rayos X (XRF) realizado en el códice en 2022, identificó altas concentraciones de zinc y plomo en distintas zonas del papel, tanto en áreas donde la pintura es claramente visible como donde no lo es. Inclusive en zonas donde la pintura es tenue o imperceptible se detectó también la presencia de zinc y plomo. Esto indica que estos metales podrían estar presente en una capa delgada aplicada en la superficie. Esto podría deberse a la variabilidad de la pintura cuando se aplicó al papel, ya sea por diferentes diluciones con agua al mezclar, por la técnica del pintor, o por ambas cosas. Por lo tanto, se justifica la realización de un nuevo análisis por XRF para determinar la distribución exacta del zinc y el plomo en el códice.

La pintura blanquecina presenta una intensa luminiscencia amarilla brillante en UVL y se presenta oscura en UVR, lo cual es característico del blanco de zinc (Cosentino, 2014, p. 7). Este comportamiento, en

zinc white watercolor. Zinc white came into use as a pigment for paint in 1834 when Winsor and Newton introduced it as a watercolor (Kühn, 1986, p. 171; Zinc White, n.d.). In UVL, the white paint luminesces white which is characteristic of lead white (Lead White, n.d.) and appears bright white in UVR which is also characteristic (Cosentino, 2014, p. 7). These findings and the XRF identification of lead on the codex point to the use of lead white, especially since lead white was common in various media including watercolor (Gettens & Stout, 1966, p. 176; Gettens, 1993, p. 70). UVL shows more areas that luminesce yellow than luminesce white, suggesting a heavier use of zinc white than lead white. Since the XRF analysis showed peaks for zinc and lead together, it is likely that zinc white and lead white paints were mixed or layered on top of one another.

The revisions to the imagery and glyphs revealed in the various imaging bands show the extent that this manuscript was reworked. The large rectangular patch in the top central area suggests that a revision to the codex's story with regard to rulership timeline and genealogy was necessary, and thus the landscape that was painted during its initial facture was covered over. While speculative, this may be an early revision. The paper of the patch is similar to the paper of the manuscript, both being European laid paper. In addition, the imagery and alphabetic writing on the patch line up with those on the surrounding paper. While these could have been added at any point, it seems unlikely. The handwriting of the gloss above and on top of the patch is very similar to the handwriting of many of the glosses on the manuscript. In addition, the drawing style of the imagery and glyphs is identical to that of similar pictorial elements on the codex. According to Boone, "Sometimes when indigenous elites needed documents for specific purposes, they refashioned old ones rather than

conjunto con los resultados del análisis XRF, sugiere que la pintura blanquecina es una acuarela de blanco de zinc. Este pigmento comenzó a emplearse en la pintura a partir de 1834, año en que fue introducido por Winsor y Newton como pigmento para acuarela (Kühn, 1986, p. 171; Zinc White, s.f.). Por otro lado, la pintura blanca presenta una luminiscencia blanca en UVL y un blanco brillante en UVR. lo cual es característico del blanco de plomo (Lead White, s.f.; Cosentino, 2014, p. 7). Estos indicios, junto con la identificación del plomo detectada por XRF, apuntan al uso de blanco de plomo, un pigmento común en distintos medios, incluida la acuarela (Gettens y Stout, 1966, p. 176; Gettens, 1993, p. 70). La predominancia de zonas con luminiscencia amarilla en UVL sugiere un uso más extendido del blanco de zinc. Dado que ambos pigmentos fueron detectados por XRF, es probable que las pinturas de blanco de zinc y blanco de plomo se hayan mezclado o aplicado en capas sucesivas.

Las revisiones de la imaginería y los glifos reveladas por las distintas bandas espectrales muestran hasta qué punto fue reelaborado este manuscrito. La gran mancha rectangular ubicada en parte superior central sugiere que fue necesario revisar elementos clave del contenido, como la cronología de los gobernantes y su genealogía. Para ello, se cubrió el paisaje original pintado durante la confección inicial del códice. Aunque se trata de una hipótesis, es posible que esta modificación pudiera tratarse de una revisión temprana. El papel utilizado en el parche es similar al manuscrito original: ambos son papel verjurado europeo. Además, las imágenes y la escritura alfabética sobre el parche coinciden estilísticamente con las del resto del manuscrito. Aunque esta intervención pudo haberse hecho en cualquier momento, su aspecto sugiere una ejecución contemporánea al códice. La caligrafía de la glosa sobre el parche es muy similar a la de muchas otras presentes en el documento, y el estilo de las imágenes y los glifos coincide con elementos pictóricos circundantes. Como señala Boone, "a veces, cuando las élites indígenas necesitaban documentos para fines específicos, remodelaban los antiguos en lugar de pintar

painting new ones" (2000, p. 248). The large rectangular patch with its updated pictorial information may be an example of this. Paleographic, art historical, and scientific analysis is warranted to determine if the patch is contemporaneous with the codex.

Other revisions were likely made much later given the presence of 19th-century materials, such as the thin wove paper repairs adhered on the recto and the zinc white watercolor. As previously mentioned, revisions were made on top of the thin paper repairs and directly to areas of paint applied to the paper. It is difficult to ascertain if the restoration and these later revisions to the glyphs and imagery were done at the same time by the same person or persons, or during several campaigns. It is also unclear if the revisions were made by a restorer with no connection to the *Codex Quetzalecatzin*, or by a member of the community from which it originated.

Conclusions

Multiband imaging provided valuable information about the *Codex Quetzalecatzin* that is not readily visible or attainable because of its past restoration. The discoveries revealed in the multiband images offered insight into the evolution of the creation of the codex with regard to its initial facture, revisions of its imagery and glyphs, and its restoration. As previously stated, these findings are intended as an introduction to a larger project to better understand the *Codex Quetzalecatzin* and place it in context with other 16th-century Mesoamerican codices.

The imaging findings also show that more research is needed to understand the material aspects and informational content of the

otros nuevos" (2000, p. 248). Este gran parche rectangular con imaginería actualizada podría ser un ejemplo de esta práctica. Por ello, se justifica la realización de un análisis paleográfico, histórico-artístico y científico para determinar si dicho parche es contemporáneo del códice.

Otras revisiones parecen haber sido realizadas mucho tiempo después, dado el uso de materiales del siglo XIX, como las finas reparaciones con papel industrial y la acuarela blanca de zinc. Como se ha señalado, estas revisiones se efectuaron sobre reparaciones de papel y directamente sobre zonas previamente pintadas. No es posible determinar con certeza si la restauración y estas revisiones posteriores (de los glifos y la imaginería) fueron realizadas simultáneamente por la misma persona o en diferentes campañas. Tampoco se ha podido establecer si quienes llevaron a cabo las revisiones estaban relacionados con el *Códice Quetzalecatzin*, miembro de la comunidad de la que procedía o si eran restauradores sin vínculo directo con su contexto original.

Conclusiones

Las imágenes multibanda proporcionaron información valiosa sobre el *Códice Quetzalecatzin* que no es fácilmente visible ni accesible debido a las intervenciones de restauración previas. Los hallazgos obtenidos mediante este ofrecieron una visión de la evolución de su creación en términos de fabricación inicial, revisiones iconográficas y textuales, así como procesos de restauración. Como se ha indicado a lo largo de este estudio, estos resultados constituyen una introducción a un proyecto de investigación más amplio que busca una comprensión más profunda del *Códice Quetzalecatzin* y su contextualización dentro del corpus de códices mesoamericanos del siglo XVI.

Los resultados también evidencian la necesidad de investigaciones adicionales para comprender los aspectos materiales y el contenido del códice. La siguiente fase del proyecto requerirá, necesariamente, en la colaboración

Codex Quetzalecatzin. The next phase of the project will necessarily involve collaboration with Mesoamerican scholars. As this case study has shown, multiband imaging revealed glyphs obscured by repair papers and paints. It is hoped that sharing the imaging results with experts who study Mesoamerican codices and read glyphs will help to confirm the current interpretation of the *Codex Quetzalecatzin* or lead to a reinterpretation of some of its glyphs and pictorial elements.

Regarding the materiality of the codex, future research may include: scientific point analysis to identify and characterize the pigments and to determine the extent of the zinc and lead on the recto; further imaging to enhance the faint writing apparent in UVL; investigation of the types of European papers used in 16th- century Mexico in an attempt to identify its paper; and research into the use of discarded or recycled manuscripts for pictorial Mesoamerican codices. Research into late 19th-century Mexican newspapers and printed broadsides is warranted to aid in the identification of the printed fragment adhered to the codex so that more information can be added to its provenance. The identification of the fragment may give an indication of the location of the codex in the late 19th century.

Finally, this case study demonstrates how conservators can directly contribute to a deeper understanding of an artifact's materiality, provenance, and condition with tools available to them like multiband imaging.

Acknowledgements

The author thanks Elmer Eusman and Yasmeen Khan for supporting this project; Gwenanne Edwards, Grace Walters, and Mary Elizabeth Watson for helping with imaging and

con especialistas en estudios mesoamericanos. Como ha demostrado este estudio de caso, las imágenes multibanda permitieron identificar glifos parcialmente ocultos por capas de pintura y papeles de restauración. Compartir estos resultados con expertos en códices mesoamericanos y en la interpretación de glifos podría confirmar las lecturas actuales o proporcionar nuevas interpretaciones de algunos elementos pictográficos y glifos del *Códice Quetzalecatzin*.

En relación con la materialidad del códice, las investigaciones futuras podrían incluir: análisis científicos puntuales para identificar y caracterizar los pigmentos, así como para mapear la presencia del zinc y el plomo en el anverso; más imágenes destinadas a mejorar la visibilidad de la escritura tenue revelada en UVL; estudios comparativos de papeles europeos utilizados en el México del siglo XVI, con el fin de identificar el papel del códice; e investigaciones sobre el uso de manuscritos desechados o reciclados en la elaboración de códices pictográficos mesoamericanos. También se justifica la investigación de los periódicos e impresos mexicanos de finales del siglo XIX, lo cual podría facilitar la identificación del fragmento impreso adherido al manuscrito y aportar información adicional sobre su procedencia. Tal identificación podría proporcionar indicios relevantes sobre la ubicación del códice en esta época.

Finalmente, este estudio demuestra cómo los conservadores pueden contribuir significativamente al conocimiento de la materialidad, la procedencia y del estado de conservación de un objeto mediante herramientas disponibles en su práctica profesional, como lo son las técnicas de imagen multibanda.

Agradecimientos

La autora expresa su agradecimiento a Elmer Eusman y Yasmeen Khan por su apoyo al proyecto; a Gwenanne Edwards, Grace Walters y Mary Elizabeth Watson por su asistencia en la obtención y procesamiento de imágenes;

post-processing; Barbara Mundy and Stephanie Wood for sharing their expertise on Mesoamerican codices; Tana Villafana for conducting and interpreting the XRF analysis; and the Geography and Map Division of the Library of Congress.

a Barbara Mundy y Stephanie Wood por compartir sus conocimientos sobre los códices mesoamericanos; a Tana Villafana por realizar e interpretar el análisis XRF; y a la División de Geografía y Mapas de la Biblioteca del Congreso.

References | Bibliografía

Albro, S., Biggs, J.L., Dekle, C., Haude, M.E., Karnes, C., & Khan, Y. (2008). Developing Guidelines for Iron-Gall Ink Treatment at the Library of Congress. *The Book and Paper Group Annual*, *27*, 129-165. The American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works.

Albro, S.R., & Albro, T.C. (1990). The Examination and Conservation Treatment of the Library of Congress Harkness 1531 Huejotzingo Codex. *Journal for the American Institute for Conservation*, *29*(2), 97-115. https://doi.org/10.2307/3179577

Berdan, F.F. (2014). *Aztec Archaeology and Ethnohistory*. Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9781139017046

Boone, E.H. (2000). *Stories in Red and Black: Pictorial Histories of the Aztecs and Mixtecs*. University of Texas Press.

Cosentino, A. (2014). Identification of pigments by multispectral imaging; a flowchart method. *Heritage Science 2*(8). https://doi.org/10.1186/2050-7445-2-8

Dekle, C., & Haude, M.E. (2008). Iron-Gall Ink Treatment at the Library of Congress: Old Manuscripts New Tools. *The Book and Paper Group Annual*, *27*, 15-26. The American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works.

Digital Imaging Workflow for Treatment Documentation. (n.d.). Library of Congress. https://www.loc.gov/preservation/resources/ImageDoc/index.html

Domenici, D., Buti, D., Miliani, C., Brunetti, G.V., & Sgamellotti, A. (2014). The Colors of Indigenous Memory: Non-invasive Analyses of Pre-Hispanic Mesoamerican Codices. In A. Sgamellotti, B. Brunetti, & C. Miliani (Eds.), *Science and Art: The Painted Surface* (pp. 94-119). Royal Society of Chemistry. https://doi.org/10.1039/9781839161957-00094

Domenici, D. (2019). Codex Mendoza and the Material Agency of Indigenous Artists in Early Colonial New Spain. *Latin American and Latinx Visual Culture*, *1*(2), 107-112. https://doi.org/10.1525/lavc.2019.120007b

Dupey García, É. (2017). The Materiality of Color in Pre-Columbian Codices: Insights from Cultural History. *Ancient America*, *28*, 21-40. https://doi.org/10.1017/S0956536116000493

Dyer, J., Verri, G., & Cupitt, J. (2013). *Multispectral Imaging in Reflectance and Photo-induced Luminescence modes: A User Manual*. The British Museum.

Gettens, R.J., & Stout, G.L. (1966). *Painting Materials: A Short Encyclopaedia*. Dover Publications.

Gettens, R.J. (1993). Lead White. In R. Ashok (Ed.), *Artists' Pigments: A Handbook of Their History and Characteristics*, *Volume 2* (pp. 67-81). National Gallery of Art.

Glass, J.B., & Robertson, D. (1975). A Census of Native Middle American Pictorial Manuscripts. In R. Wauchope, H. Cline, C. Gibson, & H. Nicholson (Eds.), *Handbook of Middle American Indians*, *Volume 14: Guide to Ethnohistorical Sources*, *Part 3* (pp. 81-252). University of Texas Press. https://doi.org/10.7560/701540-003

González Tirado, C., & Cruz Chagoyán, G. (2013). El Papel Maguey como Soporte Documental: Estudio de un Códice Huexotzinca del Período Colonial. *Conserva*, *18*, 5-19.

Haude, M.E., & Villafana, T.E. (2023). A Technical Study of the 1531 *Huexotzinco Codex* using Macroscopic Examination and Multimodal Imaging. *Estudios de Cultura Náhuatl*, *66*, 109-128. https://doi.org/10.22201/iih.30618002e.2023.66.78131

Haude, M.E. (1998). Identification of Colorants on Maps from the Early Colonial Period of New Spain (Mexico). *Journal of the American Institute for Conservation*, *37*(3), 240-270. https://doi.org/10.2307/3179811

Havermans, J., Aziz, H.A., & Scholten, H. (2003). Non Destructive Detection of Iron-Gall Inks by Means of Multispectral Imaging, Part 2: Application on Original Objects Affected with Iron-Gall Ink Corrosion. *Restaurator*, vol. *24* (2), 88-94. https://doi.org/10.1515/REST.2003.88

Hunter, D. (1978). *Papermaking: The History and Technique of an Ancient Craft*. Dover Publications.

Kühn, H. (1986). Zinc White. In Feller, R.L. (Ed.), *Artists' Pigments: A Handbook of Their History and Characteristics, Volume 1* (pp. 169-186). National Gallery of Art.

Lead White. (n.d.). *Web Exhibits: Pigments Through the Ages*. https://www.webexhibits.org/pigments/indiv/technical/leadwhite.html

López Binnqüist, C., Quintanar-Isaís, A., & Vander Meeren, M. (2012). Mexican Bark Paper: Evidence of History of Tree Species and Their Fiber Characteristics. *Economic Botany*, *66*(2), 138-148. https://doi.org/10.1007/s12231-012-9196-1

Magaloni Kerpel, D. (2011). Painters in the New World. In G. Wolf, & J. Connors (Eds.), *Colors Between Two World: The Florentine Codex of Bernardino de Sahagún* (pp. 46-76). Villa I Tatti and Max-Planck Institute.

Magaloni Kerpel, D. (2012). The Traces of the Creative Process: Pictorial Materials and Techniques in the Beinecke Map. In M.E. Miller & B.E. Mundy (Eds.), *Painting a Map of Sixteenth-Century Mexico City: Land, Writing, and Native Rule* (pp. 75-90). Yale University Press.

Newman, R., & Derrick, M. (2012). Analytical Report of the Pigments and Binding Materials Used on the Beinecke Map. In M.E. Miller & B.E. Mundy (Eds.), *Painting a Map of Sixteenth-Century Mexico City: Land, Writing, and Native Rule* (pp. 91-100). Yale University Press.

Radlo-Dzur, A.S., Cooley, M., Kaplan, E., Bright, L., Webb, E.K., Haude, M.E., Villafana, T., & Satorius, A.K. (2021). The Tira of Don Martin: A Living Nahua Chronical. *Latin American and Latinx Visual Culture*, *3*(3), 7–37. https://doi.org/10.1525/lavc.2021.3.3.7

Seda-Galarza, B. (2017, November 30). New Acquisition: Extremely Rare Mesoamerican Manuscript. *TIMELESS Stories from the Library of Congress Blog*. https://blogs.loc.gov/loc/2017/11/new-acquisition-extremely-rare-mesoamerican-manuscript/

van Doesburg, S. (2018). El mapa de Ecatepec y Huitziltepec. In M.T.C. Arce, L.E.G. García, B.C. Aquilera, & L.R. Gutiérrez (Coords.), *Memoria Originaria* (pp. 121-143). Gobierno del Estado de Puebla/Secretaría de Cultura y Turismo, Puebla.

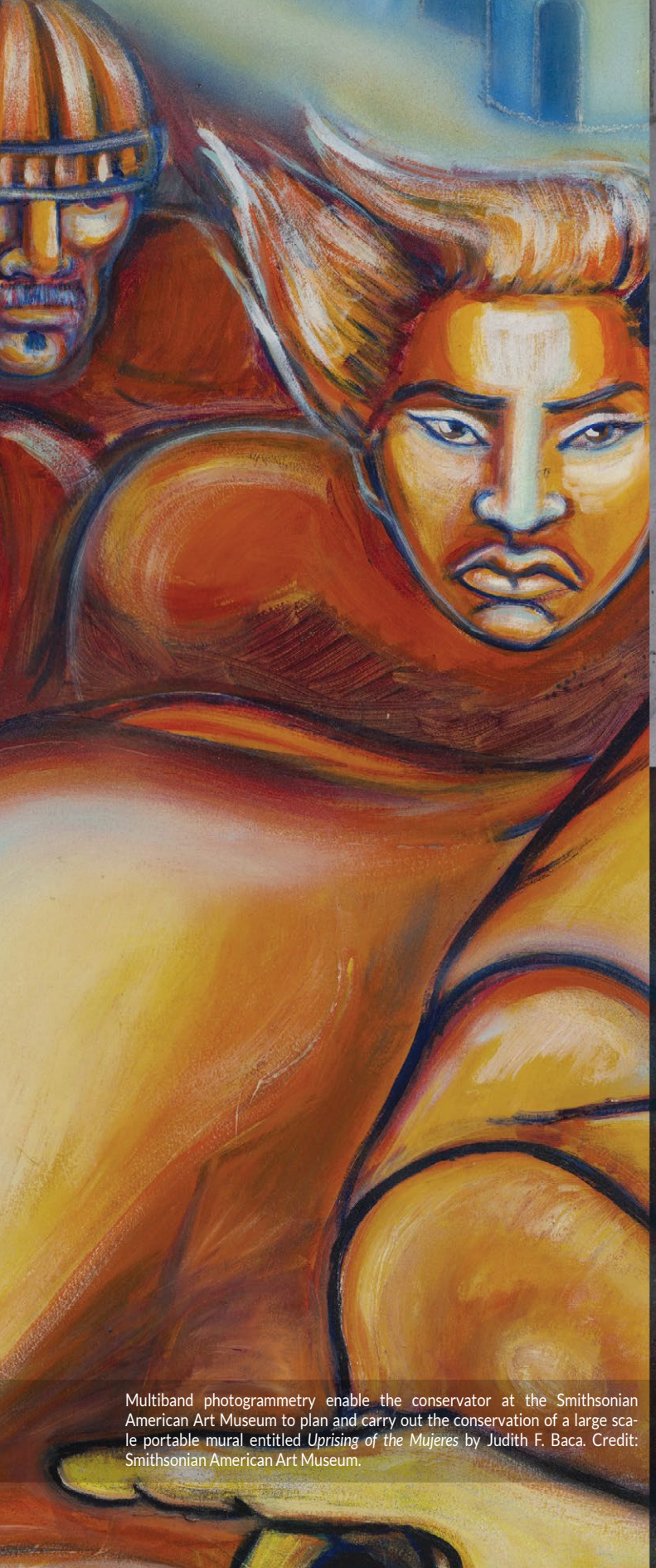
Vander Meeren, M. (1997). El Papel Amate: Origen y Supervivencia. *Arqueología Mexicana* 4(23), 70-73.

Villafana, T.E., Haude, M.E., & Satorius, A. (2021). An analytical study of the *Huexotzinco Codex* using X-ray fluorescence, fiber optic reflectance spectroscopy, and portable Fourier-transform infrared spectroscopy. In *Heritage Science* *9*(54). https://doi.org/10.1186/s40494-021-00524-1

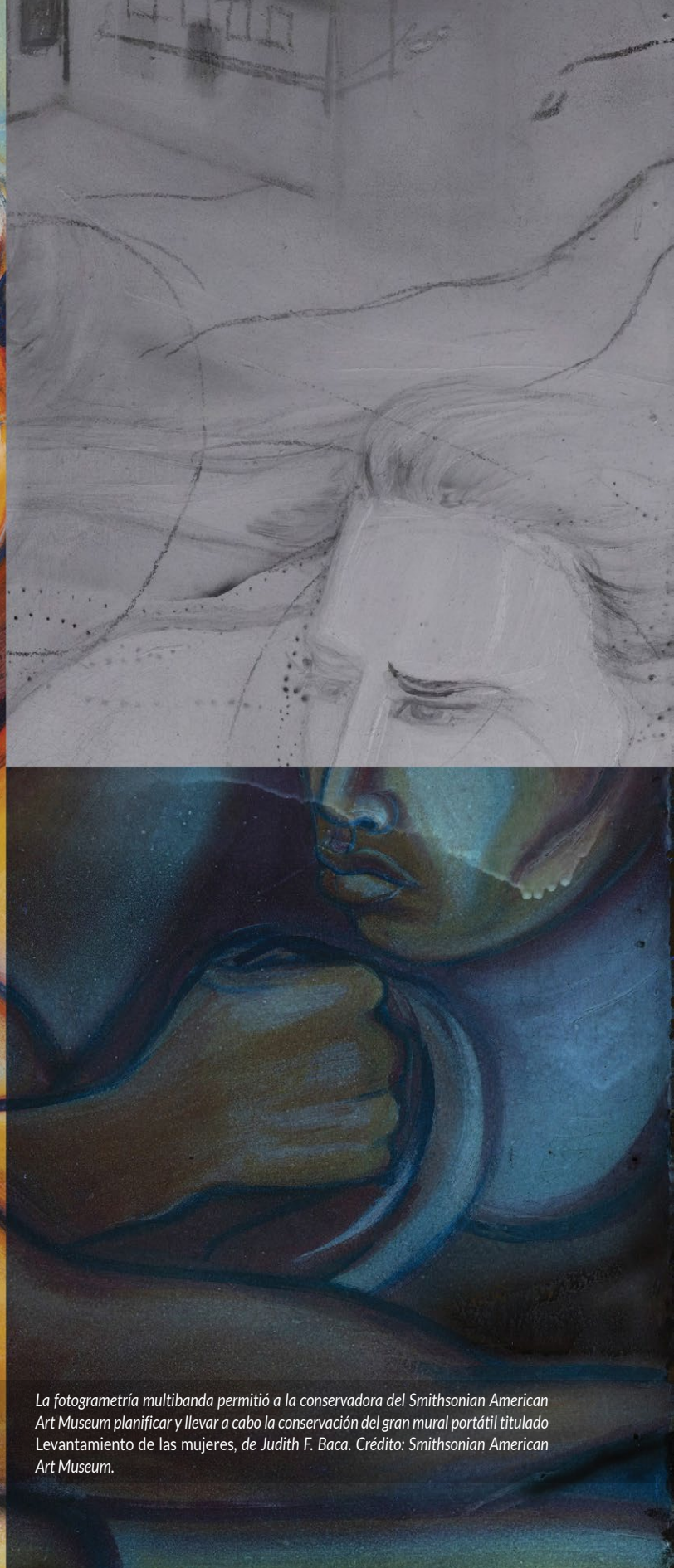
Warda, J., Frey, F., Heller, D., Kushel, D., Vitale, T., & Weaver, G. (2017). *The AIC Guide to Digital Photography and Conservation Documentation*, (3rd Ed.). American Institute for Conservation.

Wood, S. (n.d.) chicompohua xihuitl (CQ) Compound Glyph Notation. *Visual Lexicon of Aztec Hieroglyphs*. https://aztecglyphs.wired-humanities.org/content/chicompohua-xihuitl-cq

Zinc White (n.d.) *Web Exhibits: Pigments Through the Ages*. https://www.webexhibits.org/pigments/indiv/technical/zincwhite.html



Multiband photogrammetry enable the conservator at the Smithsonian American Art Museum to plan and carry out the conservation of a large scale portable mural entitled *Uprising of the Mujeres* by Judith F. Baca. Credit: Smithsonian American Art Museum.



La fotogrametría multibanda permitió a la conservadora del Smithsonian American Art Museum planificar y llevar a cabo la conservación del gran mural portátil titulado Levantamiento de las mujeres, *de Judith F. Baca. Crédito: Smithsonian American Art Museum.*

SUPPORTING MUSEUM CONSERVATION THROUGH MULTIBAND PHOTOGRAMMETRY: A CASE STUDY OF THE *UPRISING OF THE MUJERES* MURAL

APOYO A LA CONSERVACIÓN MUSEÍSTICA MEDIANTE FOTOGRAMETRÍA MULTIBANDA: ESTUDIO DE CASO DEL MURAL LEVANTAMIENTO DE LAS MUJERES

Wendy Rose *, Amber Kerr
Smithsonian American Art Museum, United States

* *wendy.rose512@gmail.com*

Introduction

The documentation of cultural heritage is a standard practice in the conservation field, with its significance established through charters, codes of conduct, and conventions (ICOMOS, 1964; Warda et al., 2017; Rudenstine & Whalen, 2006). Advancements in technology have offered improved methods for documentation and visual analysis; one of these is digital multiband imaging. This form of imaging captures how an object's materials react to different spectral bands radiation, thereby allowing the conservator to see underlying materials (underdrawing, preparatory work) or identify added materials (coatings, retouching, previous cleaning, artistic changes, etc.) (Picollo et al., 2020; Mairinger, 2004; Verri et al., 2015). However, large works, like mural

Introducción

La documentación del patrimonio cultural es una práctica habitual en el campo de la conservación, cuya importancia se ha establecido mediante cartas, códigos de conducta y convenciones (ICOMOS, 1964; Warda *et al.*, 2017; Rudenstine y Whalen, 2006). Los avances tecnológicos han ofrecido métodos mejorados para la documentación y el análisis visual; uno de ellos es la imagen digital multibanda. Esta forma de imagen capta cómo reaccionan los materiales de un objeto a diferentes bandas espectrales de radiación, lo que permite a los conservadores ver los materiales subyacentes (dibujo subyacente, trabajo preparatorio) o identificar materiales añadidos (barnices, retoques, limpieza previa, cambios artísticos, etc.) (Picollo *et al.*, 2020; Mairinger, 2004; Verri *et al.*, 2015). Sin embargo, las obras de gran tamaño,

paintings or large-scale canvas paintings, present a challenge for conservators undertaking multiband photographic documentation, due, not only to the size of the artworks, but also limited accessibility for overall images in tight spaces. Traditional overall single image captures of monumental artworks produce low-resolution images due to the distance of capture required. The quality of the image is then further impacted by the lens and perspectival distortions. Attempts at image stitching using detail images to increase the final image resolution can easily produce distortions at the image interfaces due to imprecise camera alignment. In response to these challenges, photogrammetry has emerged as an effective tool in cultural heritage conservation, providing the necessary tools for conservators to generate high-resolution images of artworks devoid of perspectival or lens distortions for more accurate and highly detailed documentation than ever before.

Modern photogrammetry is a metrological technique that employs algorithms rooted in both computer vision and image metadata to construct digital models of real-world subjects from overlapping images (Matthews, 2008; Micheletti et al., 2015). This technique estimates the position of the camera in relation to the subject for each image captured, relying on factors like the camera's interior orientation and pixel groupings matched through image overlap. The quality of the resulting scalable model depends on the capture procedure and lighting methodology, as photogrammetry is capable of achieving relative geometric accuracy and visual fidelity to the original subject. Within the photogrammetric software, the 3D model is made photorealistic by applying a 'texture' by projecting the original images onto the model's mesh surface (Agisoft LLC, 2021). As indicated in Agisoft Metashape's manual (a popular photogrammetric software) this process calculates pixel placement

como las pinturas murales o los lienzos a gran escala, suponen un reto para los conservadores que realizan documentación fotográfica multibanda, debido no solo al tamaño de las obras de arte, sino también a la limitada accesibilidad de las imágenes enteras en espacios reducidos. Las capturas generales tradicionales de una sola imagen de obras de arte monumentales producen imágenes de baja resolución debido a la distancia de captura necesaria. Además, la calidad de la imagen se ve afectada por el objetivo y las distorsiones de la perspectiva. Los intentos de unir imágenes utilizando imágenes parciales para aumentar la resolución de la imagen final pueden producir fácilmente distorsiones en las interfaces de la imagen debido a la imprecisa alineación de la cámara. En respuesta a estos retos, la fotogrametría ha surgido como una herramienta eficaz en la conservación del patrimonio cultural, proporcionando las herramientas necesarias para que los conservadores generen imágenes de alta resolución de obras de arte desprovistas de distorsiones de perspectiva o de lente para una documentación más precisa que nunca, y altamente detallada.

La fotogrametría moderna es una técnica metrológica que emplea algoritmos arraigados tanto en la visión por ordenador como en los metadatos de imágenes para construir modelos digitales de sujetos del mundo real a partir de imágenes superpuestas (Matthews, 2008; Micheletti *et al.*, 2015). Esta técnica estima la posición de la cámara en relación con el sujeto para cada imagen capturada, basándose en factores como la orientación interior de la cámara y las agrupaciones de píxeles coincidentes a través de la superposición de imágenes. La calidad del modelo escalable resultante depende del procedimiento de captura y de la metodología de iluminación, ya que la fotogrametría es capaz de lograr una precisión geométrica relativa y una fidelidad visual al sujeto original. Dentro del software fotogramétrico, el modelo 3D se hace fotorrealista aplicando una "textura" mediante la proyección de las imágenes originales sobre la superficie de malla del modelo (Agisoft LLC, 2021). Como se indica en el manual de Agisoft Metashape (un popular software

on the model while considering estimated camera locations, effectively mitigating lens and perspectival distortions and preserving the original level of detail. This texture representation can then be exported as an orthomosaic—a mosaic of ortho-rectified images (Agisoft LLC, 2021). This orthomosaic allows large-scale, inaccessible, or difficult-to-move objects to be documented at the resolution of choice, and is currently in use for conservation condition monitoring, data mapping, generating floor plans or elevation drawings, or public engagement (Bassier et al., 2018).

This technique is now widely used in the documentation of buildings, sites, and wall paintings (see Aicardi et al., 2018; CHI, 2021; Lucet, 2013; Percy et al., 2015; Reina Ortiz et al., 2019). Its accessibility, requiring only a camera kit and photogrammetric software, contributes significantly to its utility. Added to these attributes is the increasingly affordable software, with new pay per unit options. However, the application of photogrammetry to document museum objects by conservators, for conservation, is less common.

A review of recent publications reveals that the majority of published photogrammetric work in museums focuses on workflows for scanning entire collections, rather than tailored documentation for conservation purposes (some examples: Apollonio et al., 2021; Farella et al., 2022; Wachowiak & Karas, 2009), although there are a few papers that reflect a collaboration between documentation specialists and conservators in museums (some examples: Abate, 2019; Angheluță & Rădvan, 2019; Webb et al., 2023). From discussions with U.S. based master's degree in conservation graduates, this technique has not been extensively taught in conservation graduate programs until recently and is mainly entrusted to documentation specialists rather than conservators. Consequently, the use of

fotogramétrico), este proceso calcula la ubicación de los píxeles en el modelo teniendo en cuenta las ubicaciones estimadas de las cámaras, mitigando eficazmente las distorsiones de la lente y de la perspectiva y conservando el nivel de detalle original. Esta representación de la textura puede exportarse como un ortomosaico, un mosaico de imágenes ortorectificadas (Agisoft LLC, 2021). Este ortomosaico permite documentar objetos a gran escala, inaccesibles o difíciles de mover a la resolución elegida, y actualmente se utiliza para supervisar el estado de conservación, cartografiar datos, generar planos de planta o alzado, o para la participación pública (Bassier *et al.*, 2018).

En la actualidad, esta técnica se utiliza ampliamente en la documentación de edificios, yacimientos y pinturas murales (véase Aicardi *et al.*, 2018; CHI, 2021; Lucet, 2013; Percy *et al.*, 2015; Reina Ortiz *et al.*, 2019). Su accesibilidad , que solo requiere un kit de cámara y un software fotogramétrico, contribuye significativamente a su utilidad. A estos atributos se suma un software cada vez más asequible, con nuevas opciones de pago por unidad. Sin embargo, la aplicación de la fotogrametría a la documentación de objetos museísticos por parte de conservadores, para su conservación, es todavía poco habitual.

Una revisión de las publicaciones recientes revela que la mayoría de los trabajos fotogramétricos publicados en museos se centran en flujos de trabajo para escanear colecciones enteras, más que en documentación a medida con fines de conservación (algunos ejemplos: Apollonio *et al.*, 2021; Farella *et al.*, 2022; Wachowiak y Karas, 2009), aunque hay unos pocos trabajos que reflejan una colaboración entre especialistas en documentación y conservadores en museos (algunos ejemplos: Abate, 2019; Angheluță y Rădvan, 2019; Webb *et al.*, 2023). De las conversaciones mantenidas con egresados de másteres en conservación radicados en Estados Unidos, se desprende que esta técnica no se ha enseñado mucho en los programas de posgrado en

Figure 1 | Judith F. Baca, *Uprising of the Mujeres*, 1979, acrylic on six wooden panels, overall: 96 × 288 in. (243.8 × 731.5 cm), Smithsonian American Art Museum, Museum purchase through the Latino Initiatives Pool, administered by the Smithsonian Latino Center, and the Luisita L. and Franz H Denghausen Endowment, 2019.26A-F. Credit: Smithsonian American Art Museum.

Figura 1 | Judith F. Baca, *Levantamiento de las mujeres*, 1979, acrílico sobre seis paneles de madera, medida total: 96 × 288 pulg. (243,8 × 731,5 cm), Smithsonian American Art Museum, adquisición del Museo a través del Latino Initiatives Pool, administrado por el Smithsonian Latino Center, y Luisita L. y Franz H Denghausen Endowment, 2019.26A-F. Crédito: Smithsonian American Art Museum.

photogrammetry to document cultural heritage can yield outcomes that are not attuned to the specific needs of conservation (Wong et al., 2021).

In a case study of photogrammetry undertaken by conservators to aid conservation efforts, the Lunder Conservation Center at the Smithsonian American Art Museum embarked on a year-long project in 2021. The goal of this project was to conserve the recently acquired portable mural titled *Uprising of the Mujeres*, created by the renowned Chicana artist Judith F. Baca (Baca, n.d.) (Figure 1). Painted in 1979, the mural comprises six separate panels (A-F) of acrylic-painted Masonite, each measuring 8 feet in height and 4 feet in width. Addressing themes such as misogyny, police militarization, and unfair labor practices faced by Latinx workers in California, the mural is an important piece of Chicanx art from this period of activism in Los Angeles.

conservación hasta hace poco, confiándose principalmente a especialistas en documentación más que a conservadores. En consecuencia, el uso de la fotogrametría para documentar el patrimonio cultural puede producir resultados que no se ajusten a las necesidades específicas de la conservación (Wong *et al.*, 2021).

El Centro de Conservación Lunder del Museo Smithsonian de Arte Americano se embarcó en un proyecto de un año de duración en 2021. El objetivo de este proyecto era conservar el recientemente adquirido mural portátil titulado *Levantamiento de las mujeres*, creado por la renombrada artista chicana Judith F. Baca (Baca, s.f.) (Figura 1). Pintado en 1979, el mural consta de seis paneles separados (A-F) de masonita pintada con acrílico, cada uno de los cuales mide (2,44 x 1,22 m, aprox.). El mural, que aborda temas como la misoginia, la militarización policial y las prácticas laborales injustas a las que se enfrentan los trabajadores latinos en California, es una importante obra de arte Chicanx de este periodo de activismo en Los Ángeles.

The original painting is primarily executed using spray-paint, resulting in a glazy, soft, and subtle appearance reminiscent of Los Angeles street art. However, over time, the monumental mural was reworked by the artist with varying layers of synthetic coatings and extensive heavily applied repaints. These measures were employed to conceal damages and scratches caused by the display of the artwork out of doors, on the back of trucks, and at large protest events, and these repaints and coatings inevitably obscured the original spray paint design. Critically, all of the original materials, later repaints, and coatings were composed of similar acrylic materials, rendering them all susceptible to any attempts to reduce or remove the aged coatings and repaints.

Considering the complexity of the cleaning issues and historical evidence of use of the Baca mural, it was determined that highly detailed multiband photogrammetry could play a pivotal role in studying, discussing, and determining the necessary treatment methodology. The visible light orthomosaic would serve as a robust visible record of the panels before treatment. UV-induced visible luminescence (UVL) imaging would aid in mapping repaints, coating application, and the artist's additions. Reflected infrared imaging (RIR) could provide art historical insights into the creation methods used for the image transfer on the mural's panels. Multiband photogrammetry has been investigated in prior studies for its 3D geometric accuracy and the quality of spectral response as a mapped texture (Rahrig et al., 2023; Chane et al., 2013; Webb, 2017; Webb et al., 2018). In this project, the primary focus was on the visual fidelity of the resulting orthomosaics and their ability to serve specific conservation needs, rather than the precise geometric accuracy of the UVL and RIR models.

La pintura original se realizó principalmente con pintura en aerosol, lo que le dio un aspecto vidrioso, suave y satinado que recuerda al arte callejero de Los Ángeles. Sin embargo, con el paso del tiempo, el monumental mural fue retocado por la artista con diversas capas de barnices sintéticos y repintes intensos. Estas medidas se emplearon para ocultar los daños y arañazos causados por la exposición de la obra al aire libre, en la parte trasera de camiones y en grandes actos de protesta, y estos repintes y recubrimientos inevitablemente oscurecieron el diseño original de la pintura en spray. Lo más crítico es que, tanto la policromía original, como los repintes posteriores y barnices, estaban compuestos por materiales acrílicos similares, lo que los hacía igualmente sensibles a cualquier intento de remoción o limpieza de barnices y repintes envejecidos.

Teniendo en cuenta la complejidad de los problemas de limpieza y las pruebas históricas del uso del mural de Baca, se determinó que la fotogrametría multibanda altamente detallada podría desempeñar un papel fundamental en el estudio, el debate y la determinación de la metodología de tratamiento necesaria. El ortomosaico de luz visible serviría como sólido registro documental de los paneles antes del tratamiento. Las imágenes de luminiscencia visible inducida por UV (UVL) ayudarían a cartografiar los repintes, la aplicación de barnices y los añadidos del artista. Las imágenes de infrarrojas reflejadas (RIR) (RIR) podrían aportar datos históricos sobre los métodos de creación utilizados para la transferencia de imágenes a los paneles del mural. La fotogrametría multibanda se ha investigado en estudios anteriores por su precisión geométrica 3D y la calidad de la respuesta espectral como textura mapeada (Rahrig *et al.*, 2023; Chane *et al.*, 2013; Webb, 2017; Webb *et al.*, 2018). En este proyecto, la atención se centró principalmente en la fidelidad visual de los ortomosaicos resultantes y su capacidad para servir a necesidades específicas de conservación, más que en la precisión geométrica exacta de los modelos UVL y RIR.

Methodology

Due to their size and the difficulty and risk in moving them around excessively, the panels were imaged in an empty gallery space. This allowed for ample working space, but also presented some lighting challenges. Emergency lights outside of the workspace could not be extinguished and would enter the imaging area through the narrow open gallery entrance. This was reduced by moving the imaging setup to the far end of the room furthest from the room entrance. Each panel was positioned against a gray wall on top of foam cushion pads placed on the floor (Figure 2). Photogrammetry obviated the need for precise camera-to-panel alignment as an undistorted orthomosaic could be created by digitally manipulating the resulting 3D model, simulating a perfectly parallel camera setup. This aspect of photogrammetry proved particularly beneficial as it enabled the panels to be tilted backward leaning on the wall, safeguarding the delicate painted edges of the Masonite from the panel's weight and reducing the complexities of maneuvering and fixing the heavy panels.

A pivotal decision involved determining the capture level of detail. The level of detail in a photogrammetric survey is defined as the Ground Sample Distance (GSD), which is the real-world distance between two pixel centers in an image of a given subject (Stylianidis et al., 2016). After testing by the conservator, a GSD of around 0.12 mm/pixel was selected to meticulously document features like craquelure and fine airbrush spatter—integral aspects of the painting. The required distance of the camera to the panel to achieve the desired spatial resolution was calculated prior to capture, as GSD is determined by sensor size, pixel size, focal length, and distance of the camera to the subject (Stylianidis et al., 2016). To ensure the highest-quality visible light record of each panel, the visible light

Metodología

Debido a su tamaño y a la dificultad y el riesgo de moverlos excesivamente, los paneles se fotografiaron en una galería vacía. Esto permitió disponer de un amplio espacio de trabajo, pero también planteó algunos problemas de iluminación. Las luces de emergencia que se encontraban fuera del espacio de trabajo no podían apagarse y entraban en la zona de procesamiento de imágenes a través de la estrecha entrada abierta de la galería. Esto se redujo trasladando la instalación de imágenes al extremo de la sala más alejado de la entrada. Cada panel se colocó contra una pared gris sobre almohadillas de espuma colocadas en el suelo (Figura 2). La fotogrametría obviaba la necesidad de una alineación precisa entre cámara y panel, ya que se podía crear un ortomosaico sin distorsiones manipulando digitalmente el modelo 3D resultante, simulando una configuración de cámara perfectamente paralela. Este aspecto de la fotogrametría resultó especialmente beneficioso, ya que permitió inclinar los paneles hacia atrás apoyándolos en la pared, protegiendo los delicados bordes pintados del tablero de conglomerado del peso del panel y reduciendo la complejidad de maniobrar y apoyar los pesados paneles.

Una decisión fundamental fue determinar el nivel de detalle de la captura. El nivel de detalle en un estudio fotogramétrico se define como la distancia de muestreo del suelo (GSD), que es la distancia real entre dos centros de píxel en una imagen de un sujeto determinado (Stylianidis *et al.*, 2016). Tras las pruebas realizadas por la conservadora, se seleccionó una GSD de alrededor de 0,12 mm/píxel para documentar meticulosamente características como la craqueladura y las finas salpicaduras de aerógrafo, aspectos integrales de la pintura. La distancia necesaria de la cámara al panel para lograr la resolución espacial deseada se calculó antes de la captura, ya que la GSD viene determinada por el tamaño del sensor, el tamaño del píxel, la distancia focal y la distancia de la cámara al sujeto (Stylianidis *et al.*, 2016). Para garantizar el registro de luz visible de mayor calidad de cada panel,

Figure 2 | The imaging was set up in an empty gallery space, providing plenty of room for the panels, but also created some challenges with light control. Each panel was leaned against a wall on soft pads, surrounded by scale bars for the photogrammetric capture. Credit: Smithsonian American Art Museum.

Figura 2 | El set se de imagen se instaló se instaló en un espacio vacío de la galería, lo que ofrecía mucho espacio para los paneles, pero también planteaba algunos problemas con el control de la luz. Cada panel se apoyó contra una pared sobre almohadillas blandas, rodeadas de barras de escala para la captura fotogramétrica. Crédito: Smithsonian American Art Museum.

captures were divided into parallel and convergent captures. The former prioritized visual fidelity, while the latter emphasized geometric accuracy in the model.

Parallel visible light capture utilized a Nikon D800 camera with a Jenoptik UV-VIS-IR 60 mm 1:4 lens, accompanied by a polarizing filter (to minimize

las capturas de luz visible se dividieron en capturas paralelas y convergentes. En las primeras se dio prioridad a la fidelidad visual, mientras que en las segundas se hizo hincapié en la precisión geométrica del modelo.

Para la captura paralela de la luz visible se utilizó una cámara Nikon D800 con un objetivo Jenoptik UV-VIS-IR 60 mm 1:4, acompañada de un filtro polarizador

glare) and dual Genaray Spectro LED Essential 500IIB Bi-Color LED panels. The camera was positioned on a tripod at a distance of 1.0m, manually focused[1] for each image, set to f/8 aperture, and ISO 100 settings. A similar setup, including a Nikon D800 camera and a Nikkor Lens AF-S 24-70 f/2.8G ED taped to 28 mm, was employed for visible convergent capture. Both UVL and IR (only parallel) capture used a Nikon D810 camera, which is modified to remove the IR filter, a Jenoptik UV-VIS-IR 60 mm 1:4 lens, and UV/IR filters (X-Nite CC1 and PECA916, and X-Nite 1000B, respectively). The UVL capture employed TripleBright II UV Panels as the UV radiation source, while RIR capture utilized Tota tungsten-halogen lamps.

Photogrammetric documentation included 66% overlap and 66% sidelap for all captures. A white balance card was included periodically to ensure consistent color temperature across all visible images. Grey reflectance standards were not part of the existing museum imaging kit and given the time constraints on the project the multiband imaging was performed without these standards. Without these references, the shutterspeed for the UVL images was set by capturing the panel with all lights off and ensuring that no external visible light was entering the camera at the desired shutterspeed. It was not always possible to completely remove the external gallery light and capture luminescence, but invaluable luminescence data was still collected. The exposure was set for RIR using the histogram. White balance was set for UVL at 10000K. The RIR images were white balanced during processing using the grey card.

[1] The camera was manually focused for each image to ensure sharpness. This sacrifices some calibration and geometric precision due to varying principal distances, but this effect has been found to be minor (Dall'Asta et al., 2015). As this project prioritized visual fidelity and extremely fine detail, it was determined to bring the camera close to the subject and fine-tune focus manually for each image, rather than risking out-of-focus images for a small improvement in geometric precision.

(para minimizar los reflejos) y paneles LED bicolor dobles Genaray Spectro LED Essential 500IIB. La cámara se colocó sobre un trípode a una distancia de 1,0 m, se enfocó manualmente[1] para cada imagen, se ajustó a una apertura de f/8 y a una configuración ISO 100. Para la captura convergente visible se empleó una configuración similar, que incluía una cámara Nikon D800 y un objetivo Nikkor AF-S 24-70 f/2,8G ED adaptado a 28 mm. Para las capturas (solo paralelas) UVL e IR se utilizó una cámara Nikon D810, modificada sin filtro interno, con un objetivo Jenoptik UV-VIS-IR 60 mm 1:4 y filtros UV/IR (X-Nite CC1 y PECA916, y X-Nite 1000B, respectivamente). La captura UVL empleó paneles UV TripleBright II como fuente de radiación UV, mientras que la captura RIR utilizó lámparas halógenas de tungsteno Tota.

La documentación fotogramétrica incluía un solapamiento del 66% y una superposición lateral del 66% para todas las capturas. Se incluyó en todos los encuadres una tarjeta de balance de blancos para garantizar una temperatura de color coherente en todas las imágenes visibles. Los estándares de reflectancia gris no formaban parte del kit de fotografía técnica del museo y, dadas las limitaciones de tiempo del proyecto, las imágenes multibanda se realizaron sin estos estándares. Sin estas referencias, la velocidad de obturación de las imágenes UVL se fijó capturando el panel con todas las luces apagadas y asegurándose de que no entraba luz visible externa en la cámara a la velocidad de obturación deseada. No siempre fue posible eliminar por completo la luz externa de la galería y capturar la luminiscencia, pero aún así se recogieron datos de luminiscencia muy valiosos. La exposición se ajustó para la RIR utilizando el histograma. El balance

[1] La cámara se enfocó manualmente en cada imagen para garantizar la nitidez. Esto sacrifica algo de calibración y precisión geométrica debido a la variación de las distancias principales, pero se ha comprobado que este efecto es menor (Dall'Asta *et al.*, 2015). Dado que este proyecto daba prioridad a la fidelidad visual y a los detalles extremadamente finos, se decidió acercar la cámara al sujeto y ajustar el enfoque manualmente para cada imagen, en lugar de arriesgarse a obtener imágenes desenfocadas por una pequeña mejora de la precisión geométrica.

During processing in Agisoft Metashape Professional (v.1.7), parallel captures and convergent images were treated as separate camera groups. Only parallel images were enabled for orthomosaic creation, ensuring the final record was composed of the highest-resolution, least distorted, and most likely fully focused images. Scale was incorporated into the final model using automatically detected photogrammetric scale bars (three 50cm Cultural Heritage Imaging CHI scale bars) present in the capture field. Each spectral band was processed into a distinct model and project, yielding a single orthomosaic for each (VIS, RIR, and UVL).

Results

The multiband orthomosaics yielded invaluable insights during the conservation process (Figure 3) related to the construction, historic evidence of use, artist changes, and condition issues. The visible light orthomosaic provided exceptional detail of the condition of the original paint layer, repaint, and artistic additions, enabling partially remote condition assessment and report generation. Measurements of condition issues could be derived from the 3D model, and high detail images highlighting condition issues were easily extracted from the orthomosaic and model, easing the creation of the condition report (Figure 4). The 3D model can also be used to monitor deformations to the painted Masonite and disruption to the nails holding the panels in the future. Similarly, due to the high level of detail of the orthomosaic, before and after image comparisons were made considerably easier, as a high resolution detail image with a scale bar could be extracted from the orthomosaic (via screenshot or cropping the orthomosaic). An overall, single-image photograph of Panel E was captured to illustrate the difference in level of detail from the orthomosaic (Figure 5).

de blancos se ajustó para UVL a 10000K. Las imágenes RIR se procesaron con un balance de blancos utilizando la tarjeta gris.

Durante el procesamiento en Agisoft Metashape Professional (v.1.7), las capturas paralelas y las imágenes convergentes se trataron como grupos de cámaras separados. Sólo se habilitaron las imágenes paralelas para la creación del ortomosaico, garantizando así que el registro final estuviera compuesto por las imágenes de mayor resolución, menos distorsionadas y, muy probablemente, totalmente enfocadas. La escala se incorporó al modelo final utilizando barras de escala fotogramétrica detectadas automáticamente (tres barras de escala CHI de 50 cm de Cultural Heritage Imaging) presentes en el campo de captura. Cada banda espectral se procesó en un modelo y proyecto distintos, obteniéndose un único ortomosaico para cada una (VIS, RIR y UVL).

Resultados

Durante el proceso de conservación, los ortomosaicos multibanda proporcionaron información muy valiosa sobre la construcción (Figura 3), las evidencias históricas de uso, los cambios artísticos y el estado de conservación. El ortomosaico de luz visible proporcionó detalles excepcionales del estado de la capa de pintura original, los repintes y los añadidos artísticos, lo que permitió evaluar parcialmente el estado en remoto y generar informes. Las mediciones de los problemas conservativos podían obtenerse a partir del modelo 3D, y las imágenes de gran detalle que destacaban las patologías de conservación podían extraerse fácilmente del ortomosaico y el modelo, lo que facilitaba la creación del informe de conservación (Figura 4). El modelo 3D también puede utilizarse para supervisar en el futuro las deformaciones de la masonita pintada y la alteración de los clavos que sujetan los paneles. Del mismo modo, debido al alto nivel de detalle del ortomosaico, las comparaciones de imágenes del antes y el después resultaron considerablemente más fáciles, ya que se pudo extraer del ortomosaico una imagen detallada de alta resolución con una barra de

Figure 3 | The visible light (left), infrared reflected radiation (center), and UV induced luminescence (right) orthomosaics of Panel E, with details showing the different condition and material information provided by each spectral band. Credit: Smithsonian American Art Museum.

Figura 3 | Ortomosaicos del panel E de luz visible (izquierda), radiación infrarroja reflejada (centro) y luminiscencia inducida por UV (derecha), con detalles que muestran información diferente en cada banda espectral sobre el estado y el material. Crédito: Smithsonian American Art Museum.

Figure 4 | The scaled model and orthomosaics were frequently used during the creation of the initial condition report as they allow for the quick extraction of detail images and the scale of condition issues. This image shows one example of measuring the scale of a scrape on one panel in Agisoft Metashape Professional v. 1.7. Credit: Smithsonian American Art Museum.

Figura 4 | El modelo a escala y los ortomosaicos se utilizaron con frecuencia durante la creación del informe de estado inicial, ya que permitieron extraer rápidamente imágenes de detalle y la magnitud de del estado de conservación. Esta imagen muestra un ejemplo de medición de la escala de un raspado en un panel en Agisoft Metashape Professional v. 1.7. Crédito: Smithsonian American Art Museum.

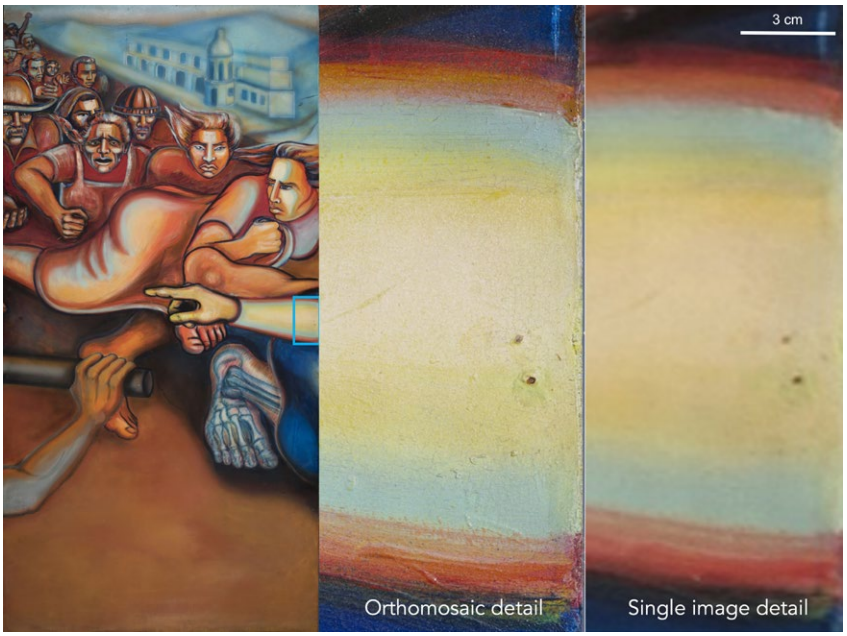


Figure 5 | Image detail comparison between the level of detail captured in the orthomosaic compared to a single overall image of Panel E, demonstrating the significant improvement in the level of detail when generating an orthomosaic at 0.12mm/pixel. Credit: Smithsonian American Art Museum.

Figura 5 | Comparación del nivel de detalle de la imagen capturada en el ortomosaico con una sola imagen global del Panel E, demostrando la mejora significativa en el nivel de detalle al generar un ortomosaico a 0,12 mm/píxel. Crédito: Smithsonian American Art Museum.

Figure 6 | The overall orthomosaic of all of the panels in RIR reveals a variety of underdrawing techniques from charcoal rubbing, to line drawings, and finally to pouncing. It is clear that the artist changed some aspects of the final scheme from the preparatory drawings. Credit: Smithsonian American Art Museum.

Figura 6 | El ortomosaico global de todos los paneles de RIR revela una variedad de técnicas de dibujo subyacente, desde el frotado con carboncillo, pasando por los dibujos lineales, hasta llegar al estarcido. Es evidente que la artista modificó algunos aspectos del esquema final a partir de los dibujos preparatorios. Crédito: Smithsonian American Art Museum.

The RIR orthomosaic yielded a detailed record of underdrawings and preparatory techniques (Figure 6). It unveiled the use of pouncing[2] on Panel E and significant alterations to primary figures and architecture—details that would have been challenging to discern from a single overall capture (Figure 7). These findings were shared with artist Judy Baca during an interview, evoking memories and emotions tied to the mural's creation, contributing to a richer narrative around the painting (Rose & Zapata, 2022).

The UVL orthomosaic proved critical to the conservation process, revealing in extreme detail that would otherwise not be achievable for the entire mural, areas of repaint, artistic additions, and coating

El ortomosaico del RIR proporcionó un registro detallado de los dibujos y las técnicas preparatorias (Figura 6). Reveló el uso del estarcido[2] en el panel E y alteraciones significativas en las figuras principales y la arquitectura, detalles que habrían sido difíciles de discernir en una sola captura general (Figura 7). Estos hallazgos se compartieron con la artista Judy Baca durante una entrevista, evocando recuerdos y emociones vinculados a la creación del mural, lo que contribuyó a enriquecer la narrativa en torno a la pintura (Rose y Zapata, 2022).

escala (mediante captura de pantalla o recorte del ortomosaico). Para ilustrar la diferencia en el nivel de detalle con respecto al ortomosaico, se tomó una fotografía general de una sola imagen del Panel E (Figura 5).

[2] Pouncing is a technique used since at least the mid 14th Century to transfer a design from a paper sketch to a wall; holes were punched through the lines of the design at regular intervals, and then the paper was flattened to the wall and charcoal was used to coat the paper, allowing the charcoal marks through to the wall, thereby transferring the main lines of the design (Mora et al., 1984).

[2] El estarcido es una técnica utilizada al menos desde mediados del siglo XIV para transferir un diseño de un boceto de papel a una pared; se perforaban agujeros a través de las líneas del diseño a intervalos regulares y, a continuación, se aplanaba el papel contra la pared y se utilizaba carbón para recubrir el papel, permitiendo que las marcas de carbón atravesaran la pared, transfiriendo así las líneas principales del diseño (Mora *et al.*, 1984).

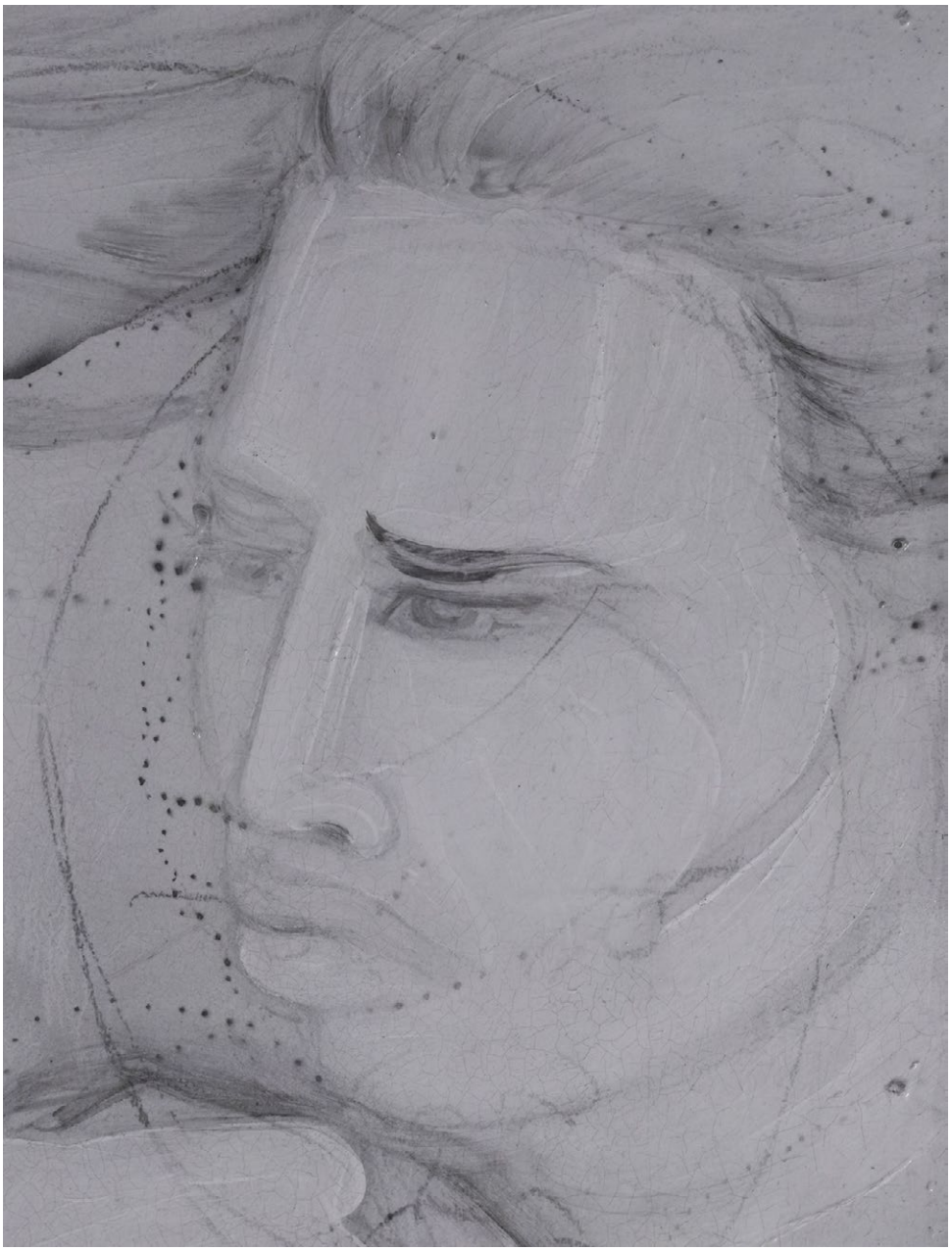


Figure 7 | This is a detail of the RIR orthomosaic showing the pouncing dots on the face of the figure on Panel E. This is a historic mural painting technique that helps to transfer a design from a drawing on a paper to a wall. These dots would not be visible with a single overall RIR image of the panel due to its size. Credit: Smithsonian American Art Museum.

Figura 7 | Detalle del ortomosaico del RIR en el que se aprecia el estarcido en la cara de la figura del panel E. Se trata de una técnica histórica de pintura mural que ayuda a transferir el diseño de un dibujo sobre papel a la pared. Debido a su tamaño, estos puntos no serían visibles con una sola imagen RIR global del panel. Crédito: Smithsonian American Art Museum.

Figure 8 | When each of the before treatment UVL orthomosaics were lined up together, a difference in the intensity of the luminescence was evident, particularly on Panel D. After cleaning tests it became clear that the center two panels (C and D) had a thinner layer of coating, making them more sensitive to cleaning action than the panels A, B, E, and F. This information helped inform the cleaning approach. Credit: Smithsonian American Art Museum.

Figura 8 | Al alinear cada uno de los ortomosaicos UVL antes del tratamiento, se hizo evidente una diferencia en la intensidad de la luminiscencia, especialmente en el panel D. Tras las pruebas de limpieza quedó claro que los dos paneles centrales (C y D) tenían una capa de barniz más fina, lo que los hacían más sensibles a la acción de la limpieza que los paneles A, B, E y F. Esta información ayudó a fundamentar el enfoque de limpieza. Crédito: Smithsonian American Art Museum.

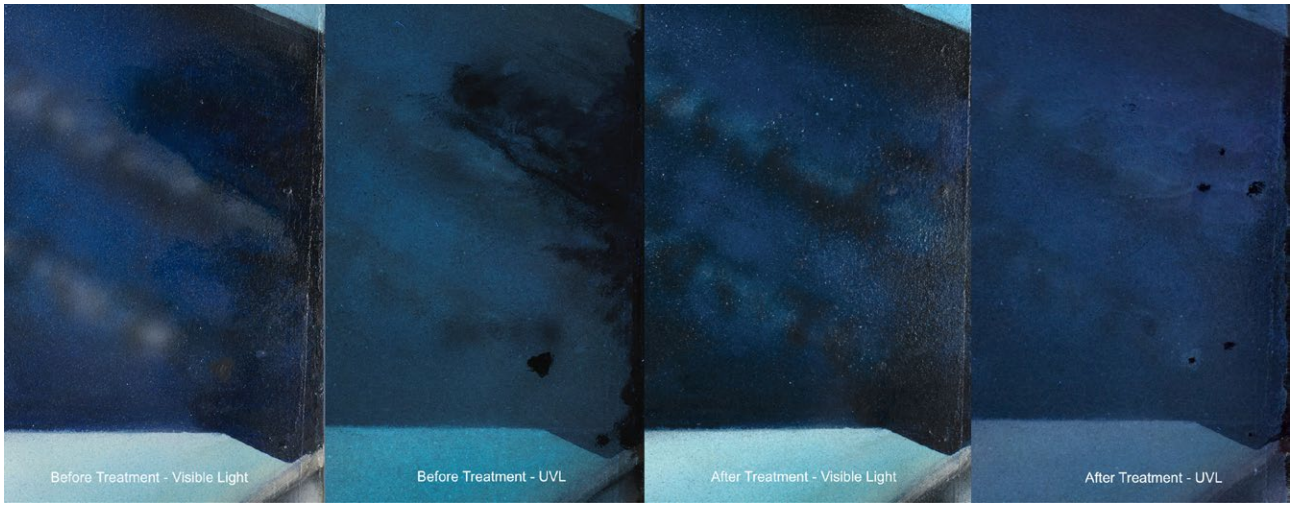


Figure 9 | This shows visible and UVL details of the orthomosaics before and after repaint removal. The high resolution of the orthomosaic helped the conservator identify the repaint (not luminescing under UV) and guided its careful removal. The areas of damage that had been covered in large swaths of repaint were then inpainted in a more target way, but a considerable amount of original paint was revealed in the process. Credit: Smithsonian American Art Museum.

Figura 9 | Muestra detalles visibles y UVL de los ortomosaicos antes y después de la eliminación del repinte. La alta resolución del ortomosaico ayudó a la conservadora a identificar el repinte (no luminiscente bajo UV) y guió su cuidadosa eliminación. Las zonas dañadas que habían quedado cubiertas por grandes franjas de repinte se repintaron de forma más selectiva, pero en el proceso quedó al descubierto una cantidad considerable de pintura original. Crédito: Smithsonian American Art Museum.

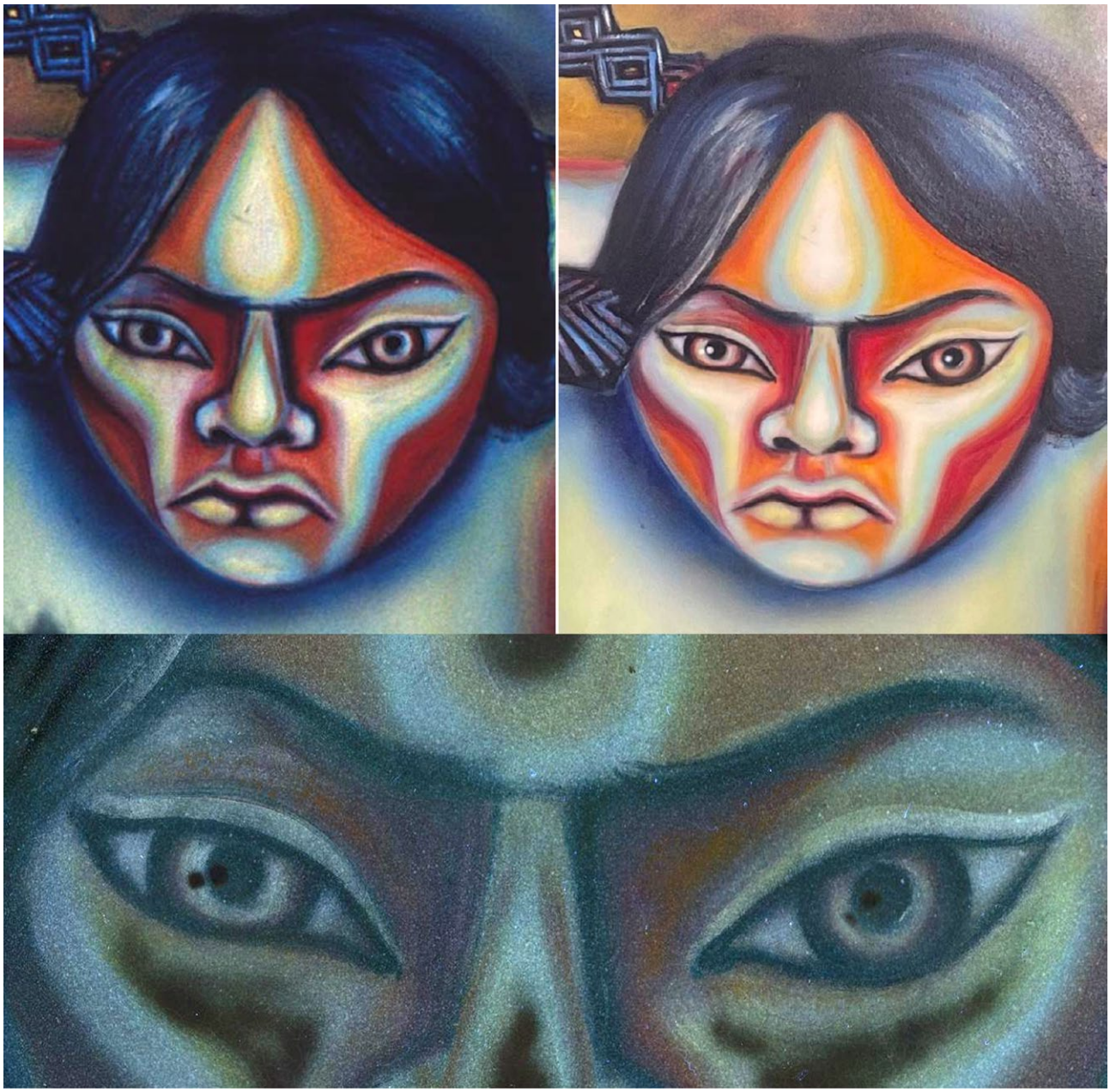


Figure 10 | (a) Visible image of the figure from the painting's completion in 1979, (b): visible light before treatment image from 2021 showing the addition of glints in the eyes, (c): a detail of the UVL orthomosaic showing the glints as additions (not luminescing). Credit: Smithsonian American Art Museum.

Figura 10 | (a) Imagen visible de la figura al finalizar la pintura en 1979, (b): imagen de luz visible antes del tratamiento de 2021 que muestra la adición de destellos en los ojos, (c): detalle del ortomosaico UVL que muestra los destellos como adiciones (no luminiscentes). Crédito: Smithsonian American Art Museum.

applications. When all of the UVL orthomosaics for all panels were aligned, it was observed that the center two panels luminesced less brightly, possibly indicating thinner coating applications (Figure 8). However, without multiband reference standards, it was not possible to tell whether these brightness differences accurately reflected the painting's material conditions. However, it did flag these differences for the conservator, and subsequently, it was discovered during treatment that the coating thickness did significantly vary across panels, necessitating a custom treatment protocol for each panel. Having the highly detailed UVL orthomosaic open on a laptop for constant reference during cleaning enabled the conservator to remove unwanted repaint and preserve artistic additions (Figure 9). As an example, the absence of luminescence in small spots in the primary indigenous figure's eyes indicated their post-mural completion inclusion (Figure 10). Historic photographs confirmed these additions, demonstrating how these glints altered the intensity of the primary figure's gaze and were significant artistic changes. The high-resolution UVL image played a critical role in identifying these subtle artistic additions and preventing their unintentional removal.

Conclusions

The successful conservation of *Uprising of the Mujeres* hinged on multiband photogrammetry and conservator expertise. The use of multiband photogrammetry allowed for the panels to be handled less and positioned in a safer orientation, generated extremely high resolution scaled records of the paintings pre-treatment, allowing for more detailed condition documentation and assessment, generated a 3D model of the painted Masonite panels that can be used for deformation monitoring, and proved to be an invaluable tool during treatment that indicated often very small areas to be left untreated or areas of greater sensitivity

El ortomosaico UVL resultó decisivo para el proceso de conservación al revelar con extremo detalle lo que de otro modo no sería posible en todo el mural, las zonas repintadas, los añadidos artísticos y las aplicaciones de barniz. Cuando se alinearon todos los ortomosaicos UVL de todos los paneles, se observó que los dos paneles centrales presentaban una luminiscencia menos brillante, lo que posiblemente indicaba la aplicación de un barniz más fino (Figura 8). Sin embargo, sin patrones de referencia multibanda, no era posible saber si estas diferencias de luminosidad reflejaban con exactitud las condiciones materiales de la pintura. Sin embargo, a la conservadora pudo detectar estas diferencias y, posteriormente, durante el tratamiento, se descubrió que el grosor del barniz variaba considerablemente de un panel a otro, lo que hizo necesario un protocolo de tratamiento personalizado para cada panel. El hecho de tener un ortomosaico UVL tan detallado, abierto en un ordenador portátil como referencia constante durante la limpieza permitió a la conservadora eliminar los repintes no deseados y preservar los añadidos artísticos (Figura 9). Por ejemplo, la ausencia de luminiscencia en pequeños puntos de los ojos de la figura indígena principal indicaba que se habían añadido después de la realización del mural (Figura 10). Las fotografías históricas confirmaron estas adiciones, demostrando cómo estos destellos alteraban la intensidad de la mirada de la figura primaria y eran cambios artísticos significativos. La imagen UVL de alta resolución desempeñó un papel fundamental en la identificación de estos sutiles añadidos artísticos y en la prevención de una posible eliminación involuntaria.

Conclusiones

El éxito de la conservación de *Levantamiento de las mujeres* dependió de la fotogrametría multibanda y de la experiencia de los conservadores. El uso de la fotogrametría multibanda permitió manipular menos los paneles y colocarlos en una orientación más segura, generó registros a escala de altísima resolución de las pinturas antes del tratamiento, lo que permitió documentar y evaluar con más detalle su estado, generó un modelo en 3D de los paneles

that could otherwise have been missed. Having the documentation completed by the project conservator meant that it was tailored to the needs of the project and the data was used meaningfully during research and treatment.

This case study underscores the vital role of conservator expertise and involvement in photogrammetry, enabling customized documentation tailored to the specific requirements of culturally significant artworks and their conservation. The application of multiband photogrammetry in portable mural conservation offers an invaluable approach for documenting and safeguarding these exceptional artworks. Beyond conservation, the 3D data captured will be used to create a 3D virtual exhibit of the mural and its treatment for the public to experience remotely. Continued research and collaboration in this field will advance conservation practices and ensure the enduring preservation of culturally significant artworks.

de masonita pintados que puede utilizarse para controlar la deformación, y resultó ser una herramienta inestimable durante el tratamiento que indicaba a menudo zonas muy pequeñas que debían dejarse sin tratar o zonas de mayor sensibilidad que de otro modo podrían haberse pasado por alto. El hecho de que la documentación fuera elaborada por la conservadora del proyecto permitió que se adaptara a las necesidades del mismo y que los datos se utilizaran de forma significativa durante la investigación y el tratamiento.

Este estudio de caso pone de relieve el papel fundamental que desempeñan la experiencia y la implicación de los conservadores en la fotogrametría, ya que permite obtener una documentación personalizada y adaptada a los requisitos específicos de obras de arte de importancia cultural para su conservación. La aplicación de la fotogrametría multibanda a la conservación de murales portátiles ofrece un enfoque inestimable para documentar y salvaguardar estas excepcionales producciones artísticas. Más allá de la conservación, los datos 3D capturados se utilizarán para crear una exposición virtual en 3D del mural y su tratamiento para que el público pueda experimentarlo a distancia. La investigación y la colaboración continuas en este campo harán avanzar las prácticas de conservación y garantizarán la preservación duradera de obras de arte manifiesta importancia cultural.

References | Bibliografía

Abate, D. (2019). Documentation of paintings restoration through photogrammetry and change detection algorithms. *Heritage Science*, *7*(1), 13. https://doi.org/10.1186/s40494-019-0257-y

Aicardi, I., Chiabrando, F., Lingua, A.M., & Noardo, F. (2018). Recent trends in cultural heritage 3D survey: The photogrammetric computer vision approach. *Journal of Cultural Heritage*, *32*, 257-266. https://doi.org/10.1016/j.culher.2017.11.006

Agisoft, LLC. (2021). *Agisoft Metashape User Manual Professional Edition* (Version 1.7). https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_1_7_en.pdf

Angheluță, L.M., & Rădvan, R. (2019). Macro photogrammetry for the damage assessment of artwork painted surfaces. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, *42*, 101-107. https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W15-101-2019

Apollonio, F.I., Fantini, F., Garagnani, S., & Gaiani, M. (2021). A photogrammetry-based workflow for the accurate 3D construction and visualization of museums assets. *Remote Sensing*, *13*(3), 486. https://doi.org/10.3390/rs13030486

Baca, J.F. (n.d.). *Uprising of the Mujeres*. Smithsonian American Art Museum. https://americanart.si.edu/artwork/uprising-mujeres-116607

Bassier, M., Vincke, S., de Lima Hernandez, R., & Vergauwen, M. (2018). An overview of innovative heritage deliverables based on remote sensing techniques. *Remote Sensing*, *10*(10), 1607. https://doi.org/10.3390/rs10101607

Chane, C.S., Schütze, R., Boochs, F., & Marzani, F.S. (2013). Registration of 3D and Multispectral Data for the Study of Cultural Heritage Surfaces. *Sensors*, *13*(1), 1004-1020. https://doi.org/10.3390/s130101004

CHI, 2021. *Capturing high-resolution 3D documentation of a Diego Rivera mural*. http://culturalheritageimaging.org/What_We_Do/Projects/rivera -mural/index.html

Dall'Asta, E., Thoeni, K., Santise, M., Forlani, G., Giacomini, A., & Roncella, R. (2015). Network Design and Quality Checks in Automatic Orientation of Close-Range Photogrammetric Blocks. *Sensors*, *15*(4) 7985-8008. https://doi.org/10.3390/s150407985

Farella, E.M., Morelli, L., Rigon, S., Grilli, E., & Remondino, F. (2022). Analysing key steps of the photogrammetric pipeline for Museum artefacts 3D digitisation. *Sustainability*, *14*(9), 5740. https://doi.org/10.3390/su14095740

ICOMOS. (1964). *International Charter for the Conservation and Restoration of Monuments and Sites*. Venice, Italy. https://www.icomos.org/charters/venice_e.pdf

Lucet, G. (2013). 3D Survey of pre-Hispanic wall painting with high resolution photogrammetry. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, *2*, 191-196. https://doi.org/10.5194/isprsannals-II-5-W1-191-2013

Mairinger, F. (2004). UV-, IR-and X-ray imaging. In *Comprehensive analytical chemistry* (Vol. 42, pp. 15-71). Elsevier. https://doi.org/10.1016/S0166-526X(04)80006-0

Matthews, N.A. (2008). *Aerial and Close-Range Photogrammetric Technology: Providing Resource Documentation, Interpretation, and Preservation.* (Technical Note 428). U.S. Department of the Interior, Bureau of Land Management, National Operations Center.

Micheletti, N., Chandler, J.H. & Lane, S.N. (2015). Structure from Motion (SFM) photogrammetry. In *Geomorphological Techniques* (Online Edition).

Mora, P., Mora, L., & Philippot, P. (1984). *Conservation of wall paintings*. Buttersworth.

Percy, K., Ouimet, C., Ward, S., Santana Quintero, M., Cancino, C., Wong, L., ... & Boussalh, M. (2015). Documentation for emergency condition mapping of Decorated historic surfaces at the Caid Residence, the Kasbah of Taourirt (Ouarzazate, Morocco). *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, *2*, 229-234. https://doi.org/10.5194/isprsannals-II-5-W3-229-2015

Picollo, M., Stols-Witlox, M., & Fuster-López, L. (Eds.). (2020). *UV-Vis Luminescence imaging techniques/Técnicas de imagen de luminiscencia UV-Vis* (Vol. 1). Editorial Universitat Politècnica de València.

Rahrig, M., Herrero-Cortell, MÁ., & Lerma, J.L. (2023). Multiband Photogrammetry and Hybrid Image Analysis for the Investigation of a Wall Painting by Paolo de San Leocadio and Francesco Pagano in the Cathedral of Valencia. *Sensors*. *23*(4) 2301. https://doi.org/10.3390/s23042301

Reina Ortiz, M., Weigert, A., Dhanda, A., Yang, C., Smith, K., Min, A., ... & Santana Quintero, M. (2019). A Theoretical Framework for Multi-Scale Documentation of Decorated Surface. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, *42*, 973-980. https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W15-973-2019

Rose, W., & Zapata, C. (2022, October 4). Judy Baca on her mural '*Uprising of the Mujeres*'. *Smithsonian American Art Museum*. https://americanart.si.edu/blog/judy-baca-interview

Rudenstine, A.Z., & Whalen, T.P. (2006). Conservation documentation in digital form: A dialogue about the issues. *Conservation: The Getty Conservation Institute Newsletter*, *21*(2), 26-28.

Stylianidis, E., Remondino, F., & Georgopoulos, A., (2016). Basics of image-based modelling techniques in cultural heritage 3D recording. In *3D Recording, Documentation and Management of Cultural Heritage* (pp. 253-302). Whittles Publishing.

Verri, G., Keller, A., Piqué, F., & Aldrovandi, A. (2015). Ultraviolet-induced luminescence imaging. In Organic Materials in Wall Paintings (pp. 76-82). Getty Conservation Institute.

Wachowiak, M.J., & Karas, B.V. (2009). 3D scanning and replication for museum and cultural heritage applications. *Journal of the American Institute for Conservation*, *48*(2), 141-158. https://doi.org/10.1179/019713609804516992

Warda, J., Frey, F.S., Heller, D., Kushel, D., Vitale, T., & Weaver, G. (2017). *The AIC guide to digital photography and conservation documentation*. American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works.

Webb, E.K. (2017). Reflected infrared and 3D imaging for object documentation. *Journal of the American Institute for Conservation*, *56*(3-4), 211-224. https://doi.org/10.1080/01971360.2017.1359463

Webb, E.K., Robson, S., Macdonald, L., Garside, D., & Evans, R. (2018). Spectral and 3D cultural heritage documentation using a modified camera. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, *42*, 1183-1190. https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-1183-2018

Webb, E.K., Robson, S., Evans, R., & O'Connor, A. (2023). Wavelength Selection Using a Modified Camera to Improve Image-Based 3D Reconstruction of Heritage Objects. *Journal of the American Institute for Conservation*, *62*(2), 111-128. https://doi.org/10.1080/01971360.2022.2111501

Wong, L., Rose, W., Dhanda, A., Flavin, A., Barazzetti, L., Ouimet, C., & Santana Quintero, M. (2021). Maximizing the Value of Photogrammetric Surveys in the Conservation of Wall Paintings. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, *46*, 851-857. https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVI-M-1-2021-851-2021

Image composition Mortensen, W. (n.d.) untitled, Metalchrome hand-painted silver gelatine print, image size 37.7 x 27.8 cm, overall size (48.1 x 38.7 cm). Centre for Creative Photography, Tucson, Az.; 94.55.26 Clockwise from Top left: Vis, UVL, MBIRLum, MBRIR.

Composición de la imagen Mortensen, W. (s.f.) Sin título, impresión en gelatina de plata metalcromada y pintada a mano; tamaño de la imagen 37,7 × 27,8 cm, tamaño total 48,1 × 38,7 cm. Centre for Creative Photography, Tucson, Arizona; 94.55.26. En el sentido de las agujas del reloj desde la parte superior izquierda: Vis, UVL, MBIRLum, MBRIR.

MULTIBAND IR REFLECTANCE AND LUMINESCENCE IMAGING: SEEING IN IR TO STUDY HAND-COLOURED PHOTOGRAPHS

IMAGEN MULTIBANDA EN REFLECTANCIA Y LUMINISCENCIA INFRARROJA: ESTUDIO DE FOTOGRAFÍAS COLOREADAS A MANO MEDIANTE OBSERVACIÓN EN EL IR

Rahul Sharma
Conservator in Private Practice, United States

rahulsharmajammu@gmail.com

Introduction

The representation of information recorded by multiband imaging techniques remains a challenge facing researchers in this field. While it is possible to capture images across discrete bands in both visible light and in the invisible ultraviolet (UV) and infrared (IR) ranges, interpreting these images coherently can be a complex task.

Traditional approaches have relied on IR false colour (IRFC) and UV false colour (UVFC) imaging techniques, wherein information from the IR and UV bands is substituted into a visible (VIS) image to generate false colour composites. These techniques were first developed in the digital domain by Aldrovandi et al. (1988, 2005), who used UV

Introducción

La representación de la información registrada mediante técnicas de imagen multibanda sigue siendo un reto para los investigadores en este campo. Aunque es posible captar imágenes a través de bandas discretas tanto en la luz visible como en los rangos invisibles ultravioleta (UV) e infrarrojo (IR), la interpretación coherente de estas imágenes puede ser una tarea compleja.

Los enfoques tradicionales se han basado en técnicas de imagen de falso color IR (IRFC) y falso color UV (UVFC), en las que la información de las bandas IR y UV se sustituye en una imagen visible (VIS) para generar compuestos de falso color. Estas técnicas fueron desarrolladas por primera vez en el ámbito digital por Aldrovandi *et al.* (1988, 2005), que utilizaron filtros de

bandpass filters and IR longpass filters to record UV and IR images. While these traditional approaches have been useful, they discard considerable information in IR by recording it as a single band using longpass filters.

Recent publications have demonstrated the utility of imaging objects in narrower bands to extract spectral information for technical investigations. For example, Kriss et al. (2023) and Dyer et al. (2018) used multiband subtraction techniques to isolate the spectral behaviour of indigo, lapis lazuli etc. in reflectance modes, while Dyer and Sotiropoulou (2017) employed twin bands of visible induced visible luminescence (VIVL) and visible induced IR luminescence (VIL) to image Egyptian blue and red organic pigments in polychromy. This suggests that more information can be extracted from imaging an object if the information recorded is more granular.

While the aforementioned three papers target specific colourants in their research, this chapter presents a novel approach that records three broadband images in the ranges 662-753 nm, 795-860 nm, and 921-958 nm in reflectance and induced luminescence modes. These images are then combined into false colour composites to visualize the overall reflectance and luminescence behaviour in IR.

Unlike approaches mentioned prior which target specific colorants, the false colour composites discussed in this paper show the overall spectral behaviour of the object in IR. This approach is similar to one used by Delaney et al. (2017), who combined multiband shortwave infrared (SWIR) images in the 1100-1400 nm, 1500-1800 nm, and 2100-2400 nm bands to create false colour reflectance images in SWIR. The technique discussed in this paper, however, extends the scope to induced luminescence, in addition to reflectance images.

paso de banda UV y filtros de paso largo IR para registrar imágenes UV e IR. Aunque estos enfoques tradicionales han sido útiles, descartan una información considerable en el IR al registrarlo como una sola banda utilizando filtros de paso largo.

Más recientemente, algunas publicaciones han demostrado la utilidad de captar imágenes de objetos en bandas más estrechas para extraer información espectral para investigaciones técnicas. Por ejemplo, Kriss *et al.* (2023) y Dyer *et al.* (2018) utilizaron técnicas de sustracción multibanda para aislar el comportamiento espectral del índigo, el lapislázuli, etc. en modos de reflectancia, mientras que Dyer y Sotiropoulou (2017) emplearon bandas gemelas de luminiscencia visible inducida por luz visible (VIVL) y luminiscencia IR inducida por luz visible (VIL) para obtener imágenes de pigmentos orgánicos azules y rojos egipcios en policromía. Esto sugiere que se puede extraer más información de la imagen de un objeto si la información registrada es más granular.

Mientras que los tres artículos mencionados se centran en colorantes específicos en su investigación, este capítulo presenta un enfoque novedoso que registra tres imágenes de banda ancha en los rangos 662-753 nm, 795-860 nm y 921-958 nm en los modos de reflectancia y luminiscencia inducida. A continuación, estas imágenes se combinan en falsos compuestos de color para visualizar el comportamiento global de reflectancia y luminiscencia en IR.

A diferencia de los enfoques mencionados anteriormente que se centran en colorantes específicos, los falsos compuestos de color analizados en este artículo muestran el comportamiento espectral general del objeto en el infrarrojo. Este enfoque es similar al utilizado por Delaney *et al.* (2017), que combinaron imágenes infrarrojas de onda corta (SWIR) multibanda en las bandas de 1100-1400 nm, 1500-1800 nm y 2100-2400 nm para crear imágenes de reflectancia de falso color en SWIR. Sin embargo, la técnica analizada en este artículo amplía el alcance a la luminiscencia inducida, además de a las imágenes de reflectancia.

By recording three broadband images and combining them into a single false colour composite, this technique offers a new way to represent the information recorded by multiband imaging techniques, providing researchers with a valuable tool for analysing and interpreting complex data.

The chapter describes an investigation of hand-coloured photographs created using the Metalchrome process, by William Mortensen (1897-1965) discussed later in the chapter, housed in the collection of the Centre for Creative Photography (CCP) in the University of Arizona, Tucson. The imaging was done as a part of research on Mortensen conducted by the author at the CCP in 2022.

The main thrust of this research was to understand Mortensen's darkroom practice. As a pictorial photographer, his technique involved considerable manipulation of the photographic image using techniques such as retouched paper negatives and multiple retouched interpositives and internegatives to alter the images. He would subsequently also retouch his finished prints to create an image that appeared photographic yet had a considerable degree of modification by hand. To understand how he achieved his final images; these multiple steps were reconstructed using instructional materials produced by Mortensen in the 1930's.

Mortensen's technique was finely developed, and a visual inspection of his finished prints does not allow insight into his techniques, and thus, the prints were imaged using a modified camera. The standard UV and IR false colour images revealed the extent of Mortensen's manipulations in the image; however, the reflectance and luminescence images in the 650-950 nm band discussed in this chapter revealed granular information about localised retouching and colourant application. Here,

Al registrar tres imágenes de banda ancha y combinarlas en un único compuesto de falso color, esta técnica ofrece una nueva forma de representar la información registrada por las técnicas de imagen multibanda, proporcionando a los investigadores una valiosa herramienta para analizar e interpretar datos complejos.

El capítulo describe una investigación de fotografías coloreadas a mano creadas mediante el proceso *Metalchrome* de William Mortensen (1897-1965), del que se habla más adelante en el capítulo, conservadas en la colección del Centre for Creative Photography (CCP) de la Universidad de Arizona, Tucson. La obtención de imágenes se realizó como parte de la investigación sobre Mortensen llevada a cabo por el autor en el CCP en 2022.

El principal objetivo de esta investigación era comprender la práctica de Mortensen en el cuarto oscuro. Como fotógrafo pictórico, su técnica implicaba una considerable manipulación de la imagen fotográfica utilizando técnicas como negativos de papel retocados e interpositivos e internegativos retocados múltiples para alterar las imágenes. Posteriormente también retocaba sus impresiones acabadas para crear una imagen de apariencia fotográfica pero con un considerable grado de modificación manual. Para entender cómo conseguía sus imágenes finales, se reconstruyeron estos múltiples pasos utilizando material didáctico producido por Mortensen en la década de 1930.

La técnica de Mortensen había alcanzado un grado de desarrollo muy refinado, y una inspección visual de sus impresiones acabadas no permite comprender del todo los procesos que usaba, por lo que las impresiones se fotografiaron con una cámara modificada. Las imágenes estándar en falso color UV e IR revelaron el alcance de las manipulaciones de Mortensen en la imagen; sin embargo, las imágenes de reflectancia y luminiscencia en la banda de 650-950 nm comentadas en este capítulo revelaron información granular sobre retoques localizados

the technique of imaging multiple bands in reflected and luminescent IR builds on the work of Chen & Smith (2019), who described protocols for multimodal imaging to document photographs using longpass filters.

This multiband technique is referred to by the author as Multiband IR (MBIR), an umbrella term containing both reflectance (multiband IR reflectance MBRIR) and induced luminescence (visible induced visible and IR luminescence MBIRLum, and UV induced visible and IR luminescence UV_VIS-IRLum). MBIR can reveal further information that is highly complementary to current standard imaging protocols. Further, it is both practical and cost effective, requiring only three additional filters, a standard multiband kit, and no additional training for an imaging technician.

Instrumentation and Protocols

The imaging of the Metalchrome prints was done in the conservation lab of the CCP, using a modified Nikon D750 with the IR filter removed by LDP LLC. The imaging was carried out using a Jenoptik CoastalOpt UV-VIS-IR 60mm f4.0 APO Macro lens. The capture information is summarized in Table 1.

The visible (VIS) imaging was carried out using 2 Connolux LED lamps and a XNite CC1 filter on the lens. The UV induced visible luminescence (UVL), UV reflectance (UVR), and UV induced visible and IR luminescence (UV_VIS-IRLum) imaging was carried out using two UV LED lamps, with measured output peak at 370 nm, as incident sources. For UVL, a Wratten 2E filter and a HOYA UV/IR block filter were added to the XNite CC1 filter on the lens. UV_VIS-IRLum was captured using two filters, firstly, with an XNite BPB, and then with an XNite BPG filter. UVR was captured using an XNite CC1 filter

y aplicación de colorantes. En este caso, la técnica de obtención de imágenes de múltiples bandas en IR reflejado y luminiscente se basa en el trabajo de Chen y Smith (2019), quienes describieron protocolos de obtención de imágenes multimodales para documentar fotografías utilizando filtros de paso largo.

El autor denomina a esta técnica multibanda IR (MBIR), un término genérico que engloba tanto la reflectancia (reflectancia IR multibanda MBRIR) como la luminiscencia inducida (luminiscencia visible e infrarroja inducida por visible MBIRLum, y luminiscencia visible e infrarroja inducida por UV UV_VIS-IRLum). La MBIR puede revelar información adicional que complementa en gran medida los actuales protocolos estándar de obtención de imágenes. Además, es práctica y rentable, ya que sólo requiere tres filtros adicionales, un kit multibanda estándar y ninguna formación adicional para un técnico de imagen.

Instrumentación y protocolos

La obtención de imágenes de las impresiones de metal cromado se realizó en el laboratorio de conservación del CCP, utilizando una Nikon D750 modificada con el filtro de corte IR retirado por LDP LLC. Las imágenes se tomaron con un objetivo Jenoptik CoastalOpt UV-VIS-IR 60mm f4.0 APO Macro lens. La información de captura se resume en la Tabla 1.

Las imágenes visibles (VIS) se obtuvieron utilizando dos lámparas LED Connolux y un filtro XNite CC1 en el objetivo. Las imágenes de luminiscencia visible inducida por UV (UVL), reflectancia UV (UVR) y luminiscencia visible e IR inducida por UV (UV_VIS-IRLum) se obtuvieron utilizando dos lámparas LED UV, con un pico de salida medido a 370 nm como fuentes incidentes. Para UVL, se añadieron un filtro Wratten 2E y un filtro de bloqueo HOYA UV/IR al filtro XNite CC1 del objetivo. La UV_VIS-IRLum se capturó utilizando dos filtros, primero con un XNite

Table 1 | Summary of Imaging Modalities used. **Tabla 1 |** Resumen de las modalidades de imagen usadas.

Abbreviation / Abreviatura	Imaging Modality / Modalidad de imagen	Illumination / Iluminación	Lens Filtration / Filtración en la lente	Wavelength Range / Rango de longitudes de onda	Channel Substitution / Sustitución de canales	Final Output / Resultado final
VIS	Visible Reflectance / Reflectancia visible	2 x Connolux LEDs	XNite CC1 + HOYA UV/IR Block Filter	400-700 nm		Observed as is / Imagen en VIS (observada tal cual)
UVR	UV Reflectance / Reflectancia UV	2 x 370 nm UV LED	XNite CC1+ XNite XDP Filters	360- 400 nm	B: UVR image / B: imagen UVR G: VIS_B image / G: imagen UVR R: VIS_G image / R: imagen VIS_G	UV False Colour (UVFC)
UVL	UV Induced Visible Luminescence / Luminiscencia visible inducida por UV		XNite CC1 + HOYA UV/IR Block + Wratten 2E Filters	420-700 nm		Observed as is / Imagen UVL (observada tal cual)
UVL_BPB	UV Induced Visible Luminescence / Luminiscencia visible inducida por UV		XNite BPB Filter	662-753 nm FWHMa	B: UVL_R Image / B: imagen UVL_R G: UVL_BPB image / G: imagen UVL_BPB R: UVL_BPG image / R: imagen UVL_BPG	UV induced Visible/ IR Luminescence image (UV_VIS-IRLum) / Imagen de luminiscencia IR inducida por UV
UVL_BPG	UV Induced IR Luminescence / Luminiscencia IR inducida por UV		XNite BPG Filter	795-860 nm FWHMa (LDP.LLC, Bandpass IR, n.d.)		
RIR_BPB	IR Reflectance (RIR) Bandpass / IR Reflectancia (RIR) banda pasante	2 x Photographic Flash Modelling Light (Halogen Lamp / Halógena)	XNite BPB Filter	662-753 nm FWHMa	B: RIR_BPB image / B: imagen RIR_BPB G: RIR_BPG image / G: imagen RIR_BPG R: RIR_BPR image / R: imagen RIR_BPR	Multiband IR Reflectance Image (MBRIR) / Imagen multibanda de reflectancia IR (MBRIR)
RIR_BPG			XNite BPG Filter	795-860 nm FWHMa		
RIR_BPR			XNite BPR Filter	921-958 nm FWHMa		
RIR	IR Reflectance (RIR) / IR Reflectancia (RIR)		XNite 715 Longpass Filter	50% cut on 715 nmb / Corte en 715 nm	B: VIS_G image / B: imagen VIS_ G: VIS_R image / G: imagen VIS_R R: RIR image / R: image RIR	IR False Colour Image (IRFC) / Imagen en falso color IR (IRFC)
VIVL_BPB	Visible Induced Visible Luminescence (VIVL) / Luminiscencia visible inducida por luz visible (VIVL)	White LED floodlamp with Schott BG38 filter / White LED floodlamp con filtro Schott BG38	XNite BPB Filter	662-753 nm FWHM	B: VIVL_BPB image / B: imagen VIVL_BPB G: VIVI_BPG image / G: imagen VIVI_BPG R: VIVL_BPR image / R: imagen VIVL_BPR	Multiband Visible Induced IR Luminescence Image (MBIRLum) / Imagen multibanda VIVL (MBIVL)
VIL_BPG	Visible Induced IR Luminescence (VIL) / Luminiscencia IR inducida por luz visible (VIL)		XNite BPG Filter	795-860 nm FWHM		
VIL_BPR			XNite BPR Filter	921-958 nm FWHM		

a. Wavelength ranges from LDP LLC "Bandpass IR Filters" (n.d.).

b. Filter information from LDP LLC "Filter Technical Overview (n.d.).

combined with an XNite XDP filter. Visible induced visible and infrared luminescence (MBIRLum) was induced using a LED work lamp filtered through a Schott BG38 filter.

IR reflectance (RIR and MBRIR) imaging was carried out using two halogen modelling lamps as incident radiation sources. Traditional IR reflectance (RIR) images were captured using a XNite 715 nm longpass filter on the lens. Multiband IR reflectance (MBRIR) was captured using XNite BPB, XNite BPG, and XNite BPR filters on the lens. The manufacturer reports their transmission FWHM at 662-753 nm, 795-860 nm, and 921-958 nm respectively (LDP LLC 'Bandpass IR', n.d.). The transmission spectra for the filters were captured by the writer using a AESQ LR1 spectrometer and are reproduced in Figure 1.

The Visible induced visible and infrared luminescence (MBIRLum) images were captured using the XNite BPB, BPG, and BPR filters. Additionally, visible induced IR luminescence (VIL) was captured through an XNite 715 nm long pass filter on the lens.

Exposure consistency was maintained using multiple standards. For VIS, the AIC PhD target with the N8 grey patch was used for white balancing. A PTFE based 98% reflectance standard WS2 produced by Avantes was used for keeping consistent levels in each of the VIS, RIR, and UVR, with all reflectance levels being set to 90% on the tile.

The luminescence images in all modes were later curve corrected in accordance with the protocols dictated in the UVL standard as produced by UV Innovations (2018). The UVL images were captured with a prototype UVL standard housed at the CCP. This prototype was for the UV Innovations target and was given to CCP Senior Conservator Dana Hemmenway by the manufacturer.

BPB y después con un filtro XNite BPG. La UVR se capturó utilizando un filtro XNite CC1 combinado con un filtro XNite XDP. La luminiscencia visible e infrarroja inducida por visible (MBIRLum) se indujo utilizando una lámpara de trabajo LED filtrada a través de un filtro Schott BG38.

Las imágenes de reflectancia IR (RIR y MBRIR) se realizaron utilizando dos lámparas halógenas de modelado como fuentes de radiación incidente. Las imágenes de reflectancia IR tradicionales (RIR) se capturaron utilizando un filtro de paso largo XNite de 715 nm en el objetivo. La reflectancia IR multibanda (MBRIR) se capturó utilizando filtros XNite BPB, XNite BPG y XNite BPR en la lente. El fabricante informa de su transmisión en FWHM a 662-753 nm, 795-860 nm y 921-958 nm respectivamente (LDP LLC 'Bandpass IR', s.f.). El autor obtuvo los espectros de transmisión de los filtros con un espectrómetro AESQ LR1 y se reproducen en la Figura 1.

Las imágenes de luminiscencia visible e infrarroja inducida por visible (MBIRLum) se capturaron utilizando los filtros XNite BPB, BPG y BPR. Además, la luminiscencia IR inducida por visible (VIL) se capturó a través de un filtro de paso largo XNite de 715 nm en el objetivo.

La consistencia de la exposición se mantuvo utilizando múltiples estándares. Para el VIS, se utilizó el blanco AIC PhD con el parche gris N8 para el balance de blancos. Se utilizó un patrón WS2 de 98% de reflectancia basado en PTFE producido por Avantes para mantener niveles consistentes en cada uno de los VIS, RIR y UVR, con todos los niveles de reflectancia ajustados al 90% en la tarjeta.

Las imágenes de luminiscencia en todos los modos se corrigieron posteriormente en curva de acuerdo con los protocolos dictados en el estándar UVL elaborado por UV Innovations (2018). Las imágenes UVL se capturaron con un prototipo de estándar UVL alojado en el CCP. Este prototipo era para la tarjeta UV Innovations y fue entregado por el fabricante a la conservadora jefe del CCP, Dana Hemmenway.

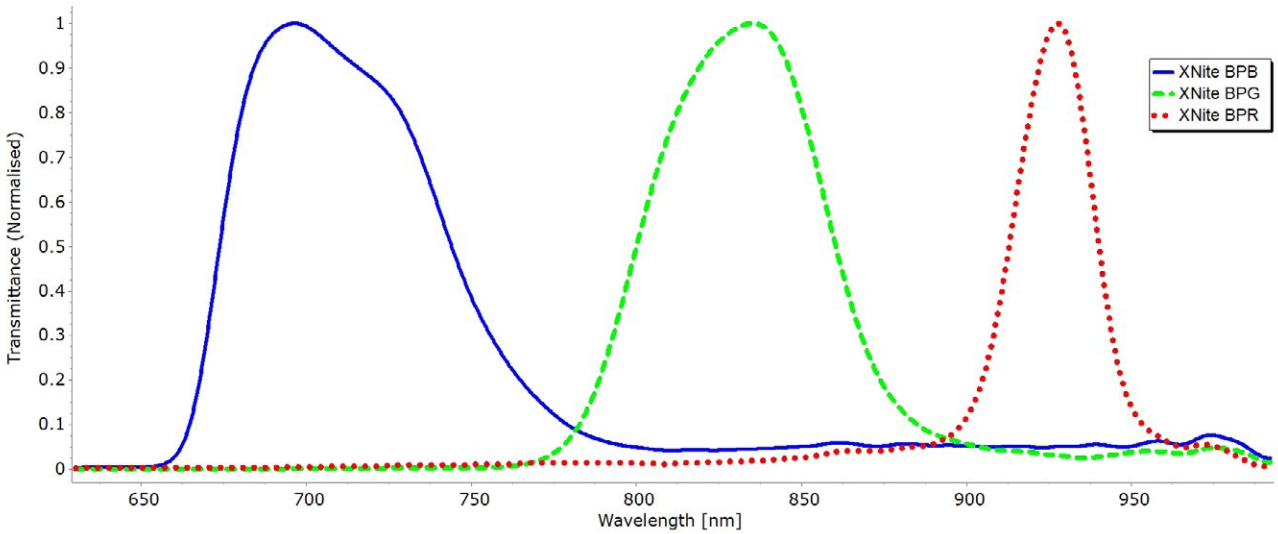


Figure 1 | Comparative transmission spectra of XNite BPB (blue), BPG (green), and BPR filters (red).

Figura 1 | Espectros de transmisión comparativos de los filtros XNite BPB (azul), BPG (verde) y BPR (rojo).

As there are no current standards available for consistent MBIRLum images, improvisation was key for capturing consistent images that luminesced from 650-950 nm. The luminescence BPB and BPG exposures were calibrated with the red swatch on the PhD target, which luminesces in those specific bands. The BPG band is also where the luminescence band of Egyptian blue starts, with Accorsi et al. showing luminescence beginning at approximately 800 nm (Accorsi et al., 2009, fig. 2 p.3393). Knowing this, a swatch of Egyptian blue in Aquazol was created and used at the CCP to adjust the exposure, making sure the same degree of clipping was present between the BPG and BPR exposures. While this method shifts the exposures so that the BPR and BPG exposures are higher than strictly necessary, the increased result

Dado que actualmente no se dispone de normas para obtener imágenes MBIRLum coherentes, la improvisación fue clave para capturar imágenes de luminiscencia coherentes, entre los 650 y los 950 nm. Las exposiciones de luminiscencia BPB y BPG se calibraron con la muestra roja de la carta de color PhD, que presenta luminiscencia en esas bandas específicas. La banda BPG es también donde comienza el fenómeno de luminiscencia del azul egipcio, y Accorsi *et al.* muestran que la luminiscencia comienza aproximadamente a 800 nm (Accorsi *et al.*, 2009, fig. 2 p.3393). Sabiendo esto, se creó una muestra de azul egipcio en Aquazol y se utilizó en el CCP para ajustar la exposición, asegurándose de que hubiera el mismo grado de recorte entre las exposiciones BPG y BPR. Aunque este método desplaza las exposiciones de modo que las exposiciones BPR y BPG son más altas de lo estrictamente necesario, se

was found to be better in separating materials based on their luminescence. The same protocol was used for the UV_VIS-IRLum.[1]

The images of the hand-coloured photos at the CCP were captured with a tethered setup using Adobe Lightroom, and all RAW processing was done in the same program. The processed files were further processed via FIJI, which is an expanded version of the software Image J. Most of the work done at this stage involved registration of the images taken via the different modes, and then combining them into false colour images. Registration is necessary as any movement in the subject can cause visible fringes due to misalignment in the finished image, complicating the analysis.

To register the multiple images, they were imported into FIJI and stacked. The BPR, BPG, and BPB images were placed in the stack for both the MBRIR and MBIRLum. The specific order of BPR, BPG, and BPB is necessary as FIJI reads the stack as a RGB stack, rather than a BGR stack. They were then aligned using Linear Stack Alignment with Sift plugin (Lowe, 2004), available through: Plugins>Registration. Here, the Geometric Consensus filter was adjusted so that the maximal alignment error was 1 px, and the expected transformation was adjusted between Rigid, Similarity, and Affine to give best results. The aligned images were converted to false colour images via stack manipulations and made RGB by the Stack to RGB command: Image> Colour.

comprobó que el resultado aumentado era mejor para separar los materiales en función de su luminiscencia. Se utilizó el mismo protocolo para la UV_VIS-IRLum.[1]

Las imágenes de las fotos coloreadas a mano en el CCP se capturaron con una configuración fija utilizando Adobe Lightroom, y todo el procesado RAW se realizó en el mismo programa. Los archivos procesados se trataron posteriormente mediante FIJI, que es una versión ampliada del programa Image J. La mayor parte del trabajo realizado en esta fase consistió en encajar las imágenes tomadas con los distintos modos y luego combinarlas en imágenes de falso color. El encaje absoluto es necesario, ya que cualquier movimiento puede provocar franjas visibles por la desalineación en la imagen final, lo que complica el análisis.

Para registrar las imágenes múltiples, se importaron a FIJI y se apilaron. Las imágenes BPR, BPG y BPB se colocaron en la pila tanto para MBIRR como para MBIRLum. El orden específico de BPR, BPG y BPB es necesario ya que FIJI lee la pila como una pila RGB, en lugar de una pila BGR. A continuación, se alinearon utilizando Linear Stack Alignment con el plugin Sift (Lowe, 2004), disponible a través de: Plugins>Registration. Aquí, el filtro de Geometric Consensus se ajustó para que el error máximo de alineación fuera de 1 px, y la transformación esperada se ajustó entre Rigid, Similarity and Affine para obtener los mejores resultados. Las imágenes alineadas se convirtieron en imágenes de falso color mediante manipulaciones de pila y se convirtieron en RGB mediante el comando Stack to RGB: Image> Colour.

[1] Alternatively, a 'filter factor' approach was also attempted, wherein an exposure factor for the three filters was calculated, which gave consistent exposure levels on the WS2 standard in reflectance imaging. These filter factors could then be applied to the luminescence imaging, using the BPB (650-750 nm) exposure as a baseline. The BPB exposure can easily be kept consistent, as a tile in the AIC PhD standard exhibits visible induced visible luminescence.

[1] Como alternativa, podría adoptarse un enfoque de "factor de filtro", en el que se calculase un factor de exposición para los tres filtros, que proporcionase niveles de exposición coherentes en el patrón WS2 en las imágenes de reflectancia. A continuación, estos factores de filtro podrían aplicarse a las imágenes de luminiscencia, utilizando la exposición BPB (650-750 nm) como línea de base. La exposición BPB puede mantenerse constante fácilmente, ya que un azulejo del patrón AIC PhD presenta luminiscencia visible inducida.

Mortensen Metalchrome Photographs

Background

William Mortensen (1897-1965) was an American pictorialist photographer and a frequent contributor to *Camera Craft* magazine. Known for his extensively retouched photographs and his innovative techniques, today he is most known for his debates with Ansel Adams in *Camera Craft* over pictorialism vs 'straight' photography as practiced by group F64, of which Adams was a member (Peres, 2008, p. 186). Most writing about American photography glosses over Mortensen, with recent exceptions being the work of Dawson et al. in *William Mortensen: A Revival* (Dawson et al., 1998). Even so, there is a dearth of in-depth information about Mortensen's technique and considerable misunderstanding. For example, Peres in *The Concise Focal Encyclopedia of Photography*, suggests that the Metalchrome technique was a variant of the Bromoil Process, which is not the case (Peres, 2008, p. 186).[2]

The Mortensen 'Metalchrome' process involves taking a developed-out silver gelatine print, and chemically toning it with sulphur and then gold. A silver gelatine print that is merely toned with sulphur turns from 'black and white' to 'sepia' resulting in a silver sulphide image. A subsequent toning step with a gold toner then converts the silver sulphide image to a red-coloured image of currently unknown image-grain structure. This image is then painted using synthetic dyes. Areas of emulsion are selectively abraded through a process called razoring to expose the barium sulphate 'baryta' layer below. The result of the process is a photograph with colour in the form

[2] Mortensen did have a dichromated colloid based process, which he referred to as his 'Pigment' process, but it was related to the gum bichromate, rather than Bromoil process as the binding media used was 'vano', a modifed starch marketed as a laundry starch.

Las fotografías metalcromas de Mortensen

Antecedentes

William Mortensen (1897-1965) fue un fotógrafo pictorialista estadounidense y colaborador habitual de la revista Camera Craft. Conocido por sus fotografías ampliamente retocadas y sus técnicas innovadoras, hoy en día se le conoce sobre todo por sus debates con Ansel Adams en *Camera Craft* sobre el pictorialismo frente a la fotografía "directa" practicada por el grupo F64, del que Adams era miembro (Peres, 2008, p. 186). La mayoría de los escritos sobre fotografía estadounidense pasan por alto a Mortensen, con la reciente excepción del trabajo de Dawson *et al.* en *William Mortensen: A Revival* (Dawson *et al.*, 1998). Aun así, existe una escasez de información en profundidad sobre la técnica de Mortensen y un considerable desconocimiento. Por ejemplo, Peres, en *The Concise Focal Encyclopedia of Photography*, sugiere que la técnica Metalchrome era una variante del *Bromoil* Process, lo que no es cierto (Peres, 2008, p. 186). [2]

El proceso "Metalchrome" de Mortensen consiste en tomar una impresión de gelatina de plata revelada y tonificarla químicamente con azufre y oro. Una impresión de gelatina de plata que sólo se tonifica con azufre pasa de "blanco y negro" a "sepia", lo que da como resultado una imagen de sulfuro de plata. Un paso posterior de tonificación con un tóner de oro convierte la imagen de sulfuro de plata en una imagen de color rojo. A continuación, esta imagen se pinta con tintes sintéticos. Las zonas de la emulsión se desgastan selectivamente mediante un proceso denominado "rasurado" para exponer la capa de sulfato de bario "baritado" que se encuentra debajo. El resultado del proceso es una fotografía con color en forma

[2] Mortensen tenía un proceso basado en coloides bicromatados, al que se refería como su proceso "Pigment", pero estaba relacionado con el bicromato de goma, más que con el proceso Bromoil, ya que el medio aglutinante utilizado era el "vano", un almidón modificado comercializado como almidón de lavandería.

Figure 2 | Mortensen, W. (c. 1938) *Woman in lather*, Metalchrome Hand-coloured Silver Gelatine print, image size 34.4×26.4 cm, overall size, 51.1×36.5 cm. Centre for Creative Photography, Tucson, Az.; 83.57.2. Imaging standards from top, clockwise: Avantes WS2 PTFE reflectance standard, Prototype UVL standard, Egyptian blue in Aquazol, and AIC PhD Target.

Figura 2 | Mortensen, W. (c. 1938), *Mujer enjabonada*, copia metalchrome sobre gelatina de plata coloreada a mano. Tamaño de imagen: 34,4×26,4 cm; dimensiones totales: 51,1×36,5 cm. Centre for Creative Photography, Tucson, AZ; núm. de inventario 83.57.2. Estándares de imagen mostrados desde la parte superior, en el sentido de las agujas del reloj: patrón de reflectancia Avantes WS2 PTFE, estándar UVL prototipo, azul egipcio en Aquazol y carta AIC PhD Target.

of a red-coloured silver-sulphur-gold image layer, and a layer of coloured-dye that is absorbed into the gelatine layer. The following dyes are recommended in Grey Silva's (1970, p. 20) article on the Metalchrome process: "Tricolour Blue (Cobalt Blue), Tricolour yellow (Lemon Yellow), Tricolour Red (Crimson Lake), Tricolour Blue and Red, and Tricolour yellow with Red". At this date, the dyes' chemical composition has not been identified.

The Metalchrome image discussed here is hard to visually identify as hand-coloured (Figure 2). There is no differential gloss, no evident strokes, and no relief. This is because, as previously mentioned, the colours applied are dyes which penetrate the gelatine surface, and not a pigment-binder system which sits on the gelatine and alters the reflectance of the

de una capa de imagen de color rojo plata-azufre-oro, y una capa de tinte coloreado que se absorbe en la capa de gelatina. En el artículo de Grey Silva (1970, p. 20) sobre el proceso *Metalchrome* se recomiendan los siguientes tintes: "Azul tricolor (Azul cobalto), Amarillo tricolor (Amarillo limón), Rojo tricolor (Laca carmín), Azul tricolor y rojo, y Amarillo tricolor con rojo". Hasta la fecha no se ha identificado la composición química de los tintes.

La imagen metalcroma que aquí se analiza es difícil de identificar visualmente como coloreada a mano (Figura 2). No hay brillo diferencial, ni trazos evidentes, ni relieve. Esto se debe, como ya se ha dicho, a que los colores aplicados son tintes que penetran en la superficie de gelatina, y no un sistema de pigmento aglutinante que se asienta sobre la gelatina y altera la reflectancia de la superficie. Por lo tanto, las técnicas habituales de

surface. Thus, the usual techniques of visual inspection, such as raking, coaxial light, etc. cannot discern the applied colours, as the surface is not interrupted by applied media.

Imaging and Discussion

Much like the VIS image, neither UVL nor UVFC show traces of applied media (Figure 3). Generally, there are multiple materials in photographs which do luminesce. The paper support luminesces, as does the gelatine.[3] No localised UVL emission is apparent in this Metalchrome, giving the impression that the colour layers make up the image and are not applied on top. Similarly, UVFC show areas of absorption in the UV band, which can be modulated through certain photographic additives, as well as colourants and other applied media but no localized anomalies are apparent. In the Metalchrome UVFC, the AIC PhD target's neutral patches turned yellow, a known behaviour indicating absorbance in UV, while the shift in the image is overall green. Thus, a shift is more likely to happen in an image where there are no blue colours suggesting no localised absorption for the colours. Further, the tonal relationships did not change, suggesting that the colourants have similar absorption in UV.

Only in IRFC did the behaviour of the Metalchrome change from what appears to be a colour photograph to something made of applied media. The figure shifts to red in IRFC indicating high reflectance in IR, however, the tonal relationships in her eyes and background do not change. Further, the border between the figure and the background is strongly non-photographic, with sharp lines which do not conform to the figure itself, indicating application with a brush. This gives the first hint that the image is at least partially made of applied media. A single RIR image, however, does

[3] Note that optical brighteners were incorporated in photographic paper in approximately the 1950's, nearly 20 years after this print was made. See Conners-Rowe et al. (2007).

inspección visual, como la luz rasante, la luz coaxial, etc. no pueden discernir los colores aplicados, ya que la superficie no se ve interrumpida por los medios aplicados.

Imágenes y debate

Al igual que la imagen VIS, ni la UVL ni la UVFC muestran rastros de medios aplicados (Figura 3). Por lo general, en las fotografías hay varios materiales que presentan luminiscencia. El soporte de papel presenta luminiscencia, al igual que la gelatina.[3] En esta Metalchrome no se aprecia ninguna emisión UVL localizada, lo que da la impresión de que las capas de color componen la imagen y no están aplicadas encima. Del mismo modo, las UVFC muestran zonas de absorción en la banda UV, que pueden modularse mediante determinados aditivos fotográficos, así como colorantes y otros medios aplicados. En la UVFC Metalchrome, las manchas neutras del blanco AIC PhD se volvieron amarillas, un comportamiento conocido que indica absorción en UV, mientras que el desplazamiento en la imagen es verde en general. Así pues, es más probable que se produzca un desplazamiento en una imagen en la que no hay colores azules, lo que sugiere que no hay absorción localizada para los colores. Además, las relaciones tonales no cambiaron, lo que sugiere que los colorantes tienen una absorción similar en UV.

Sólo en IRFC el comportamiento del Metalchrome cambia de lo que parece ser una fotografía en color a algo hecho con medios aplicados. La figura pasa al rojo en IRFC, lo que indica una alta reflectancia en IR, sin embargo, las relaciones tonales en sus ojos y el fondo no cambian. Además, el borde entre la figura y el fondo es muy poco fotográfico, con líneas nítidas que no se ajustan a la propia figura, lo que indica una aplicación con pincel. Esto da la primera pista de que la imagen está hecha, al menos parcialmente, con medios aplicados. Una sola imagen RIR, sin embargo, no proporciona mucha

[3] Nótese que los blanqueadores ópticos se incorporaron al papel fotográfico aproximadamente en la década de 1950, casi 20 años después de que se realizara esta impresión. Véase Conners-Rowe *et al.* (2007).

Figure 3 | *Woman in lather*, multiband montage. Top Row, Left: VIS. Right: UVL; Middle Row: Left: UVFC, right: IRFC; Bottom Row: Left: MBRIR, Right: MBIRLum.

Figura 3 | *Mujer enjabonada*, montaje multibanda. Fila superior, izquierda: VIS. Derecha: UVL; Fila central: Izquierda: UVFC, derecha: IRFC; Fila inferior: Izquierda: MBIR, Derecha: MBIRLum.

Figure 4 | Comparison of MBRIR (left) and RIR (right) images of *Woman in lather* illustrating the advantages of the colours of the MBRIR image to highlight and differentiate spectral behaviour of different features.

Figura 4 | Comparación de las imágenes MBRIR (izquierda) y RIR (derecha) de la *Mujer enjabonada* que ilustra las ventajas de los colores de la imagen MBRIR para resaltar y diferenciar el comportamiento espectral de los distintos rasgos.

not provide much insight into the spectral behaviour of the photograph. When captured through three bandpass filters, as described in the previous section, interesting trends emerge.

While the traditional RIR and MBRIR images both show the same overall image (Figure 4), the MBRIR image has a distinct advantage of having colours. The figure appears yellow in colour, suggesting that there is a certain absorbance in the BPB channel, but not in the BPG or BPR channels. In contrast, the hair appears reddish, suggesting that the absorption in this region extends into the BPG range. The spots above the shoulder of the model are yellow as well, suggesting that a dye with absorption in the BPB was used to locally retouch the area. The eyes appears black, suggesting that the colourant used here absorbs in all three bands.

información sobre el comportamiento espectral de la fotografía. Cuando se captura a través de tres filtros de paso de banda, como se describe en la sección anterior, surgen tendencias interesantes.

Mientras que las imágenes tradicionales RIR y MBRIR muestran ambas la misma imagen global (Figura 4), la imagen MBRIR tiene la clara ventaja de disponer de colores. La figura aparece de color amarillo, lo que sugiere que hay cierta absorbancia en el canal BPB, pero no en los canales BPG o BPR. En cambio, el pelo aparece de color rojizo, lo que sugiere que la absorción en esta región se extiende hasta el canal BPG. Las manchas por encima del hombro de la modelo también son amarillas, lo que sugiere que se utilizó un tinte con absorción en el BPB para retocar localmente la zona. Los ojos siguen siendo negros, lo que sugiere que el tinte utilizado aquí absorbe en las tres bandas.

Simply put, the MBRIR images 'read' much like visible light images, and the same principles of additive and subtractive colour mixing used to interpret real colours can be used to interpret the MBRIR images, with the benefit of being able to 'see' into the IR range.

Extending the metaphor of 'seeing' into IR further, we can also attempt to study the behaviour of the photograph when irradiated with UV (UV_VIS-IRLum). Here, the object is irradiated with UV radiation (365 nm), much like UVL, but instead longer wavelength bands are recorded: red (from the UVL image), BPB, and BPG. A comparison of this modality to a traditional UVL image is instructive (Figure 5). Moving from outside of the image towards the centre in the UV_VIS-IRLum image, we can observe the traces of luminescence of the board and the paper, both of which appear to luminesce at approximately the same level. The Egyptian blue swatch is faintly red, suggesting there are traces of luminescence therein, possibly due to stray visible light.[4] The luminescence in the figure is as important to note as the areas which do not luminesce: the wall does not luminesce and neither does the retouched spot on the wall that is visible in the IRFC image. This suggests that there is localised application of colourant to the figure, which is excited by UV and emits in the VIS-IR range.

While the colourants had similar behaviour inthe figure and the wall in IR reflectance, this is not the case in UV_VIS-IRLum suggesting different colourants. The edge of the bathtub luminesces neutral, suggesting a broad luminescence across all bands. There are traces of red on the hair and the bottom of the torso, where the colourant mostly luminesces in the BPG band, much like the Egyptian blue, but the rest of the torso luminesces yellow, suggesting

En pocas palabras, las imágenes MBRIR se "leen" de forma muy parecida a las imágenes de luz visible, y los mismos principios de mezcla aditiva y sustractiva de colores que se utilizan para interpretar los colores reales pueden utilizarse para interpretar las imágenes MBRIR, con la ventaja de poder "ver" en la gama de infrarrojos.

Ampliando aún más la metáfora de "observar" en IR, también podemos intentar estudiar el comportamiento de la fotografía cuando se irradia con UV (UV_VIS-IRLum). En este caso, el objeto se irradia con radiación UV (365 nm), de forma muy parecida a la UVL, pero en su lugar se registran bandas de longitud de onda más largas: rojo (de la imagen UVL), BPB y BPG. La comparación de esta modalidad con una imagen UVL tradicional es instructiva (Figura 5). Desplazándonos desde el exterior de la imagen hacia el centro en la imagen UV_VIS-IRLum, podemos observar las trazas de luminiscencia del cartón y del papel, que parecen luminiscentes aproximadamente al mismo nivel. La muestra de azul egipcio es ligeramente roja, lo que sugiere que hay restos de luminiscencia en ella, posiblemente debidos a luz visible dispersa.[4] La luminiscencia en la figura es tan importante como las zonas que no presentan luminiscencia: la pared no presenta luminiscencia y tampoco la mancha retocada en la pared que es visible en la imagen IRFC. Esto sugiere que hay una aplicación localizada de colorante en la figura, que se excita por UV y emite en el rango VIS-IR.

Mientras que los colorantes tenían un comportamiento similar en la figura y la pared en reflectancia IR, no ocurre lo mismo en UV_VIS-IRLum, lo que sugiere la existencia de colorantes diferentes. El borde de la bañera presenta una luminiscencia neutra, lo que sugiere una luminiscencia amplia en todas las bandas. Hay rastros de rojo en el pelo y en la parte inferior del torso, donde el colorante se ilumina principalmente en la banda BPG, como el azul egipcio, pero el resto del torso se ilumina de

[4] Egyptian blue's excitation peaks at approx. 600 nm with the start of the excitation curve below 500 nm. The emission is centered at 910 nm according to Accorsi et al. (2009, fig.2, p. 3393).

[4] La excitación del azul egipcio alcanza su máximo a unos 600 nm con el inicio de la curva de excitación por debajo de los 500 nm. La emisión se centra en 910 nm según Accorsi *et al.* (2009, fig.2, p. 3393).

Figure 5 | (*Left*) UVL (Right) UV_VIS-IRLum. Note the presence of different degrees of luminescence present in the UV_VIS-IRLum, suggesting different material compositions of areas, which is not immediately apparent in the UVL image.

Figura 5 | (*Izquierda*) UVL (Derecha) UV_VIS-IRLum. Obsérvese la presencia de diferentes grados de luminiscencia en la UV_VIS-IRLum, lo que sugiere diferentes composiciones materiales de las zonas, que no se aprecian inmediatamente en la imagen UVL.

a broad band of luminescence between the BPB and BPG bands. A patch on the shoulder luminesces blue, suggesting there is some luminescence in the UVL_R band, which is also evident in the traditional UVL image, where the area appears white, i.e. broadband luminescence.

We can take this analysis further and investigate the visible induced visible and IR luminescence (MBIRLum) image as well (Figure 6). The traditional VIL image shows the distribution of colourant, however, it cannot discriminate the spectral behaviour of the luminescence. The multiband IR luminescence technique, on the other hand, shows broad luminescence, as the figure is generally light, with the highest emission in the BPG band, hence the greenish hue.

amarillo, lo que sugiere una amplia banda de luminiscencia entre las bandas BPB y BPG. Una mancha en el hombro presenta luminiscencia azul, lo que sugiere que hay luminiscencia en la banda UVL_R, que también es evidente en la imagen UVL tradicional, donde la zona aparece blanca, es decir, luminiscencia de banda ancha.

Podemos llevar este análisis más allá e investigar también la imagen de luminiscencia visible e IR inducida (MBIRLum) (Figura 6). La imagen VIL tradicional muestra la distribución del colorante, pero no puede discriminar el comportamiento espectral de la luminiscencia. La técnica de luminiscencia IR multibanda, en cambio, muestra una luminiscencia amplia, ya que la figura es generalmente clara, con la mayor emisión en la banda BPG, de ahí el tono verdoso.

Figure 6 | Comparison of VIL (left) and MBIRLum (right) images of *Woman in lather* illustrating the advantages of the colours of the MBIRLum image to highlight and differentiate luminescence characteristics of different areas.

Figura 6 | Comparación de las imágenes VIL (izquierda) y MBIRLum (derecha) de *Mujer enjabonada* que ilustra las ventajas de los colores de la imagen MBIRLum para resaltar y diferenciar las características de luminiscencia de las distintas zonas.

The area on the lower torso of the figure does have somewhat different luminescence from the rest of the figure, indicated by a greener tone to the area, mirroring the behaviour observed in the UV_VIS-IRLum image. It is also interesting to note the difference between the luminescent behaviour of the photograph and the Egyptian blue standard, which shows a yellow colour in the MBIRLum image. Note that yellow in colour mixing is minus blue, indicating there is no emission in BPB in the Egyptian blue. This aligns with the spectral behaviour of Egyptian blue as recorded by Accorsi et al. (2009, fig. 2, p.3393). It also further suggests that the luminescence in the coloured areas of the photographs is more in the visible and the very near IR band, unlike the Egyptian blue.

Indeed, it is instructive to observe the difference between the UV_VIS-IRLum and the MBIRLum

La zona del torso inferior de la figura presenta una luminiscencia algo diferente a la del resto de la figura, indicada por un tono más verde de la zona, que refleja el comportamiento observado en la imagen UV_VIS-IRLum. También es interesante observar la diferencia entre el comportamiento luminiscente de la fotografía y el patrón azul egipcio, que muestra un color amarillo en la imagen MBIRLum. Obsérvese que el amarillo en la mezcla de colores es menos azul, lo que indica que no hay emisión en BPB en el azul egipcio. Esto concuerda con el comportamiento espectral del azul egipcio registrado por Accorsi *et al.* (2009, fig. 2, p.3393). También sugiere además que la luminiscencia en las zonas coloreadas de las fotografías se encuentra más en la banda visible y en el IR muy cercano, a diferencia del azul egipcio.

De hecho, resulta útil observar la diferencia entre las imágenes UV_VIS-IRLum y MBIRLum, ya que la longitud

Figure 7 | Mortensen, W. (c. 1938) *Woman in lather. (Left)* MBIRLum (Right) UV_VIS-IRLum. Note that while broadly similar areas luminesce in MBIRLum and UV_VIS-IRLum, indicating absorption from both the UV and the BG38 filtered white light excitation sources, the false colours show that the emissions differ to a degree, suggesting different materials, and/ or mixtures.

Figura 7| Mortensen, W. (c. 1938) *Mujer enjabonada. (Izquierda)* MBIRLum (Derecha) UV_VIS-IRLum. Obsérvese que, si bien en MBIRLum y en UV_VIS-IRLum las zonas luminiscentes son muy similares, lo que indica absorción tanto de la luz UV como de las fuentes de excitación de luz blanca filtrada BG38, los falsos colores muestran que las emisiones difieren en cierta medida, lo que sugiere la existencia de diferentes materiales y/o mezclas.

images, as the excitation wavelength, in addition to different filtration, can capture different spectral effects (Figure 7). Here, it is apparent that while in the MBIRLum image, the overall emission peaks between the blue and green channel. However, the UV_VIS-IRLum image shows three distinct groups of colours: one that appears yellow, one red, and one blue/ purple in the false colour luminescence image.

Of course, a question remains, as to which can we attribute the transmission and luminescence behaviour observed in the photographs. Keep in mind that the hand-coloured photograph is a composite object, containing not just colourants, but also paper, gelatine, a silver-based image and possibly other post manufacture treatments that are not immediately

de onda de excitación, además de un filtrado diferente, puede captar distintos efectos espectrales (Figura 7). Aquí se aprecia que, mientras que en la imagen MBIRLum, la emisión global alcanza su punto máximo entre el canal azul y el verde. Sin embargo, la imagen UV_VIS-IRLum muestra tres grupos distintos de colores: uno que parece amarillo, otro rojo y otro azul/púrpura en la imagen de luminiscencia de falso color.

Por supuesto, queda la pregunta de a qué podemos atribuir el comportamiento de transmisión y luminiscencia observado en las fotografías. Téngase en cuenta que la fotografía coloreada a mano es un objeto compuesto, que contiene no sólo colorantes, sino también papel, gelatina, una imagen a base de plata y posiblemente otros tratamientos posteriores a la fabricación

discernible. Further, the spectral behaviour of the pre-tinting Metalchrome image in reflectance and luminescence also remains in question. To this writer's knowledge, no spectrometric study is available of the silver-sulphur-gold image. However, insight can be drawn from the reconstructions of the toned prints made by the author.

Reproduced here (Figure 8) are photographs that have been toned using the sulphur-gold toning technique. These trials were necessitated by the fact that the writer was not familiar with colour shift due to toning described by Silva (1970, p. 20). Furthermore, in darkroom practice, toning is a highly variable process, affected by the paper type, developer chemistry, etc. In the case of double toning, the complexity correspondingly increases. In the case of the sulphur-gold toning, the results were easily achieved using Silva's directions, and were subsequently imaged using the MBIR protocols.

Of primary interest is the luminescence, hitherto undescribed in literature, whose behaviour in MBIRLum corresponds to the luminescence in the Metalchrome. Note that the unprinted border also luminesces, but less so than the luminescence in the image area. Further, the luminescence corresponds to the actual image, rather than the inverse, wherein the luminescence image would appear as a negative image. This suggests that the luminescent material is the silver-sulphur-gold image, rather than the base luminescing and the image layer obscuring the luminescence proportionally to its density.[5] Figure 9 shows the individual components of the MBIRLum image,

que no son inmediatamente perceptibles. Además, el comportamiento espectral de la imagen *Metalchrome* previa al tintado en reflectancia y luminiscencia también queda en entredicho. Que el autor sepa, no se dispone de ningún estudio espectrométrico de la imagen de plata-azufre-oro. Sin embargo, se pueden extraer algunas conclusiones de las reconstrucciones de las impresiones entonadas realizadas por el autor.

Se reproducen aquí (Figura 8) fotografías que han sido viradas con la técnica de virado azufre-oro. Estas pruebas fueron necesarias porque el autor no estaba familiarizado con el cambio de color debido a la tonificación descrita por Silva (1970, p. 20). Además, en la práctica del cuarto oscuro, la tonificación es un proceso muy variable, afectado por el tipo de papel, la química del revelador, etc. En el caso de la doble tonificación, la complejidad aumenta proporcionalmente. En el caso de la tonificación azufre-oro, los resultados se obtuvieron fácilmente siguiendo las indicaciones de Silva, y posteriormente se obtuvieron imágenes utilizando los protocolos de la MBIR

De interés primordial es la luminiscencia, hasta ahora no descrita en la literatura, cuyo comportamiento en MBIRLum corresponde a la luminiscencia en el *Metalchrome*. Obsérvese que el borde no impreso también presenta luminiscencia, pero en menor medida que la luminiscencia en la zona de la imagen. Además, la luminiscencia corresponde a la imagen real, y no a la inversa, en la que la imagen luminiscente aparecería como una imagen negativa. Esto sugiere que el material luminiscente es la imagen de plata-azufre-oro, en lugar de la luminiscencia de base, y que la capa de imagen oscurece la luminiscencia proporcionalmente a su densidad.[5] La Figura 9 muestra

[5] Trials also suggest that a purely gold toned silver gelatine image also shows IR luminescence, albeit, of a longer wavelength, but the phenomenon was discovered post facto, and further investigations could not be conducted. It should also be kept in mind that chemical toning reactions have their own unique behaviors. Sulphur toning proceeds from the highlights to the shadows, selenium works from shadows to highlights, and gold toning works on the entire image at the same time. It is yet unexplored how this affects the luminescence behavior.

[5] Los ensayos también sugieren que una imagen de gelatina de plata con un tono puramente dorado también muestra luminiscencia IR, aunque de una longitud de onda más larga, pero el fenómeno se descubrió a posteriori y no se pudieron realizar más investigaciones. También hay que tener en cuenta que las reacciones químicas de tonificación tienen sus propios comportamientos. El tono azufre va de las luces a las sombras, el selenio va de las sombras a las luces y el tono oro actúa sobre toda la imagen al mismo tiempo. Aún no se ha estudiado cómo afecta esto al comportamiento de la luminiscencia.

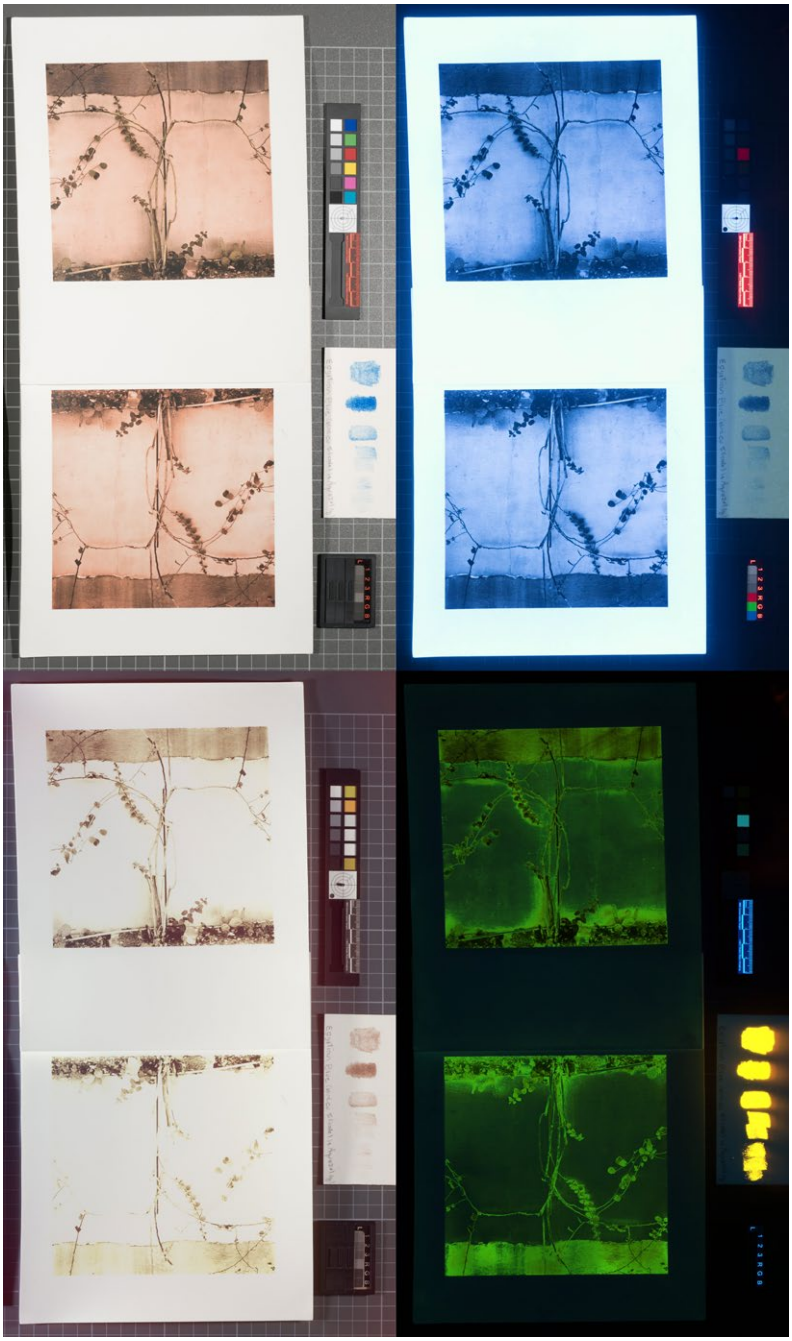


Figure 8 | Mortensen Metalchrome Reconstruction, Toning trials. Clockwise from Top left: Vis, UVL, MBIRLum, MBRIR.

Figura 8 | Reconstrucción de metalcroma de Mortensen, ensayos de tonificación. En el sentido de las agujas del reloj, desde arriba a la izquierda: Vis, UVL, MBIRLum, MBRIR.

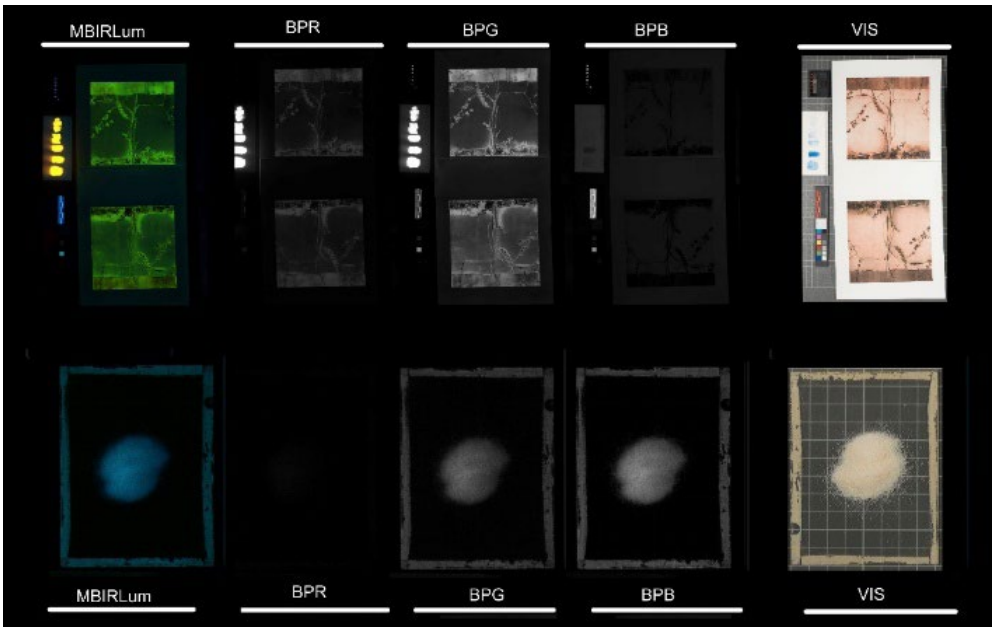


Figure 9 | Comparison of visible induced IR luminescence of sulphur-gold toned reconstruction (top) and bulk gelatine and proteinaceous adhesive on glass (bottom).

Figura 9 | Comparación de la luminiscencia IR inducida en el visible de la reconstrucción con azufre y oro (arriba) y de la gelatina a granel y el adhesivo proteínico sobre vidrio (abajo).

showing that the maximum luminescence occurs in the band captured by the XNite BPG filter. Notably, gelatine also luminesces when excited using visible light, however, its luminescence mostly occurs in the band of the XNite BPB filter.

Also of interest is the reflectance behaviour of the toned photographs. In MBRIR mode the image is distinctly faint, with the yellow colour indicating that the reflectance in the BPG and BPR bands is considerably higher than in the BPB band.[6] Whether it is because the image layer is highly reflective in IR or transmissive is unclear, however, note that the image overlays a baryta layer, and barium sulphate

los componentes individuales de la imagen MBIRLum, mostrando que la luminiscencia máxima se produce en la banda captada por el filtro XNite BPG. Cabe destacar que la gelatina también presenta luminiscencia cuando se excita utilizando luz visible, sin embargo, su luminiscencia se produce principalmente en la banda del filtro XNite BPB.

También es interesante el comportamiento de la reflectancia de las fotografías tonales. En el modo MBRIR la imagen es claramente tenue, y el color amarillo indica que la reflectancia en las bandas BPG y BPR es considerablemente mayor que en la banda BPB.[6] No está claro si se debe a que la capa de la imagen es altamente reflectante en IR o transmisiva, sin embargo, hay que tener en cuenta que la imagen se superpone a una capa de barita,

[6] Note luminescence and reflectance images in false colour must be interpreted as additive vs subtractive.

[6] Hay que tener en cuenta que las imágenes de luminiscencia y reflectancia en falso color deben interpretarse como aditivas frente a sustractivas.

has historically been used as a reflectance standard. This gives the author the impression that the toned image layer is transmissive in IR.

What is more pertinent is the fact that this behaviour brings to attention the multilayer structure, or the stratigraphy of the hand-coloured photograph. In the case of a silver gelatine print, such as a Metalchrome, the primary support is a paper layer. Upon this, there is a baryta layer bound in gelatine. Over this baryta layer is the photographic layer of silver bound in gelatine. In the case of Metalchromes, the silver image is chemically modified to be a silver-sulphur-gold compound, and additional colourants applied on top.

Here, the gelatine luminesces in the BPB and BPG band when irradiated with VIS light, as was discovered in the imaging research (see Figure 9). The same holds for certain types of paper, a phenomenon known as visible induced visible luminescence. Barnes (1958, p. 83) recorded in his pioneering study on IR luminescence, that barite, the natural form of barium sulphate, luminesces in IR. Broadly, we can thus assume that we will have a certain degree of background luminescence from the base.

Our IR reflectance images show that the image layer appears transparent/ reflective to IR, a fact also apparent in the reconstructions. The same is true for the dye layer, barring the green dye used to colour the eyes. This would suggest, in the case of this Metalchrome photograph, that the multiband IR images record the modulation of the emission from the luminescent base and image layer, rather than recording the dyes luminescing, as would be the assumption. This effect can be seen in Figure 10, wherein the contrast enhanced multiband IR reflectance image maps exactly to the different colour values in the multiband visible-induced IR luminescence image.

y el sulfato de bario se ha utilizado históricamente como patrón de reflectancia. Esto da al autor la impresión de que la capa tonal de la imagen es transmisiva en IR.

Lo que es más pertinente es el hecho de que este comportamiento llama la atención sobre la estructura multicapa, o estratigráfica de la fotografía coloreada a mano. En el caso de una impresión en gelatina de plata, como una Metalchrome, el soporte primario es una capa de papel. Sobre ésta, hay una capa baritada aglutinada con gelatina. Sobre esta capa baritada se encuentra la capa fotográfica de plata aglutinada en gelatina. En el caso de los metalcromos, la imagen de plata se modifica químicamente para convertirla en un compuesto de plata, azufre y oro, y se aplican colorantes adicionales encima.

En este caso, la gelatina presenta luminiscencia en la banda BPB y BPG cuando se irradia con luz VIS, como se descubrió en la investigación (véase la Figura 9). Lo mismo ocurre con ciertos tipos de papel, fenómeno conocido como luminiscencia visible inducida. Barnes (1958, p. 83) registró en su estudio pionero sobre la luminiscencia IR, que la barita, la forma natural del sulfato de bario, presenta luminiscencia en IR. A grandes rasgos, podemos suponer que tendremos un cierto grado de luminiscencia de fondo de la base.

Nuestras imágenes de reflectancia IR muestran que la capa de la imagen parece transparente/reflectante al IR, hecho que también se aprecia en las reconstrucciones. Lo mismo ocurre con la capa de colorante, salvo el colorante verde utilizado para colorear los ojos. Esto sugiere, en el caso de esta fotografía *Metalchrome*, que las imágenes IR multibanda registran la modulación de la emisión de la base luminiscente y de la capa de imagen, en lugar de registrar la luminiscencia de los tintes, como sería de suponer. Este efecto puede observarse en la Figura 10, en la que la imagen de reflectancia IR multibanda con contraste mejorado corresponde exactamente a los diferentes valores de color de la imagen de luminiscencia IR multibanda inducida en el visible.

Figure 10 | *Woman in Lather* Detail (left) MBRIR, (right) MBIRLum.

Figura 10 | Detalle de *Mujer enjabonada* (izquierda) MBRIR, (derecha) MBIRLum.

Of course, this effect is not just because of the dyes modulating the emission from the image layer and the base. It is also because the dyes can modulate the incident light in both UV and visible that causes the VIS-IR emission. Keep in mind that radiation must be absorbed to be photochemically active. Thus, if the layer above the luminescent layer prevents the appropriate radiation to irradiate the luminescent layer, no luminescence will be observed.

Caveat Emptor

This, of course, raises the question, of the utility of the proposed multiband approach to study the hand-coloured photographs. If the luminescence image produces redundant information, to what end is the effort? Two other Metalchome images reproduced below show distinct luminescence effects corresponding to the colourants (Figures 11, 12). It is felt that the analysis of the specific Metalchrome

Por supuesto, este efecto no se debe únicamente a que los tintes modulen la emisión de la capa de imagen y la base. También se debe a que los tintes pueden modular la luz incidente tanto en el UV como en el visible que provoca la emisión VIS-IR. Hay que tener en cuenta que la radiación debe ser absorbida para ser fotoquímicamente activa. Así, si la capa situada por encima de la capa luminiscente impide que la radiación adecuada irradie la capa luminiscente, no se observará luminiscencia.

Advertencia

Por supuesto, esto plantea la cuestión de la utilidad del enfoque multibanda propuesto para estudiar las fotografías coloreadas a mano. Si la imagen de luminiscencia produce información redundante, ¿con qué fin se hace el esfuerzo? Otras dos imágenes de *Metalchome* reproducidas a continuación muestran efectos de luminiscencia distintos correspondientes a los colorantes (Figuras 11, 12). Se considera que el análisis del

Woman in Lather is useful as a case study, as it so closely parallels multilayer objects wherein multiple translucent layers optically interact to create the visual effect (e.g., colour photographs, paintings with glaze layers, paintings on glass, transparent paper, etc.). The fact that this multilayer optical effect also affects the analysis of the multiband images is important to remember.

It should be kept in mind that chances for definitive identification of materials through imaging are few and far between and are based on unique properties of materials such as Egyptian blue's characteristic luminescence behaviour. Instead, imaging provides indications towards areas of interest that can be followed up with subsequent technical analysis for identification. The utility of imaging, both in multispectral and multiband, rather lies in its low-cost, ease-of-use, and its ability to signify areas of interest that may be followed up to gaining an in-depth understanding of the object at hand.

In the case of Metalchromes themselves, *Woman in Lather*, discussed in this paper has a different response in MBRIR and MBIRLum to the Metalchromes in Figures 11 and 12, suggesting that different colours were used to paint the photographs. This is especially evident in the MBIRLum images, where the false colour luminescence colouration is biased towards green in Figure 12 (bottom right), unlike the blue false colour luminescence in Figure 11. This suggests a different palette used by Mortensen in the two photographs. Without analytical testing, it is not possible to identify the dyes, however, trends of colourant distribution emerge when multiple Metalchromes are imaged using the MBIR techniques. Based on this distribution, more targeted sampling can be undertaken, along with efficient identification of the colourants.

Metalchrome Mujer enjabonada es útil como estudio de caso, ya que se asemeja mucho a los objetos multicapa en los que múltiples capas translúcidas interactúan ópticamente para crear el efecto visual (por ejemplo, fotografías en color, pinturas con capas de esmalte, pinturas sobre vidrio, papel transparente, etc.). Es importante recordar que este efecto óptico multicapa también afecta al análisis de las imágenes multibanda.

Hay que tener en cuenta que las posibilidades de identificación definitiva de materiales mediante imágenes son escasas y se basan en propiedades únicas de los materiales, como el comportamiento de luminiscencia característico del azul egipcio. En su lugar, la obtención de imágenes proporciona indicaciones hacia áreas de interés que pueden seguirse con un análisis técnico posterior para su identificación. La utilidad de las imágenes, tanto multiespectrales como multibanda, radica más bien en su bajo coste, su facilidad de uso y su capacidad para señalar zonas de interés que pueden ser objeto de seguimiento para comprender en profundidad el objeto en cuestión.

En el caso de los propios *Metalchromes*, *Mujer enjabonada*, analizado en este artículo tiene una respuesta diferente en MBIRR y MBIRLum a los *Metalchromes* de las Figuras 11 y 12, lo que sugiere que se utilizaron colores diferentes para pintar las fotografías. Esto es especialmente evidente en las imágenes MBIRLum, donde la coloración de la luminiscencia de falso color está sesgada hacia el verde en la Figura 12 (abajo a la derecha), a diferencia de la luminiscencia de falso color azul en la Figura 11. Esto sugiere que se utilizó una paleta diferente para pintar las fotografías. Esto sugiere una paleta diferente utilizada por Mortensen en las dos fotografías. Sin pruebas analíticas, no es posible identificar los tintes, sin embargo, las tendencias de la distribución de colorantes emergen cuando se obtienen imágenes de múltiples Metalchromes utilizando las técnicas MBIR. Sobre la base de esta distribución, se puede llevar a cabo un muestreo más selectivo, junto con una identificación eficaz de los colorantes.

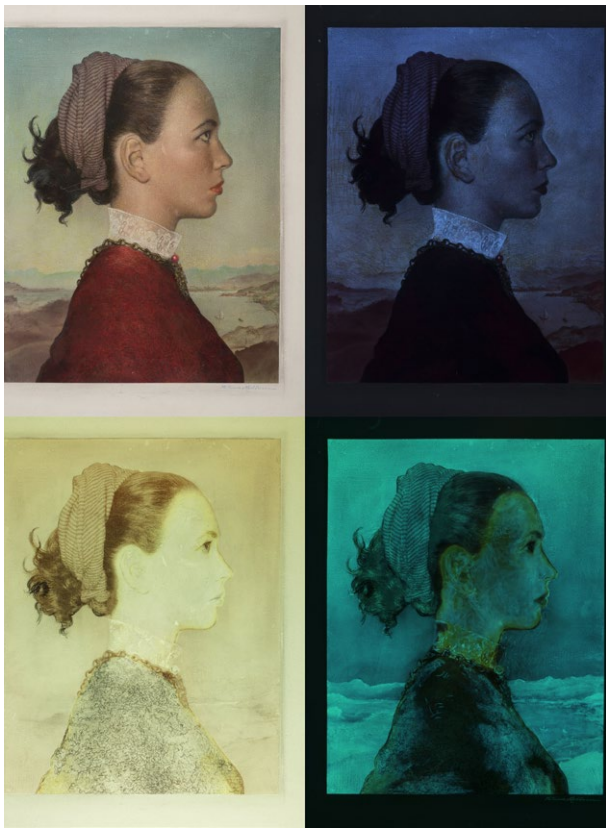


Figure 11 | Mortensen, W. (n.d.) *untitled*, Metalchrome hand-painted silver gelatine print, image size 37.7 x 27.8 cm, overall size (48.1 x 38.7 cm). Centre for Creative Photography, Tucson, Az.; 94.55.26 Clockwise from Top left: Vis, UVL, MBIRLum, MBRIR.

Figura 11 | Mortensen, W. (s.f.), Sin título, copia *Metalchrome* pintada a mano sobre gelatina de plata; tamaño de la imagen 37,7×27,8 cm; tamaño total 48,1×38,7 cm. Centre for Creative Photography, Tucson (AZ); 94.55.26. En el sentido de las agujas del reloj desde arriba a la izquierda: VIS, UVL, MBIRLum, MBRIR.

Conclusions

This chapter aims to show the potential for imaging investigations using IR in multiple bands to provide new insight into the materials that make up cultural heritage objects. The information found is highly complementary to standard multiband and technical imaging modalities and the technique has a low barrier to entry. In the case of the Metalchrome, the technique revealed firstly, that the photograph was painted and provided insight on the colourant distribution. It also demonstrated a hitherto unknown luminescence behaviour in silver-gelatine photographs.

Conclusiones

El objetivo de este capítulo es mostrar el potencial de las investigaciones de imagen mediante IR en múltiples bandas para proporcionar nuevos conocimientos sobre los materiales que componen los objetos del patrimonio cultural. La información obtenida viene a complementar extensamente las modalidades de imagen técnica y multibanda estándar, y la técnica tiene una barrera de entrada baja. En el caso del Metalchrome, la técnica reveló, en primer lugar, que la fotografía estaba pintada y proporcionó información sobre la distribución del colorante. También evidenció un comportamiento de luminiscencia hasta ahora desconocido en las fotografías de gelatina de plata.

Figure 12 | Mortensen, W. (n.d.) *untitled*, Metalchrome hand-painted silver gelatine print, image size 40.4 x 31.8 cm, overall size (48.3 x 38.9 cm). Centre for Creative Photography, Tucson, Az.; 94.55.22 Clockwise from Top left: Vis, UVL, MBIRLum, MBRIR.

Figura 12 | Mortensen, W. (s.f.), Sin título, copia *Metalchrome* pintada a mano sobre gelatina de plata; tamaño de la imagen: 40,4×31,8 cm; tamaño total: 48,3×38,9 cm. Centre for Creative Photography, Tucson (AZ); 94.55.22. En el sentido de las agujas del reloj desde arriba a la izquierda: VIS, UVL, MBIRLum, MBRIR.

The research on Mortensen's technique is currently on hold, with identification of the actual synthetic colourants used being the next step. Further, the technique needs to be situated within the broader context of pictorial photographic technique of the 1930's to understand whether the manipulations practiced by Mortensen were *sui generis*, or mirrored techniques used by other pictorialist photographers. This research will be carried out soon.

While this case study discusses just one example of Mortensen's Metalchrome process, in the span of the research, 10 Metalchrome prints and 10 Mortensen pigment prints were imaged using the MBIR technique, as were the contents of AIC

La investigación sobre la técnica de Mortensen se encuentra actualmente en proceso, siendo el próximo paso la identificación de los colorantes sintéticos utilizados. Además, es necesario situar la técnica en el contexto más amplio de la técnica fotográfica pictorialista de los años treinta, para comprender si las manipulaciones practicadas por Mortensen eran *sui generis* o reflejaban técnicas utilizadas por otros fotógrafos pictorialistas. Esta investigación se llevará a cabo próximamente.

Aunque en este estudio de caso se analiza sólo un ejemplo del proceso Metalchrome de Mortensen, en el transcurso de la investigación se obtuvieron imágenes mediante la técnica MBIR de 10 impresiones Metalchrome y 10 impresiones con pigmentos de

Photographic Sample sets.[7] There were considerable differences in the reflectance and luminescence behaviour of the photographic samples, which were addressed in a talk at the AIC Photographic Materials Group conference (Sharma et al., 2023).

While the luminescence and reflectance behaviour can be studied using traditional longpass filters, using bandpass filters to create false colour images allows for comparative analysis of these phenomena. Chapter length constraints preclude a detailed discussion of these, and the author hopes that by an in-depth discussion of a single image, other practitioners will find this technique of interest. At this point, multiband IR imaging is still understudied, and the technique has been used by the author mostly on photographs and wall paintings. This case study aims to showcase the potential of the technique and allow other imaging practitioners to use it for their investigations.

Acknowledgements

The writer wishes to thank his CCP colleagues, Dana Hemmenway, Bryanna Knotts, and J.P. Westenkow for their suggestions, support, and guidance. The writer also wishes to thank the editors, and the anonymous reviewers for their suggestions, and constructive criticism, which aided considerably in the readability of this chapter.

Mortensen, así como del contenido de los juegos de muestras fotográficas del AIC.[7] Había diferencias considerables en el comportamiento de reflectancia y luminiscencia de las muestras fotográficas, que se abordaron en una charla en la conferencia del Grupo de Materiales Fotográficos AIC (Sharma *et al.*, 2023).

Mientras que el comportamiento de la luminiscencia y la reflectancia puede estudiarse utilizando filtros de paso largo tradicionales, el uso de filtros de paso de banda para crear imágenes en falso color permite el análisis comparativo de estos fenómenos. Las limitaciones de extensión del capítulo impiden un análisis detallado de los mismos, y el autor espera que mediante un análisis en profundidad de una sola imagen, otros profesionales encuentren esta técnica de interés. Por el momento, la obtención de imágenes IR multibanda sigue estando poco estudiada, y el autor ha utilizado la técnica sobre todo en fotografías y pinturas murales. Este estudio de caso pretende mostrar el potencial de la técnica y permitir que otros profesionales de la imagen la utilicen en sus investigaciones.

Agradecimientos

El autor desea dar las gracias a sus colegas del CCP, Dana Hemmenway, Bryanna Knotts y J.P. Westenkow, por sus sugerencias, apoyo y orientación. También desea dar las gracias a los editores y a los revisores anónimos por sus sugerencias y críticas constructivas, que han contribuido considerablemente a la legibilidad de este capítulo.

[7] The AIC Photographic Materials Group (PMG) Photograph sample sets were created between a period of 2006 to 2018 as reference and research tools. Samples of historic, digital, toned silver gelatine, colour prints, and films were created and sold. See AIC Photographic Print Sample Sets. American Institute of Conservation Photographic Materials Group. Retrieved March 10, 2024, from https://www.culturalheritage.org/membership/groups-and-networks/photographic-materials-group/publications/photographic-print-sample-sets

[7] Los juegos de muestras fotográficas del Grupo de Materiales Fotográficos (PMG) del AIC se crearon entre 2006 y 2018 como herramientas de referencia e investigación. Se crearon y vendieron muestras de gelatina de plata histórica, digital, tonalizada, impresiones en color y películas. Ver Conjuntos de muestras de impresiones fotográficas del AIC. Grupo de Materiales Fotográficos del Instituto Americano de Conservación. Obtenido el 10 de marzo de 2024, del sitio Web: https://www.culturalheritage.org/membership/groups-and-networks/photographic-materials-group/publications/photographic-print-sample-sets

References | Bibliografía

Accorsi, G., Verri, G., Bolognesi, M., Armaroli, N., Clementi, C., Miliani, C., & Romani, A. (2009). The exceptional near-infrared luminescence properties of cuprorivaite (Egyptian blue). *Chemical Communications*, *23*, 3392. https://doi.org/10.1039/b902563d

Aldrovandi, A., Bertani, D., Cetica, M., Matteini, M., Moles, A., Poggi, P., & Tiano, P. (1988). Multispectral image processing of paintings. *Studies in Conservation*, *33*, 154–159. https://doi.org/10.2307/1506208

Aldrovandi, A., Buzzegoli, E., Keller, A., & Kunzelman, D. (2005). Investigation of Painted Surfaces with a Reflected False Colour UV Technique. *Journal of Conservation Science*, *19*(3), 123-130.

Barnes, D.F. (1958). Infrared Luminescence of Minerals (1052–C; Geological Survey Bulletin, p. 98). U.S. Geological Survey.

Chen, J.J., & Smith, T.J. (2020). Documentation of Salted Paper Prints with a Modified Digital Camera. *Journal of the American Institute for Conservation*, *59*(3–4), 271–285. https://doi.org/10.1080/01971360.2019.1643527

Connors-Rowe, S.A., Whitmore, P.M., & Morris, H.R. (2007). Optical brighteners in black-and-white photographic paper: Appearance and degradation. *Journal of the American Institute for Conservation*, *46*(3), 199–213. https://doi.org/10.1179/019713607806112251

Daveri, A., Vagnini, M., Nucera, F., Azzarelli, M., Romani, A., & Clementi, C. (2016). Visible-induced luminescence imaging: A user-friendly method based on a system of interchangeable and tunable LED light sources. *Microchemical Journal*, *125*, 130–141. https://doi.org/10.1016/j.microc.2015.11.019

Delaney, J.K., Trumpy, G., Didier, M., Ricciardi, P., & Dooley, K.A. (2017). A high sensitivity, low noise and high spatial resolution multi-band infrared reflectography camera for the study of paintings and works on paper. *Heritage Science*, *5*(1), 32. https://doi.org/10.1186/s40494-017-0146-1

Dyer, J., & Sotiropoulou, S. (2017). A technical step forward in the integration of visible-induced luminescence imaging methods for the study of ancient polychromy. *Heritage Science*, *5*(1), 24. ttps://doi.org/10.1186/s40494-017-0137-2

Dyer, J., Tamburini, D., O'Connell, E.R., & Harrison, A. (2018). A multispectral imaging approach integrated into the study of Late Antique textiles from Egypt. *PLOS ONE*, *13*(10), e0204699. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0204699

Kriss, D., Schussler, V., Driscoll, E., Bradley, L., Ford, J., Pozzi, F., & Basso, E. (2023). Materials Characterization with Multiband Reflectance Imaging at the Brooklyn Museum: A New Tool for the Multiband Imaging Kit. *Journal of the American Institute for Conservation*, *62* (1) 1–18. https://doi.org/10.1080/01971360.2023.2168430

LDP LLC (n.d.). Bandpass IR Filters. Maxmax. https://maxmax.com/filters/bandpass-ir.

LDP LLC (n.d.). Filter Technical Overview. Maxmax. https://maxmax.com/filters/filter-technical-overview.

Lowe, D.G. (2004). Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints. *International Journal of Computer Vision*, *60*(2), 91–110. https://doi.org/10.1023/B:VISI.0000029664.99615.94

Dawson, M., Dillon, D., Mortensen, W., Coleman, A.D., Lytle, L., & Rule, A. (1998). *William Mortensen: A revival*. Center for Creative Photography, University of Arizona.

Peres, M.R. (Ed.). (2008). *The concise Focal encyclopedia of photography: From the first photo on paper to the digital revolution*. Elsevier.

Silva, G.L. (1970). The Metalchrome Story. *PSA Journal*, *March* 19–23. https://archive.org/details/silva-1970-the-metalchrome-story

Sharma, R., Knotts-Denby, B., & Hemmenway, D. (2023). Multiband VIS-IR Imaging: A Novel Imaging Methodology to study photographic Prints. *Topics in Photographic Preservation*, *20*, 157-164.

UV Innovations. (2018). *UV innovations target Setup Workflow (Adobe Lightroom)*. https://www.uvinnovations.com/_files/ugd/750e25_5c972898ddec474ca65aed7869533e6f.pdf

Verri, G. (2009). The spatially resolved characterization of Egyptian blue, Han blue and Han purple by photo-induced luminescence digital imaging. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, *394*(4), 1011–1021. https://doi.org/10.1007/s00216-009-2693-0

Verri, G., Opper, T., & Deviese, T. (2010). The 'Treu Head': A case study in Roman sculptural polychromy. *British Museum Technical Research Bulletin*, *4*, 17.

Detail of the MBIRLum image of Mortensen, W. (n.d.) untitled, Metalchrome hand-painted silver gelatine print, image size 37.7 x 27.8 cm, overall size (48.1 x 38.7 cm). Centre for Creative Photography, Tucson, Az.; 94.55.26.

Detalle de la imagen MBIRLum de Mortensen, W. (s.f.) Sin título, impresión en gelatina de plata metalcromada y pintada a mano; tamaño de la imagen 37,7 × 27,8 cm, tamaño total 48,1 × 38,7 cm. Centre for Creative Photography, Tucson, Arizona; 94.55.26.

Left: portrait of Charles II painted over the original canvas of Infante Philip Prosper. Right: the same painting after the removal of overpaints. Technical examinations (IRT and XR) revealed a markedly different underlying image, which enabled its preliminary identification and prompted its recovery.

Izquierda: retrato de Carlos II ejecutado sobre el lienzo del Infante Felipe Próspero. Derecha: el mismo cuadro tras retirar los repintes. Las pruebas técnicas (IRT y XR) revelaron una imagen subyacente muy distinta, lo que permitió su reconocimiento preliminar y motivó su recuperación.

A TECHNICAL ART HISTORY VIEW: USING REFLECTED INFRARED PHOTOGRAPHY (IR), TRANSMITTED INFRARED PHOTOGRAPHY (IRT), AND X-RAY IMAGING (XR) TO ENHANCE THE UNDERSTANDING OF SUPERIMPOSED PAINTINGS

UNA VISIÓN TÉCNICA DE LA HISTORIA DEL ARTE: EL USO DE LA FOTOGRAFÍA INFRARROJA REFLEJADA (IR), LA FOTOGRAFÍA INFRARROJA TRANSMITIDA (IRT) Y LAS IMÁGENES DE RAYOS X (XR) PARA MEJORAR LA COMPRENSIÓN DE LAS PINTURAS SUPERPUESTAS

María Antonia Argelich [a*], Marc Borrás [a], Irene Samaniego-Jiménez [b], Mariona Navarro [a], Jésica Martí [a]

[a] *Centre d'Art d'Època Moderna, Universitat de Lleida, Spain*

[a] *Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio, Universitat Politècnica de València, Spain*

* *mariaantonia.argelich@udl.cat*

Introduction

The Centre d'Art d'Època Moderna (CAEM), of the Universitat de Lleida is a research center dedicated to the study of paintings. A team of conservator-restorers works in dialogue with the center's team of art historians. Preventive conservation is prioritized, and the criterion of minimal intervention — respecting formal, material, and structural aspects of the work of art — is respected.

Introducción

El Centre d'Art d'Època Moderna (CAEM), de la Universitat de Lleida es un centro de investigación dedicado al estudio de pinturas. En él, un equipo de conservadores-restauradores trabaja codo con codo con un equipo de historiadores del arte. Se prioriza la conservación preventiva y se promueven criterios de mínima intervención, respetando los aspectos formales, materiales y estructurales de la obra de arte.

In its twenty years of service, CAEM has dealt with many easel paintings, most of them privately owned they had been repainted, some time after their execution, mainly for stylistic reasons, hiding and altering the original paintings. Each presented a complex art historical phenomenon: they had been repainted, hiding and altering the original paintings. In each case, multiband technical imaging (MBTI) showed that the underlying compositions were of higher quality and greater art historical importance than the superimposed paintings. These results prompted the team of art historians and restorers, in full consultation with their private owners, to remove the overpaint in order to expose the original compositions. This unusual situation provided an extremely rare opportunity to compare the MBTI results with the original painting.

Aim

This study aims to analyze and compare images captured through reflected infrared photography (IR), transmitted infrared photography (IRT), and X-ray imaging (XR) to visually separate the pictorial phases in superimposed paintings (Cucci et al., 2012; Herrero-Cortell et al., 2021). It was crucial to understand these phases before hypotheses could be suggested about creation processes and attributions, and for planning subsequent treatment, including cleaning. Though cleaning procedures will not be discussed in this paper, the cleaned paintings have been compared with their companion imaging pre-conservation.

Why are paintings sometimes overpainted or heavily reworked? This study presents two scenarios: a) paintings with extensive overpaint that alters the original work (Calvo, 2003; Salas & Porras-Isla, 2018) and b) artworks that have been completely repainted by another painter, with the upper

En sus veinte años de servicio, el CAEM se ha ocupado de muchas pinturas de caballete, la mayoría de propiedad privada. Este artículo examina cuatro casos prácticos de pinturas que pasaron por el centro entre 2020 y 2023. Cada uno de ellos presentaba un fenómeno histórico artístico complejo: se trataba de casos de pintura superpuesta, tiempo después de su ejecución, principalmente por razones modales, ocultando y alterando las pinturas originales. En todos los casos de la presente selección, las técnicas de imagen multibanda (MBTI) mostraron que las composiciones subyacentes eran de mayor calidad y mayor importancia histórico-artística que las pinturas superpuestas. Estos resultados impulsaron al equipo de historiadores del arte y restauradores, en plena consulta con sus propietarios privados, a eliminar la pintura superpuesta para dejar al descubierto las composiciones originales. Esta situación inusual proporcionó una oportunidad extremadamente rara de comparar los resultados del MBTI con la pintura original.

Objetivo

Este estudio pretende analizar y comparar imágenes captadas mediante fotografía infrarroja reflejada (IR), fotografía infrarroja transmitida (IRT) y radiografías (XR) para separar visualmente las fases pictóricas en pinturas superpuestas (Cucci *et al.*, 2012; Herrero-Cortell *et al.*, 2021). Era crucial comprender estas fases antes de poder sugerir hipótesis sobre los procesos de creación y las atribuciones, y para planificar el tratamiento posterior, incluida la limpieza. Aunque en este artículo no se discutirán los procedimientos de limpieza, las pinturas, han comparado con las imágenes técnicas previas a sus respectivas intervenciones de limpieza.

¿Por qué a veces los cuadros están repintados o excesivamente retocados? Este estudio presenta dos escenarios: a) pinturas con un extenso repintado que altera la obra original (Calvo, 2003; Salas y Porras-Isla, 2018) y b) obras de arte que han sido repintadas completamente

painting applied directly to the original or to an intermediate priming layer. It is crucial to distinguish between these two scenarios and what is called 'underpainting', in which, similarly to underdrawing, the artist creates an initial model of shapes and shadows (Bomford et al., 2006).

Each of the four cases reveal subsequent changes that completely altered the original work, significantly altering its initial appearance. In the first two case studies, two seventeenth-century portraits on canvas were masked by extensive historic overpaint, leaving only a small part of the original work visible and transforming the figures' clothing to match later preferences. In the other cases, two paintings created in the late nineteenth and early twentieth centuries, the purpose of the modifications seemed to correspond to an attempt to alter its attribution.

Each case study involved comprehensive technical, iconographic, and stylistic assessments in order to provide a basis on which to propose an attribution. Each study and subsequent conservation intervention was documented at the time in unpublished reports, which are available for consultation at the CAEM.[1]

Materials and Methods

Paintings that enter the CAEM for study and attribution are observed directly with the naked eye and subjected to a multiband imaging protocol and stylistic comparison. Our multiband imaging protocol includes visible photography (VIS), raking light photography (RL), transmitted light photography (TL), macrophotography, microphotography, ultraviolet-induced visible luminescence (UVL), ultraviolet reflected (UVR), infrared photography (IR), infrared transmitted photography (IRT), infrared false color

[1] caem.gestion@udl.cat

por otro pintor, con la pintura superior aplicada directamente sobre el original o sobre una capa de imprimación intermedia. Es crucial distinguir entre estos dos escenarios y lo que se denomina «pintura subyacente», en la que, de forma similar al dibujo subyacente, el artista crea un modelo inicial de formas y sombras (Bomford *et al.*, 2006).

Cada uno de los cuatro casos revela cambios posteriores que alteraron por completo la obra original, cambiando significativamente su aspecto inicial. En los dos primeros casos, dos retratos sobre lienzo del siglo XVII fueron enmascarados mediante un extenso repintado histórico, dejando visible sólo una pequeña parte de la obra original y transformando la vestimenta de las figuras para adaptarlas al gusto de modas posteriores. En los otros dos casos, pinturas creadas a finales del siglo XIX y principios del XX, el propósito de las modificaciones parecía responder a un intento de alterar su atribución.

Cada estudio de caso conllevó exhaustivas evaluaciones técnicas, iconográficas y estilísticas con el fin de proporcionar una base sobre la que proponer una atribución. Cada estudio y posterior intervención de conservación se documentó en su momento en informes inéditos, que pueden consultarse en el CAEM.[1]

Materiales y métodos

Las pinturas que entran en el CAEM para su estudio y atribución se observan detenidamente a simple vista y se someten a un protocolo de obtención de imágenes multibanda y a una comparación estilística. Nuestro protocolo de obtención de imágenes multibanda incluye fotografía visible (VIS), fotografía con luz rasante (RL), fotografía con luz transmitida (TL), macrofotografía, microfotografía, luminiscencia visible inducida por ultravioleta (UVL), ultravioleta reflejado (UVR), fotografía infrarroja (IR),

[1] caem.gestion@udl.cat

(IRFC), ultraviolet-induced infrared luminescence (UVIL) and X-ray imaging (XR). The protocol is occasionally expanded to include scanning electron microscopy (SEM-EDX), analysis of cross-sections, or Raman spectroscopy, depending on the types of questions raised.

Each of these case studies was a relined easel painting. For the scope of this paper, only the results of IR, IRT, and XR will be discussed, but the complete list of imaging techniques used is indicated here:

- Case study 1: *Portrait of a Child with a Dog*, unknown painter, oil on canvas, 101.5 x 71.2 cm, private collection. Imaging techniques applied: VIS, RL, TL, microphotography, macrophotography, UVL, UVR, IR, IRT, IRFC, UVIL, XR, SEM-EDX and analysis of painting cross-sections.

- Case study 2: *Charles II King of Spain*, unknown painter, oil on canvas, 143.6 x 104.5 cm, private collection. Imaging techniques applied: VIS, microphotography, UVL, and IR.

- Case study 3: *Female nude by a lake*, unknown painter, oil on canvas, 32.4 x 45.6 cm, private collection. Imaging techniques applied: VIS, microphotography, UVL, IR and XR.

- Case study 4: *Forest*, unknown painter, oil on canvas, 108 x 79.4 cm, private collection. Imaging techniques applied: VIS, microphotography, UVL, IR and XR.

For the IR and IRT, a Nikon D7200 DSLR full spectrum modified digital camera (24 MP, with CMOS sensor, sensitivity between about 360 and 1100 nm) with a Nikon Nikkor 50 mm 1:1 lens (provided by Cultural Heritage Science Open Source [CHSOS]) and a Heliopan 1000 filter were used (Cosentino, 2016). The radiation sources used for

fotografía transmitida por infrarrojo (IRT), falso color infrarrojo (IRFC), luminiscencia infrarroja inducida por ultravioleta (UVIL) y radiografías (XR). En ocasiones, el protocolo se amplía para incluir la microscopía electrónica de barrido (SEM-EDX), el análisis de secciones transversales o la espectroscopia Raman, en función del tipo de cuestiones planteadas.

Cada uno de los casos de estudio corresponde a pintura de caballete reentelada. Por el alcance de este trabajo, sólo se discutirán los resultados de IR, IRT y XR, pero aquí se indica la lista completa de técnicas de imagen utilizadas:

- Estudio de caso 1: *Retrato de niño con perro*, pintor desconocido, óleo sobre lienzo, 101,5 x 71,2 cm, colección privada. Técnicas de imagen aplicadas: VIS, RL, TL, macrofotografía, microfotografía, UVL, UVR, IR, IRT, IRFC, UVIL, XR, SEM-EDX y análisis de cortes transversales de la pintura.

- Estudio de caso 2: *Carlos II Rey de España*, pintor desconocido, óleo sobre lienzo, 143,6 x 104,5 cm, colección privada. Técnicas de imagen aplicadas: VIS, microfotografía, UVL e IR.

- Estudio de caso 3: *Desnudo femenino junto a un lago*, pintor desconocido, óleo sobre lienzo, 32,4 x 45,6 cm, colección privada. Técnicas de imagen aplicadas: VIS, microfotografía, UVL, IR y XR.

- Estudio de caso 4: *Bosque*, pintor desconocido, óleo sobre lienzo, 108 x 79,4 cm, colección privada. Técnicas de imagen aplicadas: VIS, microfotografía, UVL, IR y XR.

Para el IR y el IRT, se utilizó una cámara digital Nikon D7200 DSLR de espectro completo modificado (24 MP, con sensor CMOS, sensibilidad entre unos 360 y 1100 nm) con un objetivo Nikon Nikkor 50 mm 1:1 (proporcionado por Cultural Heritage Science Open Source

IR were two halogen lamps (800W) placed at 45° to the front of the painting, while for IRT one of the lamps was placed at the back of the canvas.

A CHSOS TP and an MSI calibration card were used as a reference for all MBTI. The camera RAW images were corrected with Adobe Photoshop software. The calibration card was placed beside the painting in order to receive the same lighting and was captured in the same photograph. In the case of IRT, calibration cannot be done since IR radiation is transmitted through the canvas by means of backlighting: the calibration card –an opaque cardboard– remains totally dark.

The XR for case study 1 was carried out at the *Centre de Restauració de Béns Mobles de la Generalitat de Catalunya* (CRBMC) in Valldoreix (Barcelona), using a constant potential Yxlon with a 320kV Comet tube. The film sheets used were Kodak® Industrex AA 400. Three sheets were exposed with the following parameters: Power = 48 kV; Intensity = 11 mA; Focal Spot = 3.6 mm.; Time = 6' 20"; Distance = 400 cm. They were assembled on a lightbox and photographed, leaving two vertical white lines in the resulting image.

The owner of the painting supplied the X-radiograph for case study 2 at the start of the study.

The XR for case studies 3 and 4 were carried out by José A. Madrid in the Departamento de Conservación y Restauración de Bienes Culturales at the Universitat Politècnica de València. A General Electric X-ray device model X TRANSPORTIX-50 was used. This device has a tube with a potential voltage range of 20 to 110 kV, a 2 mm aluminum filter, and a focal spot size of 2.3 mm. Standard CR phosphor imaging plates (45 x 35 cm) were loaded in an AGFA CR MDT4-OT cassette. An AGFA CR 30-X laser scanner was used for the processing, generating images with a pixel dimensions of 4096 × 4096. This

[CHSOS]) y un filtro Heliopan 1000 (Cosentino, 2016). Las fuentes de radiación utilizadas para el IR fueron dos lámparas halógenas (800 W) colocadas a 45° con respecto a la parte delantera del cuadro, mientras que para el IRT se colocó una de las lámparas en la parte trasera del lienzo.

Se utilizó como referencia para todos los casos de MBTI una carta de calibración de CHSOS. Las imágenes RAW de la cámara se corrigieron con el software Adobe Photoshop. La tarjeta de calibración se colocó junto al cuadro para que recibiera la misma iluminación y se capturó en la misma fotografía. En el caso de la IRT, la calibración no puede realizarse ya que la radiación IR se transmite a través del lienzo mediante retroiluminación: la tarjeta de calibración —una cartulina opaca— permanece totalmente oscura.

La XR para el estudio de caso 1 se llevó a cabo en el *Centre de Restauració de Béns Mobles de la Generalitat de Catalunya* (CRBMC) en Valldoreix (Barcelona), utilizando un Yxlon de potencial constante con un tubo Comet de 320kV. Las hojas de película utilizadas fueron Kodak® Industrex AA 400. Se expusieron tres hojas con los siguientes parámetros: Potencia = 48 kV; Intensidad = 11 mA; Puntofocal = 3,6 mm.; Tiempo = 6'20"; Distancia = 400 cm. Se montaron en una caja de luz y se fotografiaron, dejando dos líneas blancas verticales en la imagen resultante.

El propietario del cuadro facilitó la radiografía del caso 2 al inicio del estudio.

Las XR de los estudios de caso 3 y 4 fueron realizadas por José A. Madrid en el Departamento de Conservación y Restauración de Bienes Culturales de la Universitat Politècnica de València. Se utilizó un aparato de rayos X General Electric modelo X TRANSPORTIX-50. Este aparato tiene un tubo con un rango de voltaje potencial de 20 a 110 kV, un filtro de aluminio de 2 mm y un tamaño de punto focal de 2,3 mm. Se cargaron placas de imagen de fósforo CR estándar (45 x 35 cm) en un casete AGFA

system supports a maximum resolution of approximately 100 µm (10 pixels/mm), which allows for a high level of detail in the radiographs.

For case study 3, two plates were consecutively exposed using the following exposure parameters: Power = 47 kV; Intensity = 20 mA; Time = 3" per plate; Distance = 200 cm. The images were assembled as a mosaic using Adobe Photoshop.

For case study 4, twelve plates were used to create the mosaic. Intensity remained at 20 mA and the exposure time at 3" for each plate. The power was reduced to 37 kV and the distance between the tube and the work was increased to 300 cm to ensure homogeneity over the entire painting (Madrid, 2012; 2013). The images were assembled as a mosaic with Adobe Photoshop.

Results and Discussion

Case Study 1: *Portrait of a Child with Dog*, Unknown Painter

In 2020, the portrait was submitted for analysis at the CAEM to try to identfy its authorship (Figure 1a). The owner of the painting suspected that the sitter may have had achondroplasia, like some of the figures painted by Diego Rodríguez de Silva y Velázquez (Sevilla, Spain, 1599-Madrid, Spain, 1660). However, our team agreed that the sitter's proportions and facial features indicated that he was a child, even though his clothing and the objects he was holding did not match his appearance. Specifically, he wore a long red garment, had a large medallion around his neck, and held a slender staff in his right hand. His left hand was making the sign of the horns and holding a piece of fruit.

IR revealed the original work had been masked with extensive overpaint (Figure 1b).

CR MDT4-OT. Para el procesamiento se utilizó un escáner láser AGFA CR 30-X, que genera imágenes con una dimensión de píxeles de 4096 × 4096. Este sistema admite una resolución máxima de aproximadamente 100 µm (10 píxeles/mm), lo que permite un alto nivel de detalle en las radiografías.

Para el estudio de caso 3, se expusieron consecutivamente dos placas utilizando los siguientes parámetros de exposición: Potencia = 47 kV; Intensidad = 20 mA; Tiempo = 3" por placa; Distancia = 200 cm. Las imágenes se montaron como un mosaico utilizando Adobe Photoshop.

Para el caso 4, se utilizaron doce placas para crear el mosaico. La intensidad se mantuvo en 20 mA y el tiempo de exposición en 3" para cada placa. La potencia se redujo a 37 kV y la distancia entre el tubo y la obra se aumentó a 300 cm para garantizar la homogeneidad en todo el cuadro (Madrid, 2012; 2013). Las imágenes se montaron como un mosaico con Adobe Photoshop.

Resultados y discusión

Estudio de caso 1: *Retrato de un niño con perro*, pintor desconocido

En 2020, el retrato fue sometido a análisis en el CAEM para tratar de identificar su autoría (Figura 1a). El propietario del cuadro sospechaba que el modelo podía tener acondroplasia, como algunas de las figuras pintadas por Diego Rodríguez de Silva y Velázquez (Sevilla, España, 1599-Madrid, España, 1660). Sin embargo, nuestro equipo estuvo de acuerdo en que las proporciones y los rasgos faciales del modelo indicaban que se trataba de un niño, aunque su vestimenta y los objetos que sostenía no coincidían con su aspecto. Concretamente, vestía una larga prenda roja, llevaba un gran medallón alrededor del cuello y sostenía un delgado bastón en la mano derecha. Su mano izquierda adoptaba el gesto de los cuernos y sostenía un trozo de fruta.

Figure 1 | Multiband images of the work *Portrait of a Child with a Dog* (oil on canvas, 101.5 x 71.2 cm, private collection) before restoration: VIS (a); IR (b); IRT (c); and XR (d).

Figura 1 | Imágenes multibanda de la obra *Retrato de niño con perro* (óleo sobre lienzo, 101,5 x 71,2 cm, colección privada) antes de su restauración: VIS (a); IR (b); IRT (c); y XR (d).

Sections of the figure's red garment hid a lace border of stunning intricacy and detail, surpassing anything apparent to the naked eye (Figure 2). Similarly high-quality lacework was found on the sitter's forehead, along with a delicate ornamental weave on the neck below the chin, and an elaborate border on the right sleeve cuff. On either side of the figure, curtains were pulled back to reveal the checkerboard pattern on the tiled floor extending into the background (Figure 1b).

IRT presented an image where the face, hands, and dog were in silhouette (Figure 1c). The greater passage of IR radiation is symptomatic of the fact that these areas support a thinner pictorial layer, while the rest is covered with a thick layer that barely allows radiation to pass through. This discovery suggests that these areas were held in reserve while the rest of the painting was modified and overpainted. Furthermore, IRT revealed new details in the overpainted areas that were invisible with IR: the characteristic folds of a ruff, an object resembling a rattle in the figure's right hand, and the crescent-shaped traces of two bands or hanging cords on the skirt (Figure 3).

IRT also showed that the rattle and hanging cords were painted at an early stage and more thickly, and thus were more easily seen with transmitted IR radiation. However, due to the hiding power of the overpaint materials, they were difficult to spot using IR.

XR also uncovered new findings (Figure 1d). The uniformly painted red cloth concealed numerous tiny brushstrokes loaded with lead white and applied in various directions, creating intricate patterns. Other points of radiopacity were from small beads on the pendants falling on the apron and decorations on the rattle, which contributed to an elaborate and decorative effect over the entire costume.

La IR reveló que la obra original se había ocultado con amplias capas de pintura añadida. (Figura 1b).

Algunas secciones de la vestimenta roja de la figura ocultaban una cenefa de encaje de una complejidad y detalle asombrosos, que superaba todo lo que se podía apreciar a simple vista (Figura 2). En la frente del modelo se apreciaba un encaje de igual calidad, junto con un delicado tejido ornamental en el cuello, por debajo de la barbilla, y una elaborada cenefa en el puño de la manga derecha. A ambos lados de la figura, las cortinas estaban apartadas para revelar el diseño en damero del suelo de baldosas que se extendía hasta el fondo (Figura 1b).

La IRT presentó una imagen en la que la cara, las manos y el perro aparecían en silueta (Figura 1c). Un mayor paso de radiación IR es sintomático del hecho de que estas zonas soportan una capa pictórica más fina, mientras que el resto está cubierto con una capa gruesa que apenas deja pasar la radiación. Este echo sugiere que esas zonas se mantuvieron en reserva mientras el resto de la pintura se modificaba y sobrepintaba. Además, la IRT reveló nuevos detalles en las zonas sobrepintadas que eran invisibles con IR: los pliegues característicos de una gorguera, un objeto parecido a un sonajero en la mano derecha de la figura y los trazos en forma de media luna de dos bandas o cordones colgantes en la falda (Figura 3).

La IRT también mostró que el sonajero y los cordones colgantes estaban pintados en una fase temprana y con mayor espesor, por lo que se veían más fácilmente con la radiación IR transmitida. Sin embargo, debido al poder cubriente de los materiales de repintado, resultaba difícil detectarlos mediante IR.

La XR también reveló nuevas evidencias (Figura 1d). La tela roja uniformemente pintada ocultaba numerosas pinceladas diminutas cargadas de blanco de plomo y aplicadas en varias direcciones, creando intrincados dibujos. Otros puntos de radiopacidad procedían de las pequeñas

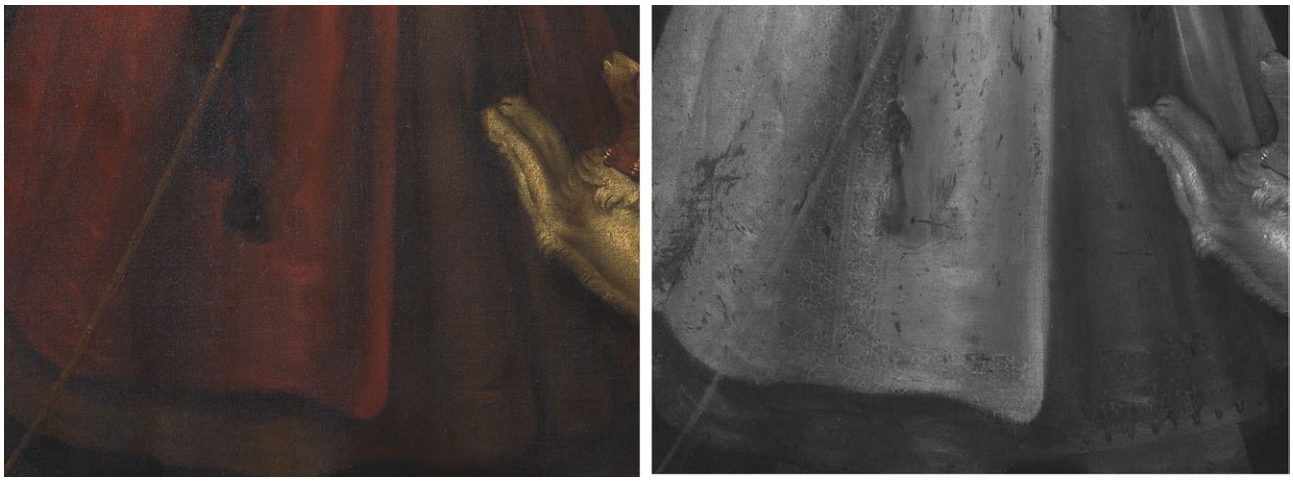


Figure 2 | Comparative detail images of the work *Portrait of a Child with a Dog* (oil on canvas, 101.5 x 71.2 cm, private collection): VIS (left); IR (right), reveal the presence of a lace border potentially made using lead white and charcoal black, concealed beneath the red of the dress in the infrared photograph.

Figura 2 | Imágenes de detalle comparativas de la obra *Retrato de un niño con perro* (óleo sobre lienzo, 101,5 x 71,2 cm, colección privada): VIS (izquierda); IR (derecha), revelan la presencia de un borde de encaje posiblemente realizado con blanco de plomo y negro de carbón, oculto bajo el rojo del vestido en la fotografía infrarroja.

Figure 3 | IRT details of the work *Portrait of a Child with a Dog* (oil on canvas, 101.5 x 71.2 cm, private collection): the ruff and the rattle (left); two bands or cords hanging over the skirt (right).

Figura 3 | Detalles IRT de la obra *Retrato de un niño con perro* (óleo sobre lienzo, 101,5 x 71,2 cm, colección privada): la gorguera y el cascabel (izquierda); dos bandas o cordones colgando sobre la falda (derecha).

After the imaging protocol was completed, the team began the art historical research. The genre of children's portraits in seventeenth-century Dutch paintings provides examples comparable with the one beneath the portrait of the figure in red. Similar rattles and talismans adorn children's skirts, with small details comparable to those revealed by the hidden brushstrokes. Careful attention to detail in the artwork led to its being attributed to the Circle of Jan Claesz (Enkhuizen?, Holland, ca. 1570-Enkhuizen, 1618) and dating it to the first decade of the seventeenth century (Borrás et al., 2021). Artistic-historical research placed the style of the red garment towards the late seventeenth century, which marks the date of the historic overpaint.

The original painting was visually much richer and could be clearly linked to a specific art-historical style and authorship. Although the subsequent restoration treatment is beyond the scope of this article, the possibility of contrasting it with the previous study leads us to include the image of the painting after cleaning (Villalba & Díez, 2021). The historical authenticity of the underlying painting, its antiquity and visual richness, and the elaborate and meticulous nature of its work seemed worthy of contemplation and enjoyment by its owners, leaving the process and the previous state of the work well documented.

With the private owner's approval, a further technical examination by the restorers – including analysis of painting cross-sections – successfully recovered details of the sitter's dress. This depicted small branches with flowers and birds, which gave the garment a shimmering effect. Similarly, the chains, rattle, and other ornaments restored the original visual richness of the whole (Figure 4). The resulting identification of the painting was *Portrait of a Child with a Dog*, circle of Jan Claesz (Enkhuizen?, Holland, ca. 1570-Enkhuizen, 1618), ca. 1610, oil on canvas, 101.5 x 71.2 cm, private collection.

cuentas de los colgantes que caían sobre el delantal y de los adornos del sonajero, que contribuían a crear un efecto elaborado y decorativo en todo el traje.

Una vez completado el protocolo de obtención de imágenes, el equipo comenzó la investigación histórico-artística. El género de los retratos infantiles en la pintura holandesa del siglo XVII ofrece ejemplos comparables al que se encuentra bajo el retrato de la figura de rojo. Sonajeros y talismanes similares adornan las faldas de los niños, con pequeños detalles comparables a los revelados por las pinceladas ocultas. La cuidadosa atención a los detalles de la obra hizo que se atribuyera al Círculo de Jan Claesz (¿Enkhuizen?, Holanda, ca. 1570-Enkhuizen, 1618) y se datara en la primera década del siglo XVII (Borrás *et al.*, 2021). Las investigaciones histórico-artísticas sitúan el estilo de la prenda roja hacia finales del siglo XVII, lo que marca la fecha del repinte histórico.

La pintura original era visualmente mucho más rica y podía vincularse claramente a un estilo histórico-artístico y a una autoría concretos. Aunque el tratamiento de restauración posterior queda fuera del alcance de este artículo, la posibilidad de contrastarlo con el estudio anterior nos lleva a incluir la imagen de la pintura tras su limpieza (Villalba y Díez, 2021). La autenticidad histórica de la pintura subyacente, su antigüedad y riqueza visual, y lo elaborado y meticuloso de su trabajo nos parecieron dignos de contemplación y disfrute por parte de sus propietarios, dejando bien documentado el proceso y el estado previo de la obra.

Con la aprobación del propietario privado, un nuevo examen técnico realizado por los restauradores —que incluyó el análisis estratigráfico de micromuestras de la pintura— recuperó con éxito los detalles del vestido del modelo. En él se representaban pequeñas ramas con flores y pájaros, que daban a la prenda un efecto resplandeciente. Del mismo modo, las cadenas, el cascabel y otros ornamentos restituyeron la riqueza visual original del conjunto (Figura 4). La identificación resultante del cuadro fue *Retrato de un niño*

Figure 4 | Images of the work *Portrait of a Child with a Dog* (oil on canvas, 101.5 x 71.2 cm, private collection): VIS after cleaning intervention (left); VIS after restoration (right).

Figura 4 | Imágenes de la obra *Retrato de niño con perro* (óleo sobre lienzo, 101,5 x 71,2 cm, colección privada): VIS tras la intervención de limpieza (izquierda); VIS tras la restauración (derecha).

Case Study 2: *Charles II, King of Spain*, Unknown Painter

When the painting arrived at the CAEM for study and attribution, it depicted a boy with fair skin and long hair dressed in attire that did not suit his age, suggesting an intention to portray him not as a child but as a future king (Figure 5a). He was shown holding a staff with a crown at his feet, and an inscription along the bottom declared his name as Charles II.

Caso práctico 2: *Carlos II, rey de España*, pintor desconocido

Cuando el cuadro llegó al CAEM para su estudio y atribución, representaba a un muchacho de piel clara y pelo largo vestido con un atuendo que no correspondía

Figure 5 | Multiband images of the work *Charles II King of Spain*, now *Infante Philip Prosper* (oil on canvas, 143.6 x 104.5 cm, private collection): VIS before restoration (a); IR before restoration (b); XR before restoration (c).

Figura 5 | Imágenes multibanda de la obra *Carlos II Rey de España*, ahora *Infante Felipe Próspero* (óleo sobre lienzo, 143,6 x 104,5 cm, colección privada): VIS antes de la restauración (a); IR antes de la restauración (b); XR antes de la restauración (c).

This presentation expressed a future-oriented perspective, focusing on the subject's potential to rule. However, the white dog resting its head on the armrest of the armchair, with its paw falling downward, and the curtain and open space in the background, allude to the effigy of Philip the Prosperous, which Diego Rodríguez de Silva y Velázquez (Sevilla, Spain, 1599-Madrid, Spain, 1660) painted in 1659, to be sent to Vienna (Figure 6c).

With IR, several elements emerged delicately below the visible paint layer. The subject's ear continued beneath the distinctive locks of Charles II (Figures 5b and 7) and, under the hand resting on the waist, another hand subtly appeared, seeming to hold a string. The dark staff of command in the figure's right hand, which appears as a faint shadow to the naked eye, was much darker and clearly outlined. Behind his right hand was another limb,

a su edad, lo que sugería la intención de retratarlo no como un niño sino como un futuro rey (Figura 5a). Se le mostraba sosteniendo un bastón con una corona a sus pies, y una inscripción en la parte inferior declaraba su nombre como Carlos II. Esta presentación expresaba una perspectiva de futuro, centrándose en el potencial del sujeto para gobernar. Sin embargo, el perro blanco que apoya la cabeza en el reposabrazos del sillón, con la pata caída hacia abajo, y la cortina y el espacio abierto del fondo, aluden a la efigie de Felipe el Próspero que Diego Rodríguez de Silva y Velázquez (Sevilla, España, 1599-Madrid, España, 1660) pintó en 1659 para enviarla a Viena (Figura 6c).

Con la IR, varios elementos emergieron delicadamente bajo la capa de pintura visible. La oreja del sujeto continuaba bajo los característicos mechones de Carlos II (Figuras 5b y 7) y, bajo la mano apoyada en la cintura, aparecía sutilmente otra mano que parecía sostener una

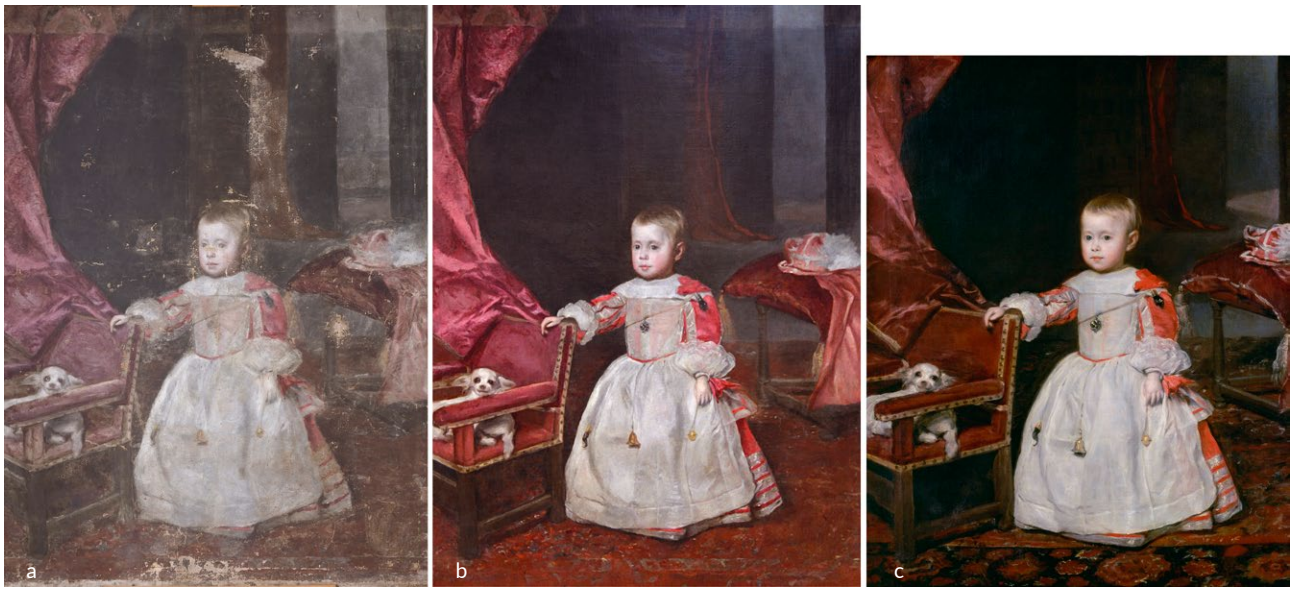


Figure 6 | Images of the work *Charles II King of Spain*, now *Infante Philip Prosper* (oil on canvas, 143.6 x 104.5 cm, private collection: VIS after cleaning intervention (a); VIS after restoration (b); Diego Rodríguez de Silva y Velázquez, *Infante Philip Prosper*, 1659, oil on canvas, 128.5 x 99.5 cm, Kunsthistorisches Museum Wien (c).

Figura 6 | Imágenes de la obra *Carlos II Rey de España*, ahora *Infante Felipe Próspero* (óleo sobre lienzo, 143,6 x 104,5 cm, colección particular: VIS tras la intervención de limpieza (a); VIS tras la restauración (b); Diego Rodríguez de Silva y Velázquez, *Infante Felipe Próspero*, 1659, óleo sobre lienzo, 128,5 x 99,5 cm, Kunsthistorisches Museum Wien (c).

Figure 7 | Comparative detail images of the work *Charles II King of Spain*, now *Infante Philip Prosper* (oil on canvas, 143.6 x 104.5 cm, private collection) showing the ear beneath Charles II's curls: VIS (left); IR (right).

Figura 7 | Imágenes de detalle comparativas de la obra *Carlos II Rey de España*, ahora *Infante Felipe Próspero* (óleo sobre lienzo, 143,6 x 104,5 cm, colección particular) que muestran la oreja bajo los rizos de Carlos II: VIS (izquierda); IR (derecha).

slightly displaced and resting on the backrest. Moreover, long lines, subtly visible under the boots, broadly encompassed the figure, suggesting the outline of a skirt (Figure 5b).

XR revealed a skirt with a wide circumference resembling the costume worn by Philip Prosper in the painting in Vienna. The image also revealed the use of a palette knife to apply the priming, akin to Velázquez's technique. This observation enabled the underlying painting to be associated with the master's workshop (Borrás & Company, 2022). Considering that it emulated the Vienna painting, it is reasonable to infer that it was created as a *ricordo* by the workshop before the original was shipped to Austria (Garrido et al., 2022).

The young Philip died in 1661, just before his fourth birthday, shortly after the original painting was executed. His brother, the future Charles II, was born five days after his death. The *ricordo* must have been repainted some years later, to transform Philip into Charles, the new heir to the throne. But the quality of the overpainting was poor, flat, and coarse compared with the pictorial quality of the underlying work as revealed through MBTI. After further technical examination, the team proposed the removal of the overpaint; the private owners agreed, and the original composition was revealed (Figures 6a, 6b) (Villalba & Díez, 2022). The resulting identification of the painting was *Infante Philip Prosper*, circle of Diego Rodríguez de Silva y Velázquez (Sevilla, Spain, 1599-Madrid, Spain, 1660), ca. 1659, oil on canvas, 143.6 x 104.5 cm, private collection.

Case Study 3. *Female Nude by a Lake*, Unknown Painter

This painting (Figure 8a) was brought to the CAEM by a private collector to assess the possibility that it was created by Gustave Courbet (Ornans [France], 1819 - La Tour-de-Peilz [Switzerland], 1877). It

cuerda. El oscuro bastón de mando en la mano derecha de la figura, que aparece como una tenue sombra a simple vista, era mucho más oscuro y estaba claramente perfilado. Detrás de su mano derecha había otra extremidad, ligeramente desplazada y apoyada en el respaldo. Además, unas largas líneas, sutilmente visibles bajo las botas, abarcaban ampliamente la figura, sugiriendo el contorno de una falda (Figura 5b).

La XR reveló una falda con una amplia circunferencia que se asemeja al traje que llevaba Felipe Próspero en el cuadro de Viena. La imagen también reveló el uso de una espátula para aplicar la imprimación, similar a la técnica de Velázquez. Esta observación permitió asociar la pintura subyacente con el taller del maestro (Borrás y Company, 2022). Teniendo en cuenta que emulaba la pintura vienesa, es razonable deducir que fue creada como un *ricordo* por el taller antes de que el original fuera enviado a Austria (Garrido *et al.*, 2022).

El joven Felipe murió en 1661, justo antes de cumplir cuatro años, poco después de que se ejecutara el cuadro original. Su hermano, el futuro Carlos II, nació cinco días después de su muerte. El *ricordo* debió de ser repintado algunos años más tarde, para transformar a Felipe en Carlos, el nuevo heredero al trono. Pero la calidad del repinte era pobre, plana y tosca en comparación con la calidad pictórica de la obra subyacente, tal y como reveló el MBTI. Tras un examen técnico más detallado, el equipo propuso la eliminación del repinte; los propietarios privados accedieron, y se reveló la composición original (Figuras 6a, 6b) (Villalba y Díez, 2022). La identificación resultante del cuadro fue *Infante Felipe Próspero*, círculo de Diego Rodríguez de Silva y Velázquez (Sevilla, España, 1599-Madrid, España, 1660), ca. 1659, óleo sobre lienzo, 143,6 x 104,5 cm, colección privada.

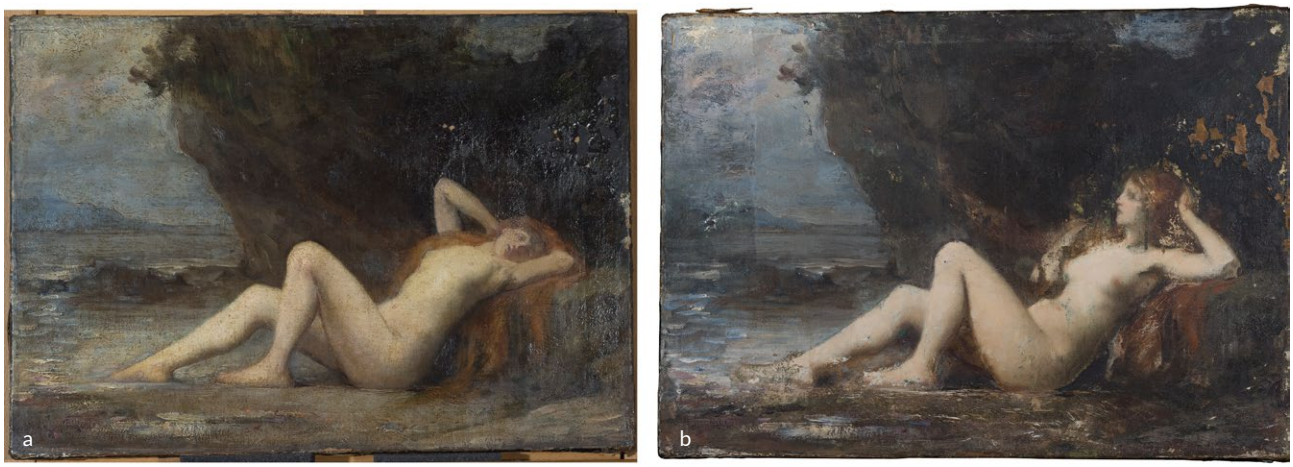


Figure 8 | Images of the work *Female Nude by a Lake* (oil on canvas, 32.4 x 45.6 cm, private collection): VIS before restoration (a); VIS after cleaning intervention (b).

Figura 8 | Imágenes de la obra *Desnudo femenino junto a un lago* (óleo sobre lienzo, 32,4 x 45,6 cm, colección privada): VIS antes de la restauración (a); VIS después de la intervención de limpieza (b).

depicts a nude red-haired woman reclining in front of what appears to be the entrance to a cave, and a lake stretching out behind her to the left. In the lower left corner, the initials GC reproduce the signature of the French master.

When it entered the research center, the painting exhibited an irregular surface texture that was likely even more pronounced before relining. There were paint losses and extensive cupping in the top right quadrant of the painting. Stylistically, the quality of the sitter's face compared poorly with the rest of her body.

IR revealed grid markings over the figure which were utilized for enlarging or reducing when copying it from a previous drawing or engraving (Figure 9a). Furthermore, the indistinct outlines of the face and the rough texture of the rock indicated the possibility of overpaint in these areas. This was confirmed by XR, which revealed that the overpaint dramatically changed the iconography of the original painting.

Estudio de caso 3. *Desnudo femenino junto a un lago*, pintor desconocido

Este cuadro (Figura 8a) fue traído al CAEM por un coleccionista privado para evaluar la posibilidad de que fuera obra de Gustave Courbet (Ornans [Francia], 1819 - La Tour-de-Peilz [Suiza], 1877). Representa a una mujer pelirroja desnuda reclinada frente a lo que parece ser la entrada de una cueva, y un lago que se extiende detrás de ella a la izquierda. En la esquina inferior izquierda, las iniciales GC reproducen la firma del maestro francés.

Cuando entró en el centro de investigación, la pintura presentaba una textura superficial irregular que probablemente era aún más pronunciada antes del reentelado. Había pérdidas de pintura y un extenso ahuecamiento en el cuadrante superior derecho del cuadro. Estilísticamente, la calidad del rostro de la modelo era inferior a la del resto del cuerpo.

Figure 9 | Comparative images of the work *Female Nude by a Lake* (oil on canvas, 32.4 x 45.6 cm, private collection): IR (a); XR (b). The grid can be seen superimposed over the female figure in the IR; XR shows changes in posture and iconography: Danae receiving the golden rain.

Figura 9 | Imágenes comparativas de la obra *Desnudo femenino junto a un lago* (óleo sobre lienzo, 32,4 x 45,6 cm, colección privada): IR (a); XR (b). La cuadrícula puede verse superpuesta sobre la figura femenina en la IR; la XR muestra cambios en la postura y la iconografía: Dánae recibiendo la lluvia dorada.

XR revealed an earlier position for the upper part of the figure, with her head in profile, propped up by her left arm, and gazing straight ahead (Figure 9b). Her hair was adorned with a complex ornament, while her torso appeared to rest on a large, soft cushion instead of the large rock. Under the rocky structure in the middle ground, the XR shows a sequence of elongated dots that slope down toward the woman. This composition is clearly identifiable with the iconography of Danae receiving the golden shower.

The arms and head of the figure in the upper painting, although visible with the VIS and IR (Figures 8a and 9a), could not be detected with XR (Figure 9b), suggesting that someone other than the original artist modified the painting (Argelich & Borrás, 2023a).

Given the damaged state of the paint surface and the poor quality of the woman's head, the decision was taken to treat the painting and to remove the overpaint hiding the more artistically subtle artwork seen with MBTI (Villalba & Díez, 2023a) (Figure 8b).

La IR reveló marcas de cuadrícula sobre la figura que se utilizaron para ampliarla o reducirla al copiarla de un dibujo o grabado anterior (Figura 9a). Además, los contornos imprecisos del rostro y la textura rugosa de la roca indicaban la posibilidad de un repinte local en estas zonas. Esto fue confirmado por la XR, que reveló que el repinte cambió drásticamente la iconografía de la pintura original.

La XR reveló una posición anterior en la parte superior de la figura, con la cabeza de perfil, apoyada en su brazo izquierdo y mirando al frente (Figura 9b). Su pelo estaba tocado con un complejo ornamento, mientras que su torso parecía descansar sobre un cojín grande y mullido en lugar de la gran roca. Bajo la estructura rocosa del centro, la XR muestra una secuencia de puntos alargados que descienden hacia la mujer. Esta composición es claramente identificable con la iconografía de Dánae recibiendo la lluvia dorada.

After the overpaint was removed, additional art-historical research was done, and stylistic and iconographic considerations led us to rule out Courbet's authorship and to link the original work to the circle of Léon-François Comerre (Argelich & Borrás, 2023a). The resulting identification of the painting was *Female nude by a lake*, follower of Gustave Courbet (Ornans [France], 1819 - La Tour-de-Peilz [Switzerland], 1877) and Léon-François Comerre (Trelón [France], 1850 - Paris, 1916), last third of the nineteenth century, oil on canvas, 32.4 x 45.6 cm, private collection.

Case Study 4: *Forest*, Unknown Painter

This painting has the same provenance as the previous case study and was also brought to our center to assess the possibility that it was a Courbet (Figure 10a). The work depicts a wooded landscape featuring a prominently positioned tree on the right-hand side, and it bears the signature "G. Courbet" on the lower left side. Observation with a digital microscope (168.1x) revealed that it was an overpainted signature that filled in parts of the underlying craquelure (Figure 11). The painting has a highly textured surface with scattered passages of high impasto and numerous areas of overpaint. The exhaustive technical examination through IR and XR indicated the likely existence of an underlying painting (Argelich & Borrás, 2023b; Villalba & Díez, 2023b).

IR revealed a deer, identifiable by its antlers, concealed beneath overpaint (Figure 10b), a frequent iconographic element in Courbet's painting.

XR revealed an inverted female figure that occupied virtually the entire pictorial surface, offering evidence that the canvas had been reused (Figure 10c). However, the technique and the stylistic aspects of the lower painting did not match the pictorial characteristics of the upper painting, which suggested a later date than originally thought.

Los brazos y la cabeza de la figura de la pintura superior, aunque visibles con la VIS y la IR (Figuras 8a y 9a), no pudieron detectarse con la XR (Figura 9b), lo que sugiere que alguien distinto del artista original modificó la pintura (Argelich y Borrás, 2023a).

Dado el estado deteriorado de la superficie pictórica y la escasa calidad de la cabeza de la mujer, se tomó la decisión de tratar el cuadro y eliminar el repinte que ocultaba la obra subyacente, artísticamente más sutil, revelada gracias a la MBTI (Villaba y Díez, 2023a) (Figura 8b). Una vez eliminada la pintura superpuesta, comenzaron las investigaciones histórico-artísticas adicionales. Ciertas consideraciones estilísticas e iconográficas nos llevaron a descartar la autoría de Courbet y a vincular la obra original al círculo de Léon-François Comerre (Argelich y Borrás, 2023a). La identificación resultante del cuadro *fue Desnudo femenino junto a un lago*, seguidor de Gustave Courbet (Ornans [Francia], 1819 - La Tour-de-Peilz [Suiza], 1877) y Léon-François Comerre (Trelón [Francia], 1850 - París, 1916), último tercio del siglo XIX, óleo sobre lienzo, 32,4 x 45,6 cm, colección particular.

Estudio de caso 4: *Bosque*, pintor desconocido

Este cuadro tiene la misma procedencia que el caso de estudio anterior y también fue traído a nuestro centro para evaluar la posibilidad de que se tratara de un Courbet (Figura 10a). La obra representa un paisaje boscoso con un árbol en posición prominente en el lado derecho, y lleva la firma «G. Courbet» en la parte inferior izquierda. La observación con un microscopio digital (168,1x) reveló que se trataba de una firma sobrepintada que rellenaba partes de la craqueladura subyacente (Figura 11). La pintura tiene una superficie muy texturizada con zonas dispersas de alto empaste y numerosas zonas de repinte. El examen técnico exhaustivo a través de IR y XR hizo sospechar de la existencia de una pintura subyacente (Argelich y Borrás, 2023b; Villalba y Díez, 2023b).

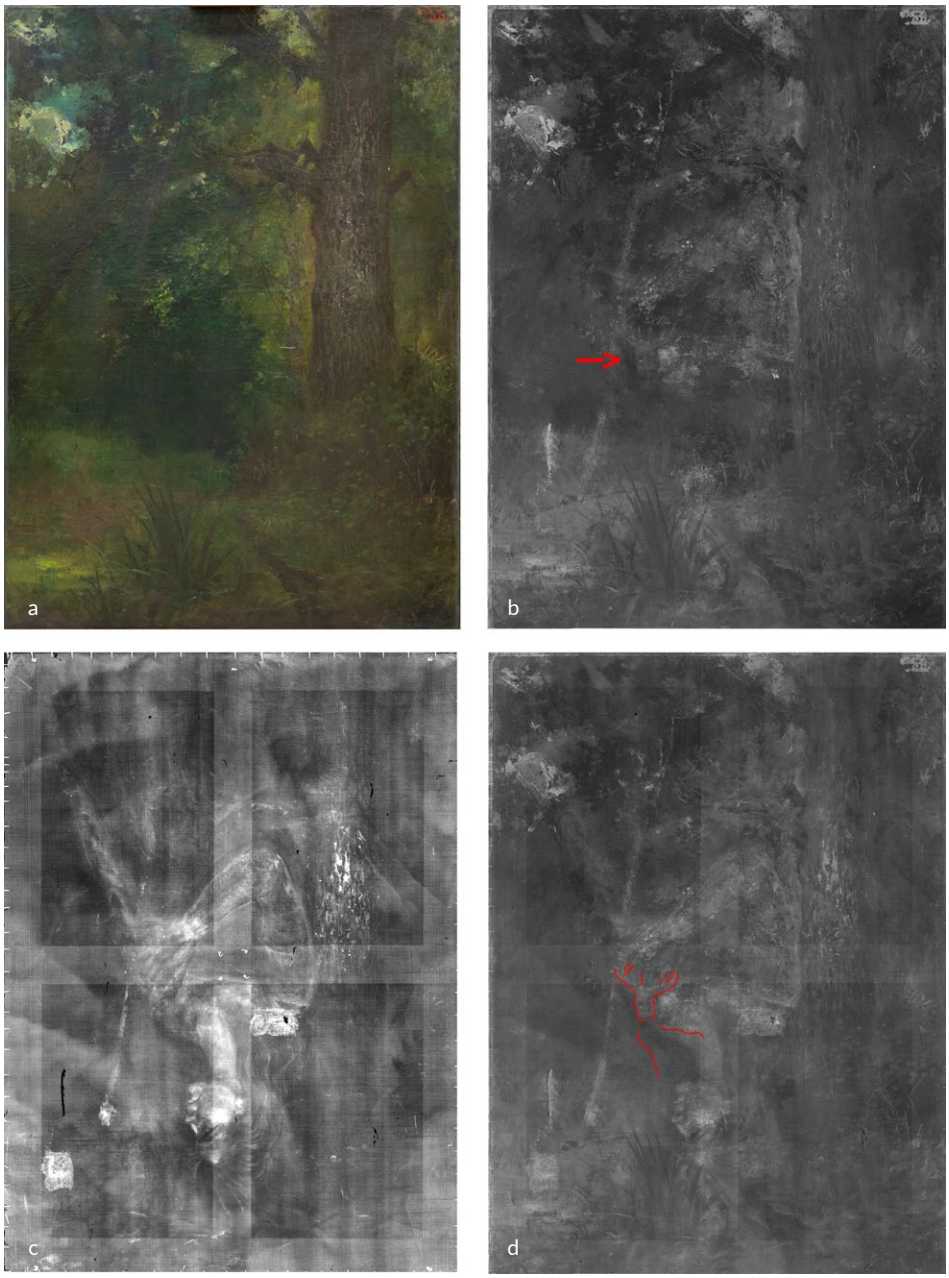


Figure 10 | Images of the work *Forest* (oil on canvas, 108 x 79.4 cm, private collection): VIS before restoration (a); IR (a red arrow has been drawn to point to the visible silhouette of a deer head (b); XR (c); Hybrid image overlaying XR and IR (a red outline has been drawn over the deer head) (d).

Figura 10 | Imágenes de la obra *Bosque* (óleo sobre lienzo, 108 x 79,4 cm, colección privada): VIS antes de la restauración (a); IR (se ha dibujado una flecha roja para señalar la silueta visible de una cabeza de ciervo (b); XR (c); imagen híbrida superpuesta de XR e IR (se ha dibujado un contorno rojo sobre la cabeza de ciervo) (d).

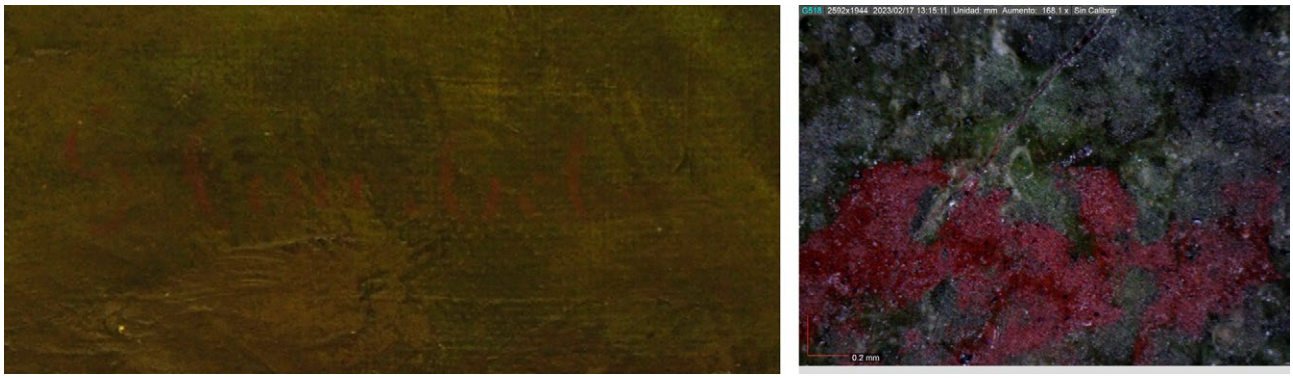


Figure 11 | Detail images of the work *Forest* (oil on canvas, 108 x 79.4 cm, private collection): VIS before restoration, detail of the signature (left); Microphotography 168,1x. Before restoration, the signature red material fills in parts of the craquelure (right).

Figura 11 | Imágenes de detalle de la obra *Bosque* (óleo sobre lienzo, 108 x 79,4 cm, colección privada): VIS antes de la restauración, detalle de la firma (izquierda); Microfotografía 168,1x. Antes de la restauración, el material rojo de la firma rellena partes de la craqueladura (derecha).

IR and XR complemented each other in offering clear information about the superimposed painting. Creating a hybrid image overlaying the two images in Adobe Photoshop (XR and IR, manipulating the opacity of each image) allowed us to separate the two compositions visually and to assign the deer to the upper painting and the woman to the lower painting. (Figure 10d).

The unsatisfactory appearance of the painting due to extensive overpaint prompted our team to propose the removal of the overpainted sections of the forest scene. The private owner agreed. This revealed an earlier phase of the forest scene, with greater pictorial quality, that appeared to have been left unfinished (Figure 12). Attribution to Gustave Courbet was discarded for stylistic reasons. The resulting identification of the painting was *Forest*, follower of Gustave Courbet (Ornans [France], 1819 - La Tour-de-Peilz [Switzerland], 1877), last third of the nineteenth century - first third of the twentieth century, oil on canvas, 108 x 79.4 cm, private collection.

La IR reveló un ciervo, identificable por su cornamenta, oculto bajo un repinte (Figura 10b), un elemento iconográfico frecuente en la pintura de Courbet.

La XR reveló una figura femenina invertida que ocupaba prácticamente toda la superficie pictórica, ofreciendo pruebas de que el lienzo había sido reutilizado (Figura 10c). Sin embargo, la técnica y los aspectos estilísticos de la pintura inferior no coincidían con las características pictóricas de la superior, lo que podía implicar una fecha posterior a la supuesta en un principio.

Las imágenes IR y XR se complementaron para ofrecer información clara sobre la pintura superpuesta. La creación de una imagen híbrida superponiendo las dos imágenes en Adobe Photoshop (XR e IR, manipulando la opacidad de cada imagen) nos permitió separar visualmente las dos composiciones y asignar el ciervo al cuadro superior y la mujer al cuadro inferior. (Figura 10d).

El aspecto insatisfactorio de la pintura debido al extenso repintado llevó a nuestro equipo a proponer la eliminación de las secciones repintadas de la escena del bosque. El propietario privado accedió. Esto reveló

Figure 12 | Images of the work *Forest* (oil on canvas, 108 x 79.4 cm, private collection): VIS after cleaning intervention (left); VIS after restoration (right).

Figura 12 | Imágenes de la obra *Bosque* (óleo sobre lienzo, 108 x 79,4 cm, colección privada): VIS tras la intervención de limpieza (izquierda); VIS tras la restauración (derecha).

Conclusions

The analysis, understanding, and evaluation of superimposed paintings is highly complex due to the layers of overpaint that cover the original layers. Superimposed paintings can encompass different artists and periods, resulting in incongruous materials and techniques. Therefore, XR should be complimented with MBTI to obtain further diagnostic information.

una fase anterior de la escena del bosque, de mayor calidad pictórica, que parecía haber quedado inacabada (Figura 12). La atribución a Gustave Courbet se descartó por razones estilísticas. La identificación resultante del cuadro fue *Bosque*, seguidor de Gustave Courbet (Ornans [Francia], 1819 - La Tour-de-Peilz [Suiza], 1877), último tercio del siglo XIX - primer tercio del siglo XX, óleo sobre lienzo, 108 x 79,4 cm, colección particular.

While XR reveals materials with a high atomic weight and consequent high radiopacity, other materials that are less visible or invisible with this technique can sometimes be detected with IR or, depending on the thickness and the pigments in the overpaint, IRT. It is crucial to remember that the information gained from IRT can be significant even in relined paintings.

Combining XR, IR, and IRT in a hybrid image offers a practical way of displaying complementary evidence by illustrating the relationship between the different visual clues and their relative locations within the superimposed paintings. This approach enables a clear, logical, didactic image to be created and ensures that the information is concise and easily understood.

Although the usefulness of MBTI has long been known to art historians studying important artworks of public heritage in major museums, it could be equally relevant in the study of artworks of dubious authorship in private collections. Using MBTI can contribute to our understanding of an artwork's materiality and, together with other techniques such as digital microscopy, it allows our team to propose new attributions and dates for these case studies. Stylistic features of underlying layers visualized with MBTI can provide valuable information for attribution and dating. The results of MBTI are crucial for assessing the quality and condition of the underlying pictorial layer in order to make decisions about whether to undertake restoration treatments. This was especially true in case study 1, in which the IR revealed the decorative pattern of the original dress, and in case study 4, where, on the one hand the presence of the deer hidden in the forest was an element in favor of possible attribution to Courbet but, on the other hand, the reuse of the canvas made it clear

Conclusiones

El análisis, la comprensión y la evaluación de las pinturas superpuestas resulta, a menudo, muy complejo debido a las capas de repintes que cubren las capas originales. Las pinturas superpuestas pueden corresponder a diferentes artistas y periodos, dando lugar a materiales y técnicas incongruentes. Por lo tanto, la XR debe complementarse con el MBTI para obtener más información diagnóstica.

Mientras que la XR revela materiales con un elevado peso atómico y, en consecuencia, una alta radiopacidad, otros materiales que son menos visibles o invisibles con esta técnica pueden detectarse a veces con IR o, dependiendo del grosor y de los pigmentos del repinte, con IRT. Es crucial recordar que la información obtenida con la IRT puede ser significativa incluso en pinturas repintadas.

La combinación de XR, IR e IRT en una imagen híbrida ofrece una forma práctica de mostrar pruebas complementarias ilustrando la relación entre las diferentes pistas visuales y sus ubicaciones relativas dentro de los cuadros superpuestos. Este enfoque permite crear una imagen clara, lógica y didáctica y garantiza que la información sea concisa y fácilmente comprensible.

Aunque la utilidad del MBTI es conocida desde hace tiempo por los historiadores del arte que estudian importantes obras de arte del patrimonio público en los grandes museos, podría ser igualmente relevante en el estudio de obras de arte de autoría dudosa en colecciones privadas. El uso del MBTI puede contribuir a nuestra comprensión de la materialidad de una obra de arte y, junto con otras técnicas como la microscopía digital, permite a nuestro equipo proponer nuevas atribuciones y fechas para estos casos de estudio. Las características estilísticas de las capas subyacentes visualizadas con el MBTI pueden proporcionar información valiosa para la atribución y datación. Los resultados del MBTI son cruciales para evaluar la calidad y el estado de la capa pictórica subyacente con el

that the attribution to Courbet should be discarded because the woman was after 1877, the date of Courbet's death.

Acknowledgments

The authors would like to express our thanks to all the specialists who were consulted and kindly shared their observations during the process of studying the artworks, especially Marta Raïch, Miquel Ángel Herrero, Ana Diéguez, and Carmen Garrido (*in memoriam*), to the restorers Ana Villalba and Salut Díez, to the CAEM work team, and to the owners of the paintings.

fin de tomar decisiones sobre la conveniencia de emprender tratamientos de restauración. Esto fue especialmente aplicable en el estudio de caso 1, en el que el IR reveló el patrón decorativo del vestido original, y en el estudio de caso 4, en el que, por un lado, la presencia del ciervo escondido en el bosque era un elemento a favor de una posible atribución a Courbet pero, por otro, la reutilización del lienzo dejaba claro que la atribución a Courbet debía descartarse porque la mujer era posterior a 1877, fecha de la muerte de Courbet.

Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento a todos los especialistas consultados que amablemente compartieron sus observaciones durante el proceso de estudio de las obras, especialmente a Marta Raïch, Miquel Ángel Herrero, Ana Diéguez y Carmen Garrido (*in memoriam*), a las restauradoras Ana Villalba y Salut Díez, al equipo de trabajo del CAEM y a los propietarios de los cuadros.

References | Bibliografía

Argelich, M.A., & Borrás, M. (2023a). *Anónimo seguidor de Gustave Courbet y Léon-François Comerre. Desnudo femenino en un lago* [Unpublished art historical report].

Argelich, M.A., & Borrás, M. (2023b). *Anónimo seguidor de Gustave Courbet. Bosque* [Unpublished art historical report].

Bomford, D., Kirby, J., Roy, A., Rüger, R., & White, R. (2006). *Art in the making: Rembrandt*. National Gallery Company.

Borrás, M., & Company, X. (2022). *Círculo de Diego Rodríguez de Silva y Velázquez. Retrato de Felipe el Próspero.* [Unpublished art historical report].

Borrás, M., Company, X., & Negre, M. (2021). *Círculo de Jan Claesz. Retrato de un niño con perro.* [Unpublished art historical report].

Calvo, A. (2003). *Conservación y restauración. Materiales, técnicas y procedimientos. De la A a la Z*. Barcelona: Ediciones del Serbal.

Cosentino, A. (2016). Infrared Technical Photography for art examination. *e-preservation Science*, *13*, 1-6. https://www.morana-rtd.com/e-preservationscience/TOC.html

Cucci, C., Picollo, M., & Vervat, M. (2012). Trans-illumination and trans-irradiation with digital cameras: Potentials and limits of two imaging techniques used for the diagnostic investigation of paintings. *Journal of Cultural Heritage*, *13*(1), 83-88. https://doi.org/10.1016/j.culher.2011.07.002

Garrido, C., Company, X., & Borrás, M. (2022). El Príncipe Felipe Próspero. In Garrido, C., *Velázquez. El fluir expresivo de su pintura* (pp. 254-275). Lleida: Universitat de Lleida.

Herrero-Cortell, M., Artoni, P., & Raïch, M. (2020). Transmitted light imaging in VIS and IR, in the study of paintings: a brief report on the behavior of the main historical pigments. *Cultura e Scienza del Colore-Color Culture and Science*, *12*(02), 79-88. https://doi.org/10.23738/CCSJ.120210

Herrero-Cortell, M., Artoni, P., Raïch, M., Aliaga, J., & Puig, I. (2021). Observando a través de los estratos: fotografía infrarroja transmitida (IRT) aplicada al estudio técnico y documental de pinturas sobre lienzo. *Ge-conservación*, *19* (1), 62-73. https://doi.org/10. 37558/gec.v19i1.840

Madrid, J.A. (2012). Metodología para la obtención de una radiografía digital de gran formato, aplicada a la talla de san Juan Berchmans. *Arché. 6-7*, 259-264.

Madrid, J.A. (2013). Use of telemetry X-ray techniques in large-size pictorial works. *Ge-conservación*. *5*, 101-109. https://doi.org/10.37558/gec.v5i0.170

Salas, C., & Porras-Isla, M. (2018). Proyecto COREMANS. Criterios de intervención en pintura de caballete / The COREMANS Project. Easel Paintings. Madrid: Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. Secretaria General Técnica.

Villalba, A., & Díez, S. (2023a). *Desnudo femenino en un lago. Informe de restauración.* [Unpublished restoration report].

Villalba, A., & Díez, S. (2023b). *Bosque. Informe de restauración.* [Unpublished manuscript].

Villalba, A., & Díez, S. (2022). *Retrato de Felipe el Próspero. Informe de restauración.* [Unpublished restoration report].

Villalba, A., & Díez, S. (2021). *Retrato de un niño con perro. Informe de restauración.* [Unpublished restoration report].

Details showing the different behavior of the bole layer on the sculpture, on the back of the mantle, in VIS (top) and RIR (bottom).

Detalles del comportamiento diferencial del bol en la escultura, en la parte posterior del manto, en VIS (arriba) y RIR (abajo).

INVISIBLE MIRACLES: STUDY WITH MULTIBAND IMAGING TECHNIQUES OF *NUESTRA SEÑORA DE GUANAJUATO*

MILAGROS INVISIBLES: ESTUDIO CON TÉCNICAS DE IMAGEN MULTIBANDA DE NUESTRA SEÑORA DE GUANAJUATO

Montserrat Gómez [a]*, Sonia De León Romero [a], Ramón Avendaño Esquivel [b], Gerardo Hernández Rosales [a]
[a]*Escuela de Conservación y Restauración de Occidente, Mexico*
[b]*Museo Nacional de Arte, Mexico*

* *m.gomez@ecro.edu.mx*

Introduction

Nuestra Señora de Guanajuato, a sixteenth-century polychrome wood sculpture decorated with estofado technique[1] (Figure 1). That is venerated to this day, is located in the Basilica of Nuestra Señora de Guanajuato, in Guanajuato, México. Due to its devotional, historical, and formal transcendence for the community in which it is located, it has undergone several interventions, as the case below illustrates.

In the year 2023, at the request of the ecclesiastical authorities of the Basilica Colegiata of *Nuestra Señora de* Guanajuato, the sculpture was assessed by the professional conservation studio ORO Conservación & Restauración and

[1] The presence of gold leaf within the polychrome layers is known as the estofado technique (Perez-Rodriguez et al., 2017, p. 7).

Introducción

Nuestra Señora de Guanajuato, escultura de madera policromada del siglo XVI decorada con técnica de estofado[1] (Figura 1). que se venera hasta nuestros días, se encuentra en la Basílica de Nuestra Señora de Guanajuato, en Guanajuato, México. Debido a su trascendencia devocional, histórica y formal para la comunidad en la que se ubica, ha sido objeto de diversas intervenciones, como lo ilustra el caso que se presenta a continuación .

En el año 2023, a petición de las autoridades eclesiásticas de la *Basílica Colegiata de Nuestra Señora de* Guanajuato, la escultura fue valorada por el estudio profesional de conservación ORO Conservación y Restauración y la organización no gubernamental

[1] La presencia de pan de oro dentro de las capas policromadas se conoce como técnica del estofado (Perez-Rodriguez et al., 2017, p. 7).

Figure 1 | Front, back, and side views of the sculpture before the restoration process. Unknown artist, *Nuestra Señora de Guanajuato*, ca. 15th century. Polychrome and *estofado* sculpture, 143 × 54 × 36 cm. Guanajuato, Mexico, Basílica Colegiata de Nuestra Señora de Guanajuato and associated collections.

Figura 1 | Vistas frontal, posterior y laterales de la escultura antes del proceso de restauración. Autor desconocido, *Nuestra Señora de Guanajuato*, ca. siglo xv. Escultura policromada y estofada, 143 × 54 × 36 cm. Guanajuato, México, Basílica Colegiata de Nuestra Señora de Guanajuato y colecciones asociadas.

the non-governmental organization Guanajuato Patrimonio de la Humanidad A.C., who joined forces to carry out the diagnosis and holistic conservation project. The restoration project was divided into two stages, the first focused on the material study and the second on the restoration processes that were carried out *in situ*. The main objective of these interventions was to stabilize and recover the aesthetic characteristics of the sculpture, for the community of Guanajuato.

On February 9, 2023, the Área de Documentación y Análisis por Imagen (DAPI) of the Escuela de Conservación y Restauración de Occidente (ECRO) was requested to carry out a radiographic and multiband image study of the artwork, with the goal of contributing to its material understanding.

Guanajuato Patrimonio de la Humanidad A.C., quienes unieron esfuerzos para llevar a cabo el diagnóstico y proyecto de conservación integral. La intervención conservativa se dividió en dos etapas, la primera enfocada al estudio material y la segunda a los procesos de restauración que se llevaron a cabo *in situ*. El objetivo principal de estas actuaciones era el estudio preliminar de la pieza para el asesoramiento técnico en la recuperación las características estéticas de la escultura, para la comunidad guanajuatense.

El 9 de febrero de 2023 se solicitó al Área de Documentación y Análisis por Imagen (DAPI) de la Escuela de Conservación y Restauración de Occidente (ECRO) la realización de un estudio radiográfico y de imagen multibanda de la obra, con el din de contribuir a su conocimiento material.

Historical Background of *Nuestra Señora de Guanajuato*

The aforementioned work is a polychrome wooden sculpture, of "full body and its height around one vara and a half"[2,3] (Florencia, 1755, p. 283); it does not include any inscription because the "artist that made it did not intend to figure in her any mystery of her life, but only to make a perfect image of the Virgin"[4] (1755, p. 283). Although at some point it was venerated under the title of the Rosary, it would soon become known as *Nuestra Señora de Guanajuato*.

The sculpture represents the Virgin Mary at a young age, holding the Child Jesus in her left arm, while the right hand is raised in a blessing gesture, in which she formerly carried a carved rose according to the chronicle of Florencia[5] (1755). The light *contrapposto* and the compactness of the human anatomy stand out, in addition to the intricate work of the *estofado* that enriches the volumetric draping of the tunic, the headdress, and the mantle. The ornamental motifs imitate rich *estofas*, showcasing the different polychromy throughout the work. A difference between the complex multicolor design on the front and the bichrome pattern on the back is notable, which is complemented by the other area's gold leaf, as seen on the infant's blond Renaissance-esque hairstyle finished with soft touches of lacquer,[6] highlighting the relief of the locks.

[2] Translated from original: "cuerpo entero y su estatura como de vara y media" (Florencia, 1755: 283).

[3] Length measurement that was used in different regions of Spain with different values, ranging between 768 and 912 mm (Real Academia Española, 2024).

[4] Translated from original: "artífice que la hizo no pretendió figurar en ella ningún misterio de su vida, sino solamente hacer una perfecta imagen de la Virgen" (Florencia, 1755, p. 283).

[5] Francisco Florencia was a Jesuit priest active at the end of the 17th century who wrote the Marian Zodiac. It is a compilation of the images of the Virgin Mary, which were venerated in New Spain in the Viceroyalty period (Ríos, 2003).

[6] This refers to a type of varnish and not an East Asian Urushi lacquer.

Antecedentes históricos de *Nuestra Señora de Guanajuato*

Dicha obra es una escultura de madera policromada, de «cuerpo entero y su altura alrededor de vara y media[2] (Florencia, 1755, p. 283); no incluye inscripción alguna porque el "artista que la hizo no pretendió figurar en ella ningún misterio de su vida, sino sólo hacer una imagen perfecta de la Virgen" (1755, p. 283). Aunque en algún momento fue venerada bajo la advocación del Rosario, pronto pasaría a ser conocida como *Nuestra Señora de Guanajuato*.

La escultura representa a la Virgen María en edad juvenil, sosteniendo al Niño Jesús en el brazo izquierdo, mientras levanta la mano derecha en gesto de bendición, en la que antiguamente portaba una rosa tallada según la crónica de Florencia[3] (1755). Destacan el ligero *contrapposto* y la compacidad de la anatomía humana, además del intrincado trabajo del *estofado* que enriquece el volumétrico drapeado de la túnica, la toca y el manto. Los motivos ornamentales imitan ricas *estofas*, mostrando la diferente policromía a lo largo de la obra. Destaca la diferencia entre el complejo diseño multicolor del anverso y el motivo bicromo del reverso, que se complementa con el pan de oro de la otra zona, como puede observarse en el rubio peinado de estilo renacentista del infante, rematado con suaves toques de laca,[4] resaltando el relieve de los mechones.

[2] Medida de longitud que se utilizó en diferentes regiones de España con diferentes valores, oscilando entre 768 y 912 mm (Real Academia Española, 2024) .

[3] Francisco Florencia fue un sacerdote jesuita activo a finales del siglo XVII que escribió el Zodiaco Mariano. Se trata de una recopilación de las imágenes de la Virgen María que se veneraban en Nueva España en la época virreinal (Ríos, 2003).

[4] Se refiere a un tipo de barniz y no a una laca Urushi de Asia Oriental.

In his chronicles, Florencia (1755) pays special attention to the materiality of the sacred image. It is possible to infer the questions he might have had about the sculptural support when he points out that "the material of which it is formed is of incorruptible wood, which is proven by the experience of so many years, in which no injury is found, but it has not been possible to find out, nor determine if it is of cedar, pine, or other wood"[7] (Florencia, 1755, p. 283). The author also highlights the material stability of the sculpture that certainly remains true through the centuries. Later he adds that "the mantle and tunic with which she is adorned is of the same carving and wood, although it does not prevent her from wearing mantles that devotion has given her of very rich fabrics"[8] (Florencia, 1755, p. 283).

In formal terms, the similarity with the *Virgen de la Rosa* (close to the century XV) of the Metropolitan Cathedral of Guadalajara cannot be ignored, as well as the iconographic proximity with the so-called *Virgen de la Antigua* (close to the century XIV) of the Cathedral of Seville (Díaz, 2012, p. 94), in which the rich *estofas* of the wide mantle, the rose in the Virgin's hand and undoubtedly the little bird held by the infant dominate. Beyond this formal correspondence and the historical-aesthetic aspects already described, the meticulous conservation work carried out in 2023, in concert with scientific studies, made it possible to identify the work from its materiality, while comparing it with the descriptions of historical sources such as the text of Florencia (1755). Despite these formal and historical comparisons with other sculptural images, we cannot infer its attribution; this text focuses on the use of multiband techniques that contribute only to its

En sus crónicas, Florencia (1755) presta especial atención a la materialidad de la imagen sagrada. Es posible inferir las dudas que pudo tener sobre el soporte escultórico cuando señala que "el material de que está formada es de madera incorruptible, lo que prueba la experiencia de tantos años, en que no se encuentra lesión alguna, pero no se ha podido averiguar, ni determinar si es de cedro, pino, u otra madera" (Florencia, 1755, p. 283). El autor destaca también la estabilidad material de la escultura que, sin duda, se mantiene a lo largo de los siglos. Más adelante añade que "el manto y túnica con que se adorna es de la misma talla y madera, aunque no impide que lleve mantos que la devoción le ha dado de muy ricas telas" (Florencia, 1755, p. 283).

En términos formales, no puede obviarse la similitud con la *Virgen de la Rosa* (probablemente del siglo XV) de la Catedral Metropolitana de Guadalajara, así como la proximidad iconográfica con la llamada *Virgen de la Antigua* (siglo XIV) de la Catedral de Sevilla (Díaz, 2012, p. 94), en la que dominan las ricas *estofas* del amplio manto, la rosa en la mano de la Virgen y sin duda el pajarillo que sostiene el infante. Más allá de esta correspondencia formal y de los aspectos histórico-estéticos ya descritos, el minucioso trabajo de conservación realizado en 2023 y los diversos estudios científicos, permitieron conocer la obra a partir de su materialidad, comparándola al mismo tiempo con las descripciones de fuentes históricas como el texto de Florencia (1755). A pesar de estas comparaciones formales e históricas con otras imágenes escultóricas, nada puede inferirse sobre su atribución; este texto se centra en el uso de técnicas multibanda que contribuyen principalmente a su estudio material. Para realizar una atribución de la obra, sería necesario un análisis detallado realizado por especialistas en la materia.

[7] Translated from original: "la materia de que está formada es de madera incorruptible, lo cual se prueba con la experiencia de tantos años, en que no se le halla lesión alguna, pero no se ha podido averiguar, ni determinar si sea de cedro, pino, o de otra madera" (Florencia, 1755, p. 283).

[8] Translated from original: "el manto, y túnica con que se adorna es de la misma talla, y madera, aunque no impide que se le pongan mantos, que la devoción le ha dado de riquísimas telas" (Florencia, 1755: 283).

material study. To make an attribution of the artwork, a detailed analysis carried out by specialists in the subject would be necessary.

Methods and Equipment used for the Study

To understand the technique, conservation condition, and previous interventions of the sculpture, non-invasive techniques were carried out: X-Ray digital imaging (XR) and multiband imaging (MBTI). The latter included visible light imaging (VIS), ultraviolet-induced visible luminescence (UVL), reflected UV imaging (UVR), reflected infrared imaging (RIR), and the images processed as false color infrared (IRFC) and false color ultraviolet (UVFC) images. At the same time, this study sought to identify the scope, contributions, and limitations of MBTI complemented with digital radiography for the study of polychrome wood sculpture.[9]

The X-Ray imaging was produced with a mobile unit Poskom PXM-20BT with a kV range of 40 and 100kV and from 4.0 to 50 mA. For the case of the sculpture, the range used was 60 kV 5 mA at a distance of 1 meter. The image receptor was a Flatpanel AGFA model DR14e of 14 x 17" with an amorphous silicon detector with TFT and a scintillation screen of cesium iodide or gadolinium-oxysulphide, with a pixel size of 150 µm and an effective matrix 2336 x 2836 pixels. The image processing was completed with the software MUSICA (Multi-Scale Image Contrast Amplification).

Métodos y equipos utilizados para el estudio

Para conocer la técnica, el estado de conservación y las intervenciones anteriores de la escultura se llevaron a cabo técnicas no invasivas: Imágenes digitales de rayos X (RX) e imágenes multibanda (IMB). Esta última incluía imágenes de luz visible (VIS), luminiscencia visible inducida por ultravioleta (UVL), imágenes de UV reflejado (UVR), imágenes de infrarrojo reflejado (IR) e imágenes híbridas de falso color infrarrojo (IRFC) y ultravioleta (UVFC). Al mismo tiempo, este estudio pretendía identificar el alcance, las aportaciones y las limitaciones del MBTI complementado con la radiografía digital para el estudio de la escultura de madera policromada.[5]

Las imágenes de rayos X se produjeron con una unidad móvil Poskom PXM-20BT con un rango de kV de 40 y 100kV y de 4,0 a 50 mA. F ara el caso de la escultura, el rango utilizado fue de 60 kV 5 mA a una distancia de 1 metro. El receptor de imagen fue un Flatpanel AGFA modelo DR14e de 14 x 17" con un detector de silicio amorfo con TFT y una pantalla de centelleo de yoduro de cesio o gadolinio-oxisulfuro, con un tamaño de píxel de 150 µm y una matriz efectiva de 2336 x 2836 píxeles. El procesamiento de las imágenes se realizó con el programa MUSICA (Multi-Scale Image Contrast Amplification).

El MBTI se llevó a cabo con una Nikon DSLR D800, de 36MP con un sensor CMOS de silicio. Se eliminó el filtro interno responsable del bloqueo de la radiación

[9] Translated from original: "el manto, y túnica con que se adorna es de la misma talla, y madera, aunque no impide que se le pongan mantos, que la devoción le ha dado de riquísimas telas" (Florencia, 1755: 283). The MBTI techniques, in contrast to XR, have not been widely applied to the study of polychrome wood sculpture. It has been applied to other polychrome tridimensional objects, including archeological artifacts in stone (Bracci et al., 2019, p.145), coatings of historic musical instruments (Cavaleri et al., 2019, p. 172), pigments and metallic leaves in Greek marble sculpture (Bassoet al., 2023, p. 5) (Liverani et al., 2023, p. 3391) and to identify previous restorations in conservation treatment (Levin et al., 2017, p. 397).

[5] Translated from original: "el manto, y túnica con que se adorna es de la misma talla, y madera, aunque no impide que se le pongan mantos, que la devoción le ha dado de riquísimas telas" (Florencia, 1755: 283). Las técnicas del MBTI, a diferencia de la RX, no se han aplicado ampliamente al estudio de la escultura de madera policromada. Se ha aplicado a otros objetos tridimensionales policromados, incluidos objetos arqueológicos en piedra (Bracci *et al et al*.., 2019, p.145), revestimientos de instrumentos musicales históricos (Cavaleri et al., 2019, p. 172), pigmentos y hojas metálicas en esculturas griegas de mármol (Basso *et al et al*.., 2023,, p. 5) (Liverani et al., 2023, p. 3391) y para identificar restauraciones anteriores en tratamientos de conservación (Levin *et al.* , 2017 p. 397).

The MBTI was carried out with a Nikon DSLR D800, 36MP with a silicon CMOS sensor. The hot mirror filter, responsible for the UV and IR absorption was removed, extending its wavelength sensitivity from 300 to 1100 nm. The lens used was a Nikon AF-S NIKKOR 50 mm f/1.8G with filters *Robertina* from Cultural Heritage Science Open Source (CHSOS). The visible filter corresponds to the range from 400 nm to 750 nm, the ultraviolet from 300 nm to 400 nm, and the infrared from 800 nm to 1000 nm.[10]

The radiation sources, for visible (VIS) and reflected infrared imaging (RIR) used were two Bowens Gemini 400Rx flash heads (90-120VAC; 5600K) with 36" silver/white parabolic reflectors. For ultraviolet-induced visible luminescence (UVL) and reflected UV imaging (UVR), two Fabrizio UV LED lamps from CHSOS emitting at 365nm, long-wave (UVA), were used.

The RAW files of the images were processed in Adobe Photoshop 2021 with the Camera Raw plug-in version 13.1. Calibration was performed with the TP and MSI calibration card from CHSOS. White balance calibration for the visible light (VIS) images was performed on the second N8 gray patch (with a reflectance value of 60%) to remove any color casts. The exposure was adjusted with the color sample tool on the same patch by adjusting the 0 to 255 brightness scale of the RGB channels to 200 +/- 20. For the blue-violet dominant correction of the ultraviolet-induced visible luminescence (UVL) images, a Temperature of 47800 Kelvin and Hue +80 was assigned. Exposure adjustment was performed with color sample over the second gray patch by adjusting the brightness of the blue channel to 150 +/- 20. For the ultraviolet reflected (UVR) and infrared reflectance (RIR) images the

[10] These ranges were obtained from the CHSOS manufacturer's website, which can be found at the following link: https://chsopensource.org/technical-photography-filters-set/

UV e IR, ampliando su sensibilidad de longitud de onda de 300 a 1100 nm. El objetivo utilizado fue un Nikon AF-S NIKKOR 50 mm f/1.8G con filtros *Robertina* de Cultural Heritage Science Open Source (CHSOS). El filtro visible corresponde al rango de 400 nm a 750 nm, el ultravioleta de 300 nm a 400 nm, y el infrarrojo de 800 nm a 1000 nm.[6]

Las fuentes de radiación, para imágenes visibles (VIS) e infrarrojas reflejadas (IR) empleadas fueron dos cabezales de flash Bowens Gemini 400Rx (90-120VAC; 5600K) con reflectores parabólicos plateados/blancos de 36". Para la luminiscencia visible inducida por ultravioleta (UVL) y la imagen UV reflejada (UVR), se utilizaron dos lámparas LED de CHSOS que emitían Fabrizio 365 nm, onda larga (UVA).

Los archivos RAW de las imágenes se procesaron en Adobe Photoshop 2021 con el plug-in Camera Raw versión 13.1. La calibración se realizó con la tarjeta de calibración TP y MSI de CHSOS. La calibración del balance de blancos para las imágenes de luz visible (VIS) se realizó en el segundo parche gris N8 (con un valor de reflectancia del 60%) para eliminar cualquier dominante de color. La exposición se ajustó con la herramienta de muestra de color en el mismo parche ajustando la escala de brillo de 0 a 255 de los canales RGB a 200 +/- 5. Para la corrección de la dominante azul-violeta de las imágenes de luminiscencia visible inducida por rayos ultravioleta (UVL), se asignó una temperatura de 47800 Kelvin y un tono de +80. El ajuste de la exposición se realizó con muestra de color sobre el segundo parche gris ajustando el brillo del canal azul a 150 +/- 5. Para las imágenes de reflectancia ultravioleta (UVR) e infrarroja (IR) los archivos se trabajaron en escala de grises, pero manteniendo la información de los canales RGB. El ajuste de la exposición

[6] Estos rangos se obtuvieron de la página web del fabricante de CHSOS, que puede consultarse en el siguiente enlace: Robertina - Technical Photography Filters Set - Cultural Heritage Science Open Source

files were worked in grayscale, but keeping the information of the RGB channels. The exposure adjustment was performed with color sample on the second gray patch by adjusting the brightness at the level 150 +/- 20 for UVR and 200 +/- 20 for RIR (Cosentino, 2024).

Results from the Study of *Nuestra Señora de Guanajuato*

Technical Description

Sculpture Structure

Nuestra Señora de Guanajuato is a freestanding, round sculpture carved in wood,[11] used as a devotional image to this day. XR helped to determine that the volume of the sculpture corresponds to a single wood block; the lack of joints or assemblies also supports this theory. The radiographic images also revealed the vertical parallel lines throughout the sculpture corresponding to the wood grain. In addition, there is a hollowing from the shoulders to the base (Figure 2). As is known, with this type of non-invasive technique, it is not possible to accurately identify the type of wood with which the sculpture was made, so other types of studies are required (Marincola & Kargère., 2020, p. 28).

In contrast, the use of metal fasteners such as nails or pins can be observed, the majority of these were used in later centuries to place complementary elements such as crowns, haloes, garments, and other decorative accessories (Figure 2).

[11] The analysis of micro-samples was carried out by the Laboratory of Heritage Analysis and Diagnosis (LADiPA), which mentions the use of conifers for the elaboration of the carving, for more information refer to (Zárate & Sánchez, 2023).

se realizó con muestra de color en el segundo parche gris ajustando el brillo al nivel 150 +/- 20 para UVR y 200 +/- 20 para RIR (Cosentino, 2024).

Resultados del estudio de *Nuestra Señora de Guanajuato*

Descripción técnica

Estructura escultórica

Nuestra Señora de Guanajuato es una escultura exenta de bulto redondo tallada en madera,[7] utilizada como imagen devocional hasta nuestros días. La RX ayudó a determinar que el volumen de la escultura corresponde a un solo bloque de madera; la ausencia de juntas o ensambles también apoya esta teoría. Las imágenes radiográficas también revelaron las líneas verticales paralelas en toda la escultura que corresponden a la veta de la madera. Además, hay un ahuecamiento desde los hombros hasta la base (Figura 2). Como es sabido, con este tipo de técnica no invasiva no es posible identificar con precisión el tipo de madera con el que fue realizada la escultura, por lo que se requieren otro tipo de estudios (Marincola y Kargère, 2020, p. 28).

En cambio, se observa el uso de elementos de sujeción metálicos como clavos o alfileres, la mayoría de ellos utilizados en siglos posteriores para colocar elementos complementarios como coronas, aureolas, prendas de vestir y otros accesorios decorativos (Figura 2).

[7] El análisis de las micromuestras fue realizado por el Laboratorio de Análisis y Diagnóstico Patrimonial (LADiPA), el cual menciona el uso de coníferas para la elaboración de la talla, para mayor información referirse a (Zárate y Sánchez, 2023).

Figure 2 | Frontal radiographic images of the upper and central sections of the sculpture. The images reveal the wood grain, the internal hollowing, and several metallic elements.

Figura 2 | Imágenes radiográficas frontales de la parte superior y central de la escultura. En ellas se aprecian la veta de la madera, el vaciado interior y diversos elementos metálicos.

Ground Layers

Traditionally, the placement of the ground layers consists of the application of thick plaster or *yeso grueso*, and matte plaster, or *yeso mate*, composed of either calcium carbonate or sulfate bound with animal glue (Bartolomé, 2001). *Nuestra señora de Guanajuato* exhibits at least two different priming methods, one in the garments and the other in the flesh tone, or *encarnación*. Imaging with UVL of the *estofado* where the

Preparación

Tradicionalmente, la preparación consiste en la aplicación de *yeso grueso o yeso grueso*, y yeso *mate*, o *yeso mate*, compuesto de carbonato o sulfato de calcio ligado con cola animal (Bartolomé, 2001). *Nuestra señora de Guanajuato* exhibe al menos dos estratos diferentes de imprimación, uno en los ropajes y otro en el tono de la carne, o *encarnación*. La toma de imágenes con UVL del *estofado* donde la capa de fondo estaba expuesta

ground layer was exposed made it possible to discern a translucent coating with a yellowish luminiscence, which may have been used to seal the ground layer. In contrast, with this same radiation, the exposed ground layer of the flesh tone did not luminesce. Still, it appeared a slightly bluish-white hue corresponding to the reflection of the ultraviolet lamp.

Bole Layer

Bole is "a very fine earth found in basalt crevices and is composed mainly of ferruginous clay" (Gañán, 2001, p. 199). In the sixteenth century, artisans would bind the bole layers with a protein-based adhesive and distribute two to six coats over the ground layers (Bartolomé, 2001). The behavior of this material under IR radiation is interesting. The RIR study of Our Lady of Guanajuato showed that the areas where the bole layer is thin, as in the case of the arm area on the front of the sculpture, appear transparent in RIR, and when it is thick, as in the areas of lost stew on the mantle at the back, it is slightly opaque (Figure 3). Two hypotheses could explain this differential behavior: the bole of the polychrome layers on the front and back may be indeed of a different thickness, but it could also indicate the presence of different materials. The RIR imaging proves to be a useful tool to map these differences in the bole layer.

Gilding

The hair and drapery were decorated by placing a gold leaf over the bole layer. The luster and shine of the gold surface indicate that it was applied "al agua"; that is to say, reactivating the adhesive only with water, which allowed it to be burnished. The gold leaf has an absorption with UVL and appears bright white in RIR and UVR. It must be taken into account that in the two latter techniques, the intensity of the brightness is influenced by the angle of the light as it is a three-dimensional object.

permitió discernir un recubrimiento translúcido con una fluorescencia amarillenta, que pudo haber sido utilizado para sellar la capa de fondo. En cambio, con esta misma radiación, la capa de fondo expuesta del tono carne no presentaba luminiscencia. Sin embargo, presentaba un tono blanco ligeramente azulado que correspondía al reflejo de la lámpara ultravioleta.

Capa de bol

El bol es "una tierra muy fina que se encuentra en las grietas basálticas y está compuesta principalmente por arcilla ferruginosa" (Gañán, 2001, p. 199). En el siglo XVI, los artesanos unían las capas de bol con un adhesivo proteico y distribuían de dos a seis capas sobre los estratos de preparación (Bartolomé, 2001). El comportamiento de este material ante la radiación IR es interesante. El estudio IR de Nuestra Señora de Guanajuato mostró que las zonas donde la capa de bole es delgada, como en el caso de la zona de los brazos en la parte frontal de la escultura, aparecen transparentes en IR, y cuando es gruesa, como en las zonas del estofado perdido en el manto de la parte posterior, es ligeramente opaca (Figura 3). Dos hipótesis podrían explicar este comportamiento diferencial: el espesor de las capas policromas del anverso y del reverso puede ser efectivamente diferente, pero también podría indicar la presencia de materiales diferentes. La imagen IR demuestra ser una herramienta útil para cartografiar estas diferencias en la capa del bol.

Dorado

El cabello y los paños se decoraban colocando una lámina de oro sobre la capa de bol. El lustre y el brillo de la superficie dorada indican que se aplicó "al agua"; es decir, reactivando el adhesivo sólo con agua, lo que permitió bruñirlo. El pan de oro tiene una absorción con UVL y aparece blanco brillante en IR y UVR. Hay que tener en cuenta que, en estas dos últimas técnicas, la intensidad del brillo está influida por el ángulo de la luz, ya que se trata de un objeto tridimensional.

Figure 3 | Details showing the different behavior of the bole layer on the sculpture. The Virgin's right arm (left) and the back of the mantle (right) in VIS (top) and RIR (bottom).

Figura 3 | Detalles del comportamiento diferencial del bol en la escultura. El brazo derecho de la Virgen (izquierda) y la parte posterior del manto (derecha) en VIS (arriba) y RIR (abajo).

Estofado

The exterior of the mantle presents a complex superposition of layers, which provides effects of color and movement to this element; the *estofas* are arabesque decorations in dark blue color of "linear scheme where vegetal motifs are repeated rhythmically [...]. Their origin is to be found in Muslim art and they were popularized in the sixteenth century in Europe"[12] (Bartolomé, 2001, p. 107). There was no evidence of the use of a stencil or template to make the design, although due to its homogeneity, it is proposed that it was made using a stencil. The UVFC image (Figure 4) shows the application of a blue pigment of a different nature from the rest of the mantle, located only inside the inner folds. In addition, with UVL a faint orange coloration

Estofado

El exterior del manto presenta una compleja superposición de capas, que proporciona efectos de color y movimiento a este elemento; las *estofas* son decoraciones arabescas en color azul oscuro de "esquema lineal donde se repiten rítmicamente motivos vegetales [...]. Su origen se encuentra en el arte musulmán y se popularizaron en el siglo XVI en Europa" (Bartolomé, 2001, p. 107). No hay indicios de que se utilizara un esténcil o una plantilla para realizar el diseño, aunque debido a su homogeneidad, se propone que fue realizado utilizando un esténcil. La imagen UVFC (Figura 4) muestra la aplicación de un pigmento azul de naturaleza diferente al del resto del manto, localizado únicamente en el interior de los pliegues internos. Además, con UVL se observó una tenue

[12] Translated from original: "esquema lineal donde se repiten rítmicamente motivos vegetales [ ]. Su origen lo debemos situar en el arte musulmán y fueron popularizados en el siglo XVI en Europa" (Bartolomé, 2001, p. 107).

was observed, which probably corresponds to the underlying layers that are exposed in those areas (Figure 4).

On the front of the sculpture, there is a different type of *estofado*, composed of vegetal motifs with burnished and punchwork decorations made directly on the gold leaf. In the lower area of the drapery, there is a very elaborate valence in the form of a gold trim border, which was made with different size punches. Due to its decoration, this *estofado* is considered to be closer to the eighteenth century.[13] Under RIR, it is possible to distinguish the technical resources used for the elaboration of these motifs (punching and *sgraffito*) directly on the gold leaf and on the layers of paint. The UVR image (Figure 5) shows a monochromatic image that allows observation of the decorative texture.

On the front of the sculpture, the decorative motifs were made with a brush tip, likely whit lead white pigment due to the high radiodensity presented in XR, strong luminescence in UVL, and the light tone in UVR (Figure 5).

In the tunic, we can find plant motifs painted with a brush tip, punchwork, and *sgraffito*, the latter technique was performed on red, blue, and white pigments (as in the Hebraic cloth or tallit of the child). Gañán (2001, p. 211) mentions that "for this technique, a type of paint that can be scratched is used, such as egg tempera."[14] The removal of paint directly on the tempera color to expose the gold leaf becomes easily identifiable on the UVL and IRFC techniques.

coloración anaranjada, que probablemente corresponde a las capas subyacentes que quedan al descubierto en esas zonas (Figura 4).

En la parte frontal de la escultura, hay un tipo diferente de *estofado*, compuesto por motivos vegetales con decoraciones bruñidas y punzonadas realizadas directamente sobre el pan de oro. En la zona inferior del paño, hay una cenefa muy elaborada en forma de cenefa de pasamanería dorada, realizada con punzones de diferentes tamaños. Por su decoración, este *estofado* se considera más cercano al siglo XVIII.[8] En la RIR es posible distinguir los recursos técnicos utilizados para la elaboración de estos motivos (punzonado y *esgrafiado*) directamente sobre el pan de oro y sobre las capas de pintura. La imagen UVR (Figura 5) muestra una imagen monocromática que permite observar la textura superficial de los elementos decorativos.

En la parte frontal de la escultura, los motivos decorativos se realizaron con una punta de pincel, probablemente con pigmento blanco de plomo debido a la alta radiopacidad que presenta en XR, la fuerte luminiscencia en UVL y el tono claro en UVR (Figura 5).

En la túnica podemos encontrar motivos vegetales pintados con punta de pincel, punzonados y *esgrafiados*, esta última técnica se realizaba sobre pigmentos rojos, azules y blancos (como en el paño hebraico o *tallit* del niño). Gañán (2001, p. 211) menciona que "para esta técnica se utiliza un tipo de pintura que se pueda rayar, como el temple al huevo". La eliminación de la pintura directamente sobre el color de la témpera para exponer el pan de oro resulta fácilmente identificable en las técnicas UVL e IRFC.

[13] According to what was observed in a painting called "Nuestra Señora de Santa Fe de Guanajuato" belonging to the Cathedral Basilica of San Juan de los Lagos, Jalisco, by an anonymous author, but dated 1734, in which the image is distinguished already with this decoration.

[14] Translated from original: "para esta técnica se utiliza un tipo de pintura que se puede arañar como es el temple de huevo" (Gañán, 2001, p. 211).

[8] De acuerdo a lo observado en una pintura llamada "Nuestra Señora de Santa Fe de Guanajuato" perteneciente a la Catedral Basílica de San Juan de los Lagos, Jalisco, de autor anónimo, pero fechada en 1734, en la que se distingue a la imagen ya con esta decoración.

Figure 4 | Detail of the back of the sculpture in VIS (left), IRFC (center), and UVL (right). The UVL image reveals the presence of two different blue pigments, as well as orange luminiscence in areas with polychromy losses.

Figura 4 | Detalle del reverso de la escultura en VIS (izquierda), IRFC (centro) y UVL (derecha). En la imagen UVL se observan dos pigmentos azules distintos y una coloración anaranjada en las zonas con pérdida de policromía.

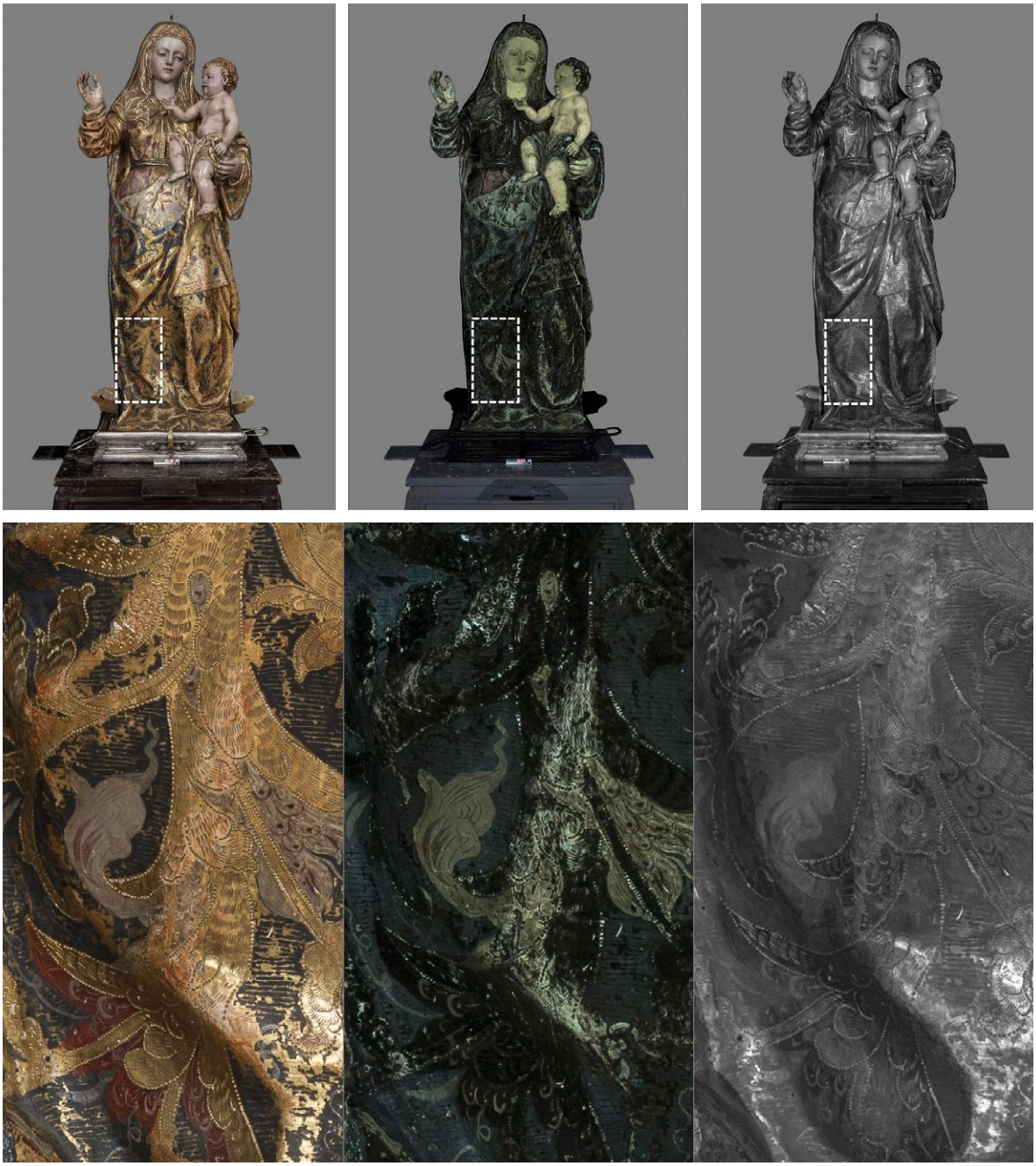


Figure 5 | Detail of the brush-painted motifs on the lower area of the mantle in VIS (left), UVL (center), and UVR (right).

Figura 5 | Detalle de los motivos ejecutados con pincel en la parte inferior del manto en VIS (izquierda), UVL (centro) y UVR (derecha).

Corladuras or Glazes

Corladuras are toned glazes or varnishes that are applied over metallic silver or gold leaf. This layer was traditionally made by tinting a varnish or resin with a pigment (Gañán, 2001, p. 214). The red and blue *corladuras* located in the tunic of the Virgin can be easily discernible in the RIR images (Figure 6) since they become transparent at this wavelength (Llácer, 2021, p. 48). It is likely that the red glazes were made with an organic dye, possibly cochineal (Díaz & Amador, 2017, p. 180). The blue glazes showed an intense red color in false color infrared (IRFC), which could indicate the presence of indigo as a colorant matter (Cosentino, 2014, p.12) (Figure 6).

Flesh Tones or *Encarnaciones*

Some studies report that painters would apply pigment bound in oil to the flesh tones, mixing *albayalde*, lead white, with a fatty oil, although egg emulsions have also been found (Bartolomé, 2001). Due to the amount of overpaint layers in the flesh tones, it was not possible to observe the original *encarnación*, however, by the difference of radiodensities in the XR image, it is possible to infer the areas where there are still residues of the original layer, possibly composed of lead white (Figure 7).

Deterioration

The XR study showed structural deterioration of the sculpture as well as the damage affecting the polychrome decoration. Cracks, separation of elements, and loss of polychromy became evident in the radiographic images. These aspects are also related to the use of nails and pins to fasten garments.

RIR imaging allowed the team to identify areas where the paint had been lost and the ground layer

Corladuras o esmaltes

Las *corladuras* son esmaltes o barnices entonados que se aplican sobre láminas metálicas de plata u oro. Esta capa se realizaba tradicionalmente tiñendo un barniz o resina con un pigmento o colorante (Gañán, 2001, p. 214). Las *corladuras* rojas y azules situadas en la túnica de la Virgen son fácilmente discernibles en las imágenes RIR (Figura 6) ya que se vuelven transparentes en esta longitud de onda (Llácer, 2021, p. 48). Es probable que los vidriados rojos estuvieran realizados con un colorante orgánico, posiblemente cochinilla (Díaz y Amador, 2017, p. 180). Los vidriados azules mostraron un color rojo intenso en falso infrarrojo de color (IRFC), lo que podría indicar la presencia de índigo como materia colorante (Cosentino, 2014, p.12) (Figura 6).

Tonos carne o encarnaciones

Algunos estudios informan de que los pintores aplicaban los pigmentos al óleo en los tonos carne, mezclando *albayalde*, blanco de plomo, con un aceite graso, aunque también se han encontrado emulsiones de huevo (Bartolomé, 2001). Debido a la cantidad de capas de repinte en los tonos carne, no fue posible observar la *encarnación* original, sin embargo, por la diferencia de radiodensidades en la imagen de XR, es posible inferir las zonas donde aún quedan residuos de la capa original, posiblemente compuesta de blanco de plomo (Figura 7).

Deterioro

El estudio radiográfico mostró el deterioro estructural de la escultura, así como los daños que afectaban a la decoración policroma. Las grietas, la separación de elementos y la pérdida de policromía se hicieron evidentes en las imágenes radiográficas. Estas pérdidas se deben en parte al uso de clavos y alfileres para sujetar las prendas.

Las imágenes IR permitieron al equipo identificar las zonas en las que se había perdido la pintura y quedaba

Figure 6 | Detail of the *corladuras* over the gold leaf on the Virgin's chest in VIS (left), RIR (center), and IRFC (right).

Figura 6 | Detalle de las corladuras sobre el pan de oro en el pecho de la Virgen en VIS (izquierda), RIR (centro) e IRFC (derecha).

Figure 7 | Radiographic image of the flesh tones of the Child (right) alongside VIS (left). Possible remains of earlier polychromy are marked with yellow dotted lines in the XR image.

Figura 7 | Imagen radiográfica de los carnaciones del Niño (derecha) junto a VIS (izquierda). En la imagen de rayos X se señalan con líneas discontinuas amarillas los posibles restos de policromía antigua.

was exposed, given that the red bole is transparent at this wavelength on the front of the sculpture. The RIR images became a map of these damaged areas without the interference of the intermediate bole layer. Additionally, the IRFC image shows, with an intense orange hue, the areas where the wood is exposed.

Previous Interventions

As mentioned at the beginning of this text, the work has been subjected on several occasions to retouching

al descubierto la capa de fondo, dado que el bol rojo es transparente a esta longitud de onda en la parte frontal de la escultura. Las imágenes IR se convirtieron en un mapa de estas zonas dañadas sin la interferencia de la capa intermedia del bole. Además, la imagen IRFC muestra, con un tono naranja intenso, las zonas en las que la madera está expuesta.

Intervenciones anteriores

Como se mencionaba al principio de este texto, la obra ha sido sometida en varias ocasiones a procesos

and restoration processes. As a result, materials of very different qualities and temporalities are present. Thanks to the multiband imaging and a close inspection of the decorative motifs on the *estofado*, the conservation team determined that the oldest paint layer corresponds to the sixteenth century[15] and it is found mostly in the back area of the sculpture. This layer is possibly of Spanish origin however, it is not possible with this study to determine the place of original manufacture. A second paint cycle was identified on the front of the sculpture, probably dating to the eighteenth century, of novo-Hispanic craftsmanship.[16] A third paint cycle was located mainly on the sides and corresponds to the changes and mutilations suffered by the carving in the twentieth century, probably made to modify its structure.

With UVL it was possible to identify the location of the interventions and also to hypothesize that they were repaired with different materials. The pink paint layers on the tunic illustrate this differential behavior well under UV that is not easy to discern in VIS (Figure 8). In the chest area there is a dark pink luminescence, while the lower area appears light pink. The same is true for the white pigments; in the inner area of the mantle, the luminescence is yellow in hue, while in the lower area of the same color its luminescence is green (Figure 8).

As for the possible *estofado* of novo-Hispanic origin, located in the lower area of the mantle and the upper part of the tunic, the blue color is slightly opaque to IR radiation; it is dark red and very homogeneous in IRFC, unlike the "Spanish" original layer. It is likely that the painter used only one blue pigment to achieve the blue tone, instead of a mixture.

de retoque y restauración. Como resultado, están presentes materiales de calidades y cronologías muy diferentes. Gracias a las imágenes multibanda y a una inspección minuciosa de los motivos decorativos del *estofado*, el equipo de conservación determinó que la capa de pintura más antigua corresponde al siglo XVI[9] y se encuentra principalmente en la zona posterior de la escultura. Esta capa es posiblemente de origen español, sin embargo, con este estudio no es posible determinar el lugar de fabricación original. En la parte frontal de la escultura se identificó un segundo estadio de pintura, probablemente del siglo XVIII, de factura novohispana.[10] Un tercer estadio de pintura se localizó principalmente en los costados y corresponde a los cambios y mutilaciones que sufrió la talla en el siglo XX, probablemente realizados para modificar su estructura.

Con UVL fue posible identificar la ubicación de las intervenciones y también plantear la hipótesis de que fueron ejecutadas con materiales diferentes. Las capas de pintura rosa de la túnica ilustran bien este comportamiento diferencial bajo UV que no es fácil de discernir en VIS (Figure 8). En la zona del pecho hay una luminiscencia rosa oscura, mientras que la zona inferior aparece una de tonalidad rosa clara. Lo mismo ocurre con los pigmentos blancos; en la zona interior del manto, la luminiscencia es de tono amarillo, mientras que en la zona inferior del mismo color su luminiscencia es verde (Figure 8).

En cuanto al posible *estofado* de origen novohispano, situado en la zona inferior del manto y en la parte superior de la túnica, el color azul es ligeramente opaco a la radiación IR; es rojo oscuro y muy homogéneo en IRFC, a diferencia de la capa original "española". Es probable que el pintor utilizara un solo pigmento azul para conseguir el tono azul, en lugar de una mezcla.

[15] Given that its decoration is very similar to the Hispano-Arabic fabrics of the 15th century (Meyer, 1999, p. 370).

[16] This corresponds to note 12, in addition to the similarity to some New Spain decorations from the 18th century as mentioned in Tejido polícromo, Amador Marrero and Díaz Cayeros, 2013.

[9] Su decoración es muy similar a la de los tejidos hispanoárabes del siglo XV (Meyer, 1999, p. 370).

[10] Corresponde a la nota 12, además de la similitud con algunas decoraciones novohispanas del siglo XVIII como se menciona en Tejido polícromo, Amador Marrero and Díaz Cayeros, 2013.

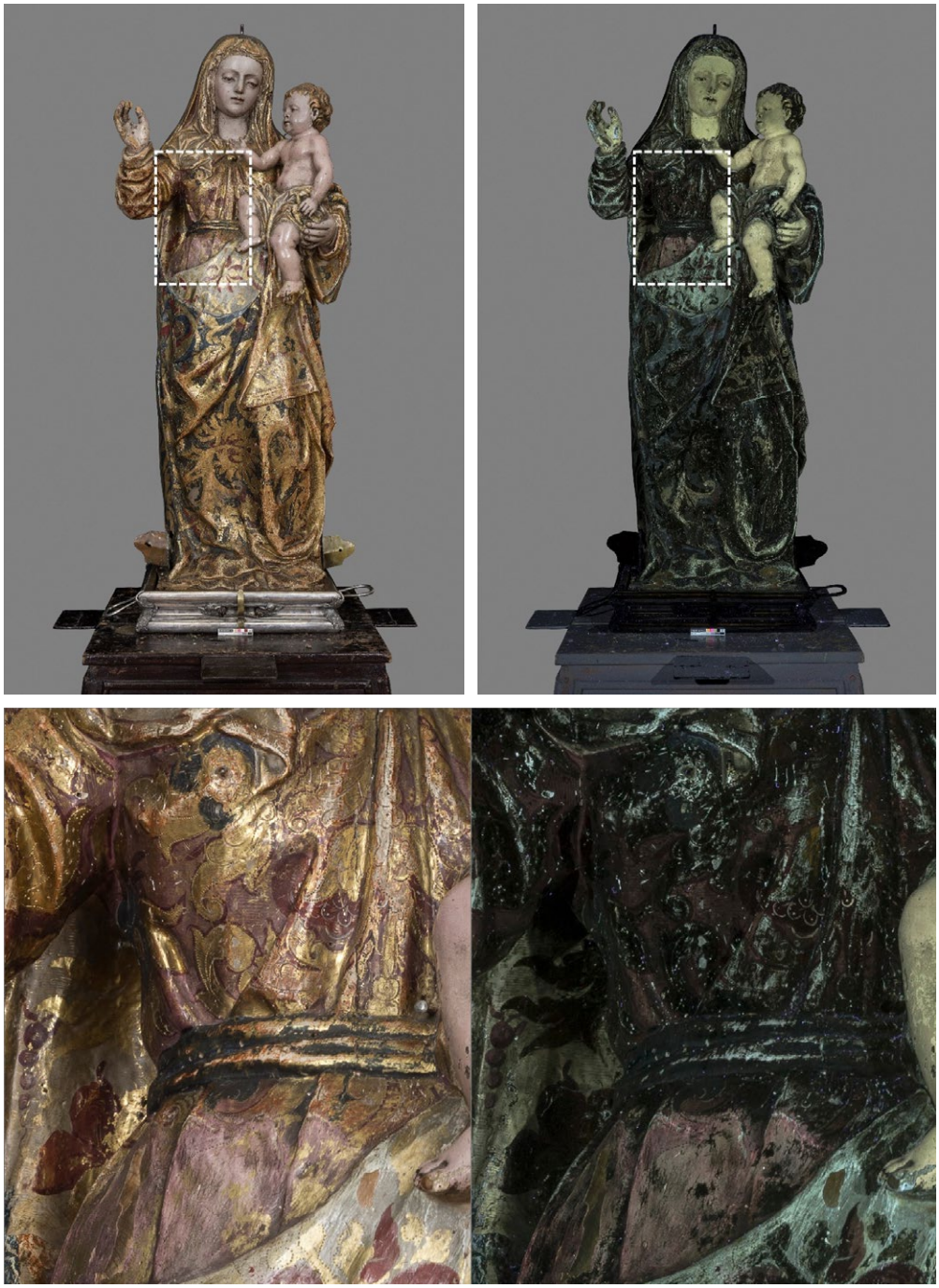


Figure 8 | Differences in the pink paint of the tunic under UV light: VIS (left) and UVL (right).

Figura 8 | Diferencias en la pintura rosada de la túnica bajo luz ultravioleta: VIS (izquierda) y UVL (derecha).

On the sides of the sculpture, there is evidence that the volume was modified and new layers of paint were applied. These retouches are perfectly distinguishable by their technique's aesthetic and material differences. Moreover, the UVR images showed the traces of the tool used to make these cuts (Figure 9).

The RIR study also allowed the team to discern between gold leaf and mosaic gold found on the right side of the sculpture. The gold leaf displayed a brighter tone because it is in a metallic state and reflects radiation, while the mosaic gold, or porporino, is opaque because it is a stannic sulphite and absorbs it. The blue paint of the decoration central (Figure 9) is completely transparent to the RIR wavelength. The IRFC (Figure 9) image shows a bright light red tone in these areas, which indicates that a different blue pigment was used than in the previous stages, possibly artificial ultramarine blue.

Figure 9 illustrates the transition between the three different paint cycles identified on the back of the sculpture. On the left, is the oldest sixteenth-century paint cycle; in the middle, the image corresponds to the twentieth-century retouching; and on the right, the eighteenth-century polychromy. With the images of RIR and IRFC, it was observed that the oldest *estofado* that presents a dark blue color in the VIS image is opaque in RIR and with dark red and bluish tones in IRFC. From the IRFC image, it is hypothesized that the blue color was achieved by the superposition of different materials, among them azurite for its slightly bluish pink behavior observed in the image (Herrero-Cortell et al., 2022, p. 68).

Regarding the overpaint layers placed over the flesh tones, they became evident in the UVL study, since they show a different luminescence with UV radiation (Figure 10). For example, in the face of the Virgin a very bright yellow luminescence predominates, which could indicate the presence of zinc white,

En los laterales de la escultura hay indicios de que se modificó el volumen y se aplicaron nuevas capas de pintura. Estos retoques se distinguen perfectamente por las diferencias estéticas y materiales de su técnica. Además, las imágenes UVR mostraron las huellas de la herramienta utilizada para realizar estos cortes (Figura 9)

El estudio com imágenes IR también permitió al equipo discernir entre el pan de oro y la purpurina que se encuentran en el lado derecho de la escultura. El pan de oro mostraba un tono más brillante porque está en estado metálico y refleja la radiación, mientras que la purpurina es oscura porque es un sulfito estannífero y la absorbe. La pintura azul de la decoración central (Figura 9) es completamente transparente a la longitud de onda IR. La imagen IRFC (Figura 9) muestra un tono rojo claro brillante en estas zonas, lo que indica que se utilizó un pigmento azul diferente al de las etapas anteriores, posiblemente azul ultramar artificial.

La Figura 9 ilustra la transición entre los tres diferentes estadios de pintura identificados en el reverso de la escultura. A la izquierda, el estrato de pintura más antiguo del siglo XVI; en el centro, la imagen correspondiente al retoque del siglo XX; y a la derecha, la policromía del siglo XVIII. Con las imágenes de IR e IRFC, se observó que el *estofado* más antiguo que presenta un color azul oscuro en la imagen VIS es opaco en IR y con tonos rojos oscuros y azulados en IRFC. A partir de la imagen IRFC, se hipotetiza que el color azul se consiguió por la superposición de diferentes materiales, entre ellos la azurita por su comportamiento violáceo ligeramente azulado observado en la imagen (Herrero-Cortell *et al.*, 2022, p. 68).

En cuanto a las capas de repinte colocadas sobre los tonos carne, se hicieron evidentes en el estudio UVL, ya que muestran una luminiscencia diferente con la radiación UV (Figura 10). Por ejemplo, en la cara de la Virgen predomina una luminiscencia amarilla muy brillante, que podría indicar la presencia de blanco de cinc, mientras que la zona

Figure 9 | Transition between three pictorial stages (indicated with numbers), corresponding to different periods and materials, under VIS (left), IR (center), and IRFC (right). 1: European layer; 2: most recent previous interventions; 3: Novohispanic stage.

Figura 9 | Transición entre tres etapas pictóricas (indicadas con números), correspondientes a diferentes temporalidades y materiales, en VIS (izquierda), IR (centro) e IRFC (derecha). 1: capa europea; 2: intervenciones anteriores más recientes; 3: etapa novohispana.

while the area around the eyes and the tip of the nose does not show such luminescence, possibly due to the pigments used or to the aging of the material itself.

Conclusions

The multiband and X-Ray imaging studies contributed to the knowledge of the technique used to make the *Nuestra Señora de Guanajuato* sculpture while also allowing us to understand the state of conservation, the previous paint cycles, and restorations. This first approach was fundamental for decision-making during the conservation and restoration processes, mainly in arguing for the removal or retention of different polychrome layers.

Throughout the text, examples of the contributions of MBTI and XR for the study of polychrome sculpture were shown, as well as their limitations. It is concluded that, as in the study of other types of objects, these techniques represent a first approach to the material knowledge and must be complemented with punctual analysis with and without sampling. However, the non-invasive imaging techniques are essential to answer the questions that arise during the condition reporting, as well as to raise more profound questions to be resolved with further analysis.

This study represented the first time that the multiband imaging protocol was applied to a polychrome sculpture in Mexico. The lack of methodological references in this specific context represented a challenge during the acquisition of the images. Due to the three-dimensional nature of the sculpture and the presence of gold leaf in the *estofados* and on the hair locks, a great amount of reflection was generated in the final images. The gap in the literature became an opportunity to take the direct observation of the

alrededor de los ojos y la punta de la nariz no muestran dicha luminiscencia, posiblemente debido a los pigmentos utilizados o al envejecimiento del propio material.

Conclusiones

Los estudios de imagen multibanda y de Rayos X contribuyeron al conocimiento de la técnica empleada en la realización de la escultura *de Nuestra Señora de Guanajuato*, al tiempo que permitieron conocer el estado de conservación, la secuencia de estadios pictóricos y las restauraciones. Esta primera aproximación fue fundamental para la toma de decisiones durante los procesos de conservación y restauración, principalmente a la hora de argumentar la eliminación o mantenimiento de las diferentes capas de policromía.

A lo largo del texto se muestran ejemplos de las aportaciones del MBTI y la RX para el estudio de la escultura policroma, así como sus limitaciones. Se concluye que, como en el estudio de otros tipos de objetos, estas técnicas representan una primera aproximación al conocimiento material y deben complementarse con análisis puntuales con y sin muestreo. Sin embargo, las técnicas de imagen no invasivas son esenciales para responder a las preguntas que surgendurante el informe del estado de conservación, así como para plantear cuestiones más profundas que deberán resolverse con análisis posteriores.

Este estudio supuso la primera aplicación del protocolo de imágenes multibanda a una escultura policroma en México. La falta de referencias metodológicas en este contexto específico representó un reto durante la adquisición de las imágenes. Debido a la naturaleza tridimensional de la escultura y a la presencia de pan de oro en los *estofados* y en los mechones de pelo, se generó una gran cantidad de reflejos en las imágenes finales. El vacío en la literatura se convirtió en una oportunidad para tomar la observación directa de la escultura como punto de

Figure 10 | Detail of the different polychrome stages of the flesh tones under VIS (left) and UVL (right).

Figura 10 | Detalle de las distintas etapas de policromía en los carnaciones bajo VIS (izquierda) y UVL (derecha).

sculpture as a starting point to interpret how these types of materials behave under different wavelengths. It also became crucial to review artistic treatises and collate a specialized bibliography on polychrome sculpture to support the hypotheses raised.

partida para interpretar cómo se comportan este tipo de materiales bajo diferentes longitudes de onda. También resultó crucial revisar los tratados artísticos y recopilar una bibliografía especializada en escultura policromada para apoyar las hipótesis planteadas.

References | Bibliografía

Amador, M.P.F., & Díaz, C.P. (2013). *El tejido polícromo*. (1st ed.). Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Investigaciones Estéticas.

Bartolomé, G.F.R. (2001). *La policromía barroca en Álava*. (1st ed.). Arabako Foru Albundia / Diputación Foral de Álava.

Basso, E., Carò, F., & Abramitis, D.H. (2023). Polychromy in Ancient Greek Sculpture: New Scientific Research on an Attic Funerary Stele at the Metropolitan Museum of Art. *Applied Sciences*, *13* (5), 3102. https://doi.org/10.3390/app13053102

Bracci, S., Iannaccone, R., & Magrini, D. (2019). The application of multi-band imaging integrated with non-invasive spot analyses for the examination of archaeological stone artifacts. In M. Picollo, M. Stols-Witlox, & L. Fuster López (Eds.). *UV-Vis Luminescence Imaging Techniques* (pp. 141-160). Universidad Politècnica de València. https://doi.org/10.4995/360_2019.110002

Cavaleri, T., Fiocco, G., Rovetta, T., Dondi, P., Malagodi, M., Gulmini, M., Piccirillo, A., Pisani, M., Zucco, M., & Gargano, M. (2019). A new imaging method of fluorescence induced by multispectral UV for studying historical musical instruments coatings. In M. Picollo, M. Stols-Witlox, & L. Fuster López (Eds.). *UV-Vis Luminescence Imaging Techniques* (pp. 161-180). Universidad Politècnica de València. https://doi.org/10.4995/360_2019.110002

Cosentino, A. (2014). Identification of pigments by multispectral imaging; a flowchart method. *Heritage Science*, *2* (1), 8. https://doi.org/10.1186/2050-7445-2-8

Cosentino, A. (2024). *Technical Photography and MSI calibration card*. CHSOS. https://chsopensource.org/technical-photography-msi-calibration-card/

Florencia, F. (1755). *Zodiaco Mariano, en que el sol de justicia Christo con la salud en las alas visita como signos, y casas proprias para beneficio de los hombres los templos, y lugares dedicados a los cultos de su SS Madre, por medio de las más célebres y milagrosas imágenes de la misma Señora, que se veneran en esta América Septentrional y Reinos de la Nueva España*. Nueva Impr. Real y mas Antiguo Colegio de San Ildefonso.

Díaz, C.P. (2012). Huellas de escultura y devoción en la Catedral de Guadalajara: La Virgen de la Rosa y el Señor de las Aguas. In *La Catedral de Guadalajara. Su historia y significados*. (pp. 82-111). Colegio de Jalisco.

Díaz, C.P. & Amador, M.P.F. (2017). Textiles evocados. Estofar con el rojo novohispano. In Fernández, M. (Coord), *Rojo Mexicano la Grana Cochinilla en el Arte* (pp. 178-197). Secretaría de Cultura. Instituto Nacional de Bellas Artes.

Gañán, M.C. (2001). *Técnicas y evolución de la imaginería polícroma en Sevilla*. (2nd ed.) Universidad de Sevilla.

Herrero-Cortell, M.Á., Creus, M.R., Artoni, P., & García, J.A.M. (2022). Caracterización de pigmentos históricos a través de técnicas de imagen, en diversas bandas del espectro electromagnético. *Ge-conservacion*, *22*, 58-75.

Llácer, P.A. (2021). Veladuras históricas con pigmentos laca: aproximación teórico-práctica y caracterización en diversas bandas del espectro. [Tesis de Máster Universidad Politecnica de Valencia]. http://hdl.handle.net/10251/173723

Levin, S., Pedemonti, N., & Bruno, L. (2017). Resurrecting della robbia's resurrection: challenges in the conservation of a monumental renaissance relief. In D. Kari, H. Emily, & S. Tony (Eds.). *Objects specialty group postprints*. (Vol. 24, pp. 388-412).

Liverani, P., Bracci, S., Iannaccone, R., Lenzi, S., & Magrini, D. (2023). New Evidence about the Polychromy of Early Imperial Cycle from the Augusteum of Rusellae (Tuscany). In G. Vittoria, (Ed.). *Heritage*, (Vol. 6, pp.3385-3401). https://doi.org/10.3390/heritage6040179

Marincola, M.D., & Kargère, L. (2020). *The Conservation of Medieval Polychrome Wood Sculpture: History, Theory, Practice*. Getty Publications.

Meyer, F.S. (1999). *Manual de ornamentación*. Editorial Gustavo Gili.

Perez-Rodriguez, J. l., Robador, M.D., Albardonedo, A., & Duran, A., (2017). Gildings from Andalusia: Materials used in different types of artworks along centuries. *Journal of Cultural Heritage*, *7*, 112-121.

Real Academia Española (2024). *Vara*. En Diccionario de la lengua Española (23.ª ed.). https://dle.rae.es/vara

Ríos, R.A., (2003) El Zodiaco Mariano: las 11000 vírgenes también peregrinaron en América. In *La Palabra y el Hombre* (pp. 97-107). Universidad Veracruzana.

Zárate, R.Á., & Sánchez, E. (2023). Estudio estratigráfico y de madera de la escultura policromada de Nuestra Señora de Guanajuato. *Laboratorio de Análisis y Diagnóstico del Patrimonio (LADIPA)*. El Colegio de Michoacán. [Unpublished].

Composition of the detail of the tintype of outdoor group portrait by unknown photographer, circa 1890, 8,6 × 6,2 cm, Mexican private collection. A combination of VIS and UVL (left to right).

Composición del detalle del tintipo de un grupo al aire libre, por fotógrafo desconocido, hacia 1890, 8,6 × 6,2 cm, colección privada mexicana. Combinación de imágenes VIS y UVL (de izquierda a derecha).

MULTIBAND IMAGING TECHNIQUES AS A TOOL FOR THE DOCUMENTATION OF PHOTOGRAPHIC ARTIFACTS

TÉCNICAS DE IMAGEN MULTIBANDA COMO HERRAMIENTA PARA LA DOCUMENTACIÓN DEL PATRIMONIO FOTOGRÁFICO

Alejandra Nieto-Villena [a]*, Álvaro Solbes-García [a], Susana Herreras-Sala [b], Lucía Rojo-Iranzo [a], Mª. Luisa Vázquez de Ágredos-Pascual [a]

[a] *Universidad de Valencia, Spain*

[b] *Asociación Cultural Escuela Superior de Diseño de Valencia, Spain*

* *alejandra.nieto@uv.es*

Introduction

The enormous diversity of photographic processes developed throughout photographic history can be a barrier in promoting appropriate methods for identifying compounds, condition issues or other phenomena associated with photographic artifacts. Photographic archives consist of objects of many different kinds, with glass, metal, paper, or plastic supports coexisting alongside each other, covered with binders, salts, metal toning, protective cases, secondary cardboard, dyes, and a host of possible compounds that combine and deteriorate in many ways. This reality presents a great challenge but is also an opportunity to develop basic knowledge about photographic heritage.

Introducción

La enorme diversidad de los procesos fotográficos desarrollados a lo largo de la historia de la fotografía puede suponer un obstáculo a la hora de promover métodos adecuados para identificar compuestos, problemas de estado u otros fenómenos asociados a los objetos fotográficos. Los archivos fotográficos están constituidos por objetos de muy diversa índole, en los que coexisten soportes de vidrio, metal, papel o plástico, recubiertos de aglutinantes, sales, tonalizadores metálicos, estuches protectores, cartones secundarios, tintes y un sinfín de posibles compuestos que se combinan y deterioran de múltiples formas. Esta realidad, supone un gran reto, pero también una oportunidad para desarrollar conocimientos básicos sobre el patrimonio fotográfico.

Regarding the study of imaging technologies in the analysis of cultural heritage, the objectivity of the results is sometimes questioned based on the viewer's interpretation of visual data. Nevertheless, it is instructive to discuss this approach from the point of view of the resignification of art or the *network of meanings* of objects, which is raised by the contemporary theory of Muñoz-Viñas (2004) and which Streeton (2022) quite rightly refers to in her thesis on the history of artistic technology. In this regard, the weight given to scientific analysis by conservators and restorers (Streeton, 2022) is justified by their seeming objectivity in the face of the more humanist discourse (and seeming subjectivity) contributed by art historians. In this context, appealing to the *intersubjectivity* of an object's meaning (Muñoz-Viñas, 2004), it is urged to flee from dogmatic thinking and seek a balance between the information provided by the scientific method and research from empirical knowledge. To make clear judgements about the meaning and form of heritage objects, this approach invites us to rethink the models we use in the study of material culture.

Following the path that Streeton opens through her observations, we believe that studying the history of photographic technology inevitably requires considering the state of matter and how its meaning changes over time. In the case of photography, it is inevitable to consider the meaning of the object in terms of the duality of image and artefact, and the difficulties that arise when the details of digital *photography* are added to the equation. Our intention here is not to question this dichotomy of photography, but to highlight the importance of the significance of the photographic object as an example of technological progress (Vázquez de Ágredos-Pascual, 2021), to study each artefact as evidence of the artistic, social, and technological evolution of humanity.

En cuanto al estudio de las tecnologías de la imagen en el análisis del patrimonio cultural, a veces se cuestiona la objetividad de los resultados a partir de la interpretación que el espectador hace de los datos visuales. No obstante, resulta instructivo discutir este enfoque desde el punto de vista de la resignificación del arte o la *red de significados* de los objetos, que plantea la teoría contemporánea de Muñoz-Viñas (2004) y a la que Streeton (2022) se refiere con acierto en su tesis sobre la historia de la tecnología artística. En este sentido, el peso otorgado al análisis científico por conservadores y restauradores (Streeton, 2022) se justifica por su aparente objetividad frente al discurso más humanista (y aparentemente subjetivo), aportado por los historiadores del arte. En este contexto, apelando a la *intersubjetividad* del significado de un objeto (Muñoz-Viñas, 2004), se insta a huir del pensamiento dogmático y a buscar un equilibrio entre la información proporcionada por el método científico y la investigación desde el conocimiento empírico. Para emitir juicios claros sobre el significado y la forma de los objetos patrimoniales, este enfoque nos invita a replantearnos los modelos que utilizamos en el estudio de la cultura material.

Siguiendo el camino que Streeton abre a través de sus observaciones, creemos que estudiar la historia de la tecnología fotográfica requiere inevitablemente considerar el estado de la materia y cómo cambia su significado a lo largo del tiempo. En el caso de la fotografía, es inevitable considerar el significado del objeto en términos de la dualidad de imagen y objeto, y las dificultades que surgen cuando se añaden a la ecuación los detalles de la fotografía digital. Nuestra intención aquí no es cuestionar esta dicotomía de la fotografía, sino destacar la importancia del significado del objeto fotográfico como ejemplo del progreso tecnológico (Vázquez de Ágredos-Pascual, 2021), estudiando cada objeto como prueba de la evolución artística, social y tecnológica de la humanidad.

Imaging Photographic Artifacts

In addition to the transversal skills that the professional conservator-restorer should acquire, those responsible for the conservation of photographic collections and archives should obtain skills related to the theoretical, technological, and scientific knowledge of photographic artefacts. For this purpose, it is worth emphasising the difficulty that the technological diversity of photographic heritage presents, and the difficulties associated with decoding its meanings. The rich history of photography has filled archives and collections around the world with an almost infinite variety of photographic artifacts. The photosensitivity of the medium may be the only universal property, but the physicochemical variety is exceptional. It has been estimated that there are up to 130 different photographic processes (Stulik & Kaplan, 2013, pp. 249–263). This is a reminder to us of the technological richness of photography and the commitment that its proper conservation implies for caretakers.

We believe that image analysis tools, such as multiband imaging, are essential tools in the processes of documentation and diagnosis to advance the technological recognition of artifacts that make up photographic collections. From respect for the integrity of the work to the versatility of its application to all photographic typologies, its advantages are innumerable. It is important to note that this versatility allows us to adapt to the needs and conditions of each case, but it also requires planning and studying how to set up and control measurement conditions to obtain optimal results. It is necessary to identify the objectives of the study and to design the process according to their needs. In the case of photographic artifacts, we have found that the information obtained by studying multiband images effectively contributes to documenting processes, correlating samples that make up a set, identifying laboratories or production studios, and linking their

Imágenes de objetos fotográficos

Además de las competencias transversales que debe adquirir el profesional conservador-restaurador, los responsables de la conservación de colecciones y archivos fotográficos deben obtener competencias relacionadas con el conocimiento teórico, tecnológico y científico de los objetos fotográficos. Para ello, cabe destacar la dificultad que presenta la diversidad tecnológica del patrimonio fotográfico y las dificultades asociadas a la descodificación de sus significados. La rica historia de la fotografía ha llenado archivos y colecciones de todo el mundo con una variedad casi infinita de objetos fotográficos. La fotosensibilidad del medio puede ser la única propiedad universal, pero la variedad fisicoquímica es excepcional. Se ha calculado que existen hasta 130 procesos fotográficos diferentes (Stulik y Kaplan, 2013, pp. 249-263). Esto nos recuerda la riqueza tecnológica de la fotografía y el compromiso que supone para sus responsables su adecuada conservación.

Creemos que las herramientas de análisis de imagen, como la imagen multibanda, son instrumentos esenciales en los procesos de documentación y diagnóstico para avanzar en el reconocimiento tecnológico de los objetos patrimoniales que componen las colecciones fotográficas. Desde el respeto a la integridad de la obra hasta la versatilidad de su aplicación a todas las tipologías fotográficas, sus ventajas son innumerables. Es importante señalar que esta versatilidad permite adaptarse a las necesidades y condiciones de cada caso, pero también requiere planificar y estudiar cómo establecer y controlar las condiciones de medición para obtener resultados óptimos. Es necesario identificar los objetivos del estudio y diseñar el proceso en función de sus necesidades. En el caso de los objetos fotográficos, hemos comprobado que la información obtenida mediante el estudio de imágenes multibanda contribuye eficazmente a documentar procesos, correlacionar muestras que componen un conjunto, identificar laboratorios o estudios de producción

practices to notable photographers. In addition, the identification of alterations and condition issues of the samples can help to characterise the photographic processes present and to develop appropriate conservation proposals. Distinguishing layers or certain compounds is key to identifying some photographic processes. This allows us to recognise a collection's main values, reformulate storage systems, exhibition designs and propose preventive conservation plans (Nieto-Villena et al., 2023; Nieto-Villena et al., 2022).

Imaging Methods

In general terms, we refer to technical photography or multiband imaging as a set of images taken of a cultural heritage object in different regions of the electromagnetic spectrum. Each image, duly acquired and processed as a single file, provides enriched information for the study of cultural heritage by recording the different responses of the materials to radiation in the visible and non-visible bands of the spectrum. From a methodological point of view, for the acquisition of these records, it is necessary to have different elements that work in a coordinated way. First, incident radiation from particular regions of the spectrum that interacts with objects; second, a recording device with appropriate spectral sensitivity; and third, various filters that block or pass wavelength ranges of radiation. Traditionally, the bands closest to the visible light spectrum (400-700 nm), near ultraviolet (UVA, 350-400 nm) and near infrared (NIR, 700-1100 nm), have been used with remarkable efficiency for the documentation, diagnosis, and conservation of heritage objects. Ultraviolet-induced visible luminescence (UVL) is an approach to record the luminescent behaviour of materials, helping us to identify surface changes depending on the nature of the compounds present, such as repainting, reintegration, and so on

y relacionar sus prácticas con fotógrafos notables. Además, la identificación de alteraciones y el estado de conservación de las muestras puede ayudar a caracterizar los procesos fotográficos presentes y a elaborar propuestas de conservación adecuadas. Distinguir las capas o determinados compuestos es clave para identificar algunos procesos fotográficos. Esto permite reconocer los principales valores de una colección, reformular sistemas de almacenamiento, diseños expositivos y proponer planes de conservación preventiva (Nieto-Villena *et al.*, 2023; Nieto-Villena *et al.*, 2022).

Métodos de imagen

En términos generales, nos referimos a la fotografía técnica o imagen multibanda como un conjunto de imágenes tomadas de un objeto del patrimonio cultural en diferentes regiones del espectro electromagnético. Cada imagen, debidamente adquirida y procesada como un único archivo, proporciona información enriquecida para el estudio del patrimonio cultural, registrando la respuesta de los diferentes materiales a la radiación en las bandas visible y no visible del espectro. Desde un punto de vista metodológico, para la adquisición de estos registros es necesario contar con diferentes elementos que trabajen de forma coordinada. En primer lugar, la radiación incidente de determinadas regiones del espectro que interactúa con los objetos; en segundo lugar, un dispositivo de registro con la sensibilidad espectral adecuada; y en tercer lugar, diversos filtros que bloqueen o dejen pasar rangos de longitudes de onda de la radiación. Tradicionalmente, las bandas más próximas al espectro de luz visible (400-700 nm), el ultravioleta cercano (UVA, 350-400 nm) y el infrarrojo cercano (NIR, 700-1100 nm), se han utilizado con notable eficacia para la documentación, el diagnóstico y la conservación de objetos patrimoniales. La luminiscencia visible inducida por ultravioleta (UVL) es un enfoque para registrar el comportamiento luminiscente de los materiales, lo que nos ayuda a identificar cambios en la superficie en función de la naturaleza de los compuestos presentes,

(Picollo et al., 2019). Thanks to its ability to penetrate certain compounds, the IR reflected image can show us the underlying layers of objects such as sketches and preparatory drawings for paintings. For photographic artifacts, this will depend on their stratigraphic structure and composition. In the case of UV reflected (UVR) images, where the surface characteristics of the object are prominent, we can distinguish between materials that absorb ultraviolet radiation and others that reflect it, such as the barium sulphate present in the baryta layer of some photographic processes (Tragni, 2005).

A team specialized in the analysis and diagnosis of artworks was involved in the preparation of the photographic heritage study using multiband technical imaging. The set of scientific images presented here has been taken with a Nikon D850 digital camera that has been modified by the provider (CHSOS©) for the spectral range between 360-1000 nm. The modification consists of removing the hot mirror filter, which blocks UV and IR, and the dust reduction filter, which has a reflective IR coating. Two Arri Arrilite 750 Plus tungsten lamps were used for visible reflected (VIS) and IR reflected (IR) imaging. Two Fabrizio UV (365 nm emission) LED lamps with UV-pass lamp filters (BW403) were used for UV imaging. Cultural Heritage Science Open Source (CHSOS©) Robertina – Technical Photography (TP) filters were used on the camera. To achieve this, the images were taken under the same spatial, lighting, and framing conditions as far as possible, using the TP-MSI Calibration Card provided by CHSOS. For VIS and UVL imaging, a combination of both BW420 and X-Nite CC1 camera filters were used. For UVR imaging, a combination of BW403 and X-Nite CC1 camera filters were used. For IR imaging, a Heliopan RG1000 camera filter was used.

como repintes, reintegraciones, etc. (Picollo *et al.*, 2019). Gracias a su capacidad para penetrar ciertos compuestos, la imagen reflejada por IR puede mostrarnos las capas subyacentes de objetos como bocetos y dibujos preparatorios para pinturas. En el caso de las fotografías, esto dependerá de su estructura estratigráfica y composición. En el caso de las imágenes UV reflejadas (UVR), en las que destacan las características superficiales del objeto, podemos distinguir entre materiales que absorben la radiación ultravioleta y otros que la reflejan, como el sulfato de bario presente en la capa de barita de algunos procesos fotográficos (Tragni, 2005).

Un equipo especializado en el análisis y el diagnóstico de obras de arte ha participado en la elaboración del estudio del patrimonio fotográfico utilizando técnicas de imagen multibanda. El conjunto de imágenes científicas que aquí se presenta se ha tomado con una cámara digital Nikon D850 modificada por el proveedor (CHSOS©) para el rango espectral comprendido entre 360-1000 nm. La modificación consiste en eliminar el filtro de espejo caliente que bloquea los rayos UV e IR, y el filtro de reducción de polvo, que tiene un revestimiento IR reflectante. Se utilizaron dos lámparas de tungsteno Arri Arrilite 750 Plus para las imágenes visibles reflejadas (VIS) e IR reflejadas (IR). Para las imágenes UV se utilizaron dos lámparas LED Fabrizio UV (emisión de 365 nm) con filtros de lámpara de paso UV (BW403). En la cámara se utilizaron filtros Robertina - *Technical Photography (TP)* de *Cultural Heritage Science Open Source (CHSOS©)*. Para ello, las imágenes se tomaron en la medida de lo posible en las mismas condiciones espaciales, de iluminación y de encuadre, utilizando la tarjeta de calibración TP-MSI proporcionada por CHSOS. Para las imágenes VIS y UVL se utilizó una combinación de filtros de cámara BW420 y X-Nite CC1. Para las imágenes UVR se empleó una combinación de filtros de cámara BW403 y X-Nite CC1. Para las imágenes IR, se utilizó un filtro de cámara Heliopan RG1000.

In order to guarantee quality and optimise the photographic capture, a weighted centre metering mode has been used, which balances the exposure taking into account mainly the centre of the image, very useful for shooting with uniform lighting. White balance was modified according to the type of light used and ISO 100 was selected to minimise digital noise in the image. For most shots, exposure was set from an intermediate aperture (F8-F11) to obtain good definition and depth of field. The remote shutter release was used to ensure focus and the shutter speed was adjusted according to the lighting conditions and the aperture chosen. In the case of UVL, priority was given to the exposure time in order to obtain a better luminiscence capture in the final image.

Photographic supports are used to hold the photosensitive image, either positive or negative, directly on their surface or using a binder. Supports can be transparent or opaque, made of metal, paper, glass, or plastic. They come in a wide range of formats and uses. The function of the image carried on the support is crucial to understanding the structure of the artefact and therefore distinguishing the compounds in the visible image, the substances that emit luminiscence and their representation by infrared emission.

In the case of photosensitive compounds, they may be silver, iron, dichromate salts, platinum or palladium. The presence of other layers can interfere with the identification of these image-forming compounds. As far as the state of conservation is concerned, it is possible to associate certain degradation mechanisms with the presence of certain compounds (for example, silver mirroring) and, for instance, to identify the binding agent that holds it together by associating it with the physicochemical forms of alteration. For this, the position of the lights, the colour, or the exposure time can be the key to optimal documentation.

Para garantizar la calidad y optimizar la captura fotográfica, se ha utilizado un modo de medición central ponderada que equilibra la exposición teniendo en cuenta principalmente el centro de la imagen, muy útil para disparar con una iluminación uniforme. El balance de blancos se modificó en función del tipo de luz utilizada y se seleccionó ISO 100 para minimizar el ruido digital en la imagen. En la mayoría de las tomas, la exposición se fijó a partir de un diafragma intermedio (F8-F11) para obtener una buena definición y profundidad de campo. El disparador a distancia se utilizó para asegurar el enfoque, y la velocidad de obturación se ajustó en función de las condiciones de iluminación y de la apertura elegida. En el caso de la UVL, se dio prioridad al tiempo de exposición para obtener una mejor captación de la luminiscencia en la imagen final.

Los soportes fotográficos se utilizan para sostener la imagen fotosensible, positiva o negativa, directamente sobre su superficie o mediante un aglutinante. Los soportes pueden ser transparentes u opacos, de metal, papel, vidrio o plástico. Tienen una amplia gama de formatos y usos. La función de la imagen transportada sobre el soporte es crucial para comprender la estructura del objeto y distinguir así los compuestos de la imagen visible, las sustancias que emiten luminiscencia y su representación por emisión infrarroja.

En el caso de los compuestos fotosensibles, pueden ser de plata, hierro, sales de dicromato, platino o paladio. La presencia de otras capas puede interferir en la identificación de estos compuestos que forman las imágenes. En cuanto al estado de conservación, es posible asociar ciertos mecanismos de degradación a la presencia de determinados compuestos (como el espejo de plata) y, por ejemplo, identificar el aglutinante que lo mantiene unido asociándolo a las formas de alteración físico-químicas. Para ello, la posición de las luces, el color o el tiempo de exposición pueden ser la clave para una documentación óptima.

The remaining compounds, such as binders, intermediate layers, adhesives, coatings of an organic nature, etc., will interact differently depending on the type of support, the presence or absence of intermediate layers, the thickness of the coating and the appearance of locally applied compounds, as in the case of masking and retouching. To optimise the multiband recording of photographic artifacts, it is advisable to carry out a preliminary study that considers the variables depending on the type of sample that is to be studied. For example, collodion is a compound commonly used as a binder. However, it has been used on metal plates for direct positives (tintypes), on glass for negatives (wet and dry collodion plates), as a binder for paper prints (collodion POP), and even as a protective layer. The meaning of the object as a photographic artefact, from a technological point of view, will vary considerably depending on how its function is perceived and, consequently, how it's rightly preserved (Lavédrine, 2003).

Most damages can be identified by the different bands of the electromagnetic spectrum, and those of a biological or chemical nature, such as surface deposits, the presence of micro-organisms and changes that affect the appearance of the colour, will be mainly visible by UVL or VIS imaging. Physical-mechanical damage will be more visible by UVR or IR, such as abrasions, cracks, or scratches. Again, depending on the stratigraphic structure of the artefact, the transparency of the layers and even the location of the damage, this can vary and be influenced. Furthermore, unlike physical-mechanical changes, some changes, such as those of a chemical nature, are not immediately visible. For this reason, multiband photography can be considered an efficient method for monitoring the condition of photographic collections under controlled imaging conditions (Lavédrine, 2003).

El resto de compuestos, como aglutinantes, capas intermedias, adhesivos, recubrimientos de naturaleza orgánica, etc., interactúan de forma diferente en función del tipo de soporte, de la presencia o ausencia de capas intermedias, del grosor del recubrimiento y de la aparición de compuestos aplicados localmente, como en el caso de enmascaramientos y retoques. Para optimizar el registro multibanda del patrimonio fotográfico, es aconsejable realizar un estudio previo que considere las variables en función del tipo de muestra que se va a estudiar. Por ejemplo, el colodión es un compuesto utilizado habitualmente como aglutinante. Sin embargo, se ha utilizado sobre placas de metal para positivos directos (tintipos), sobre vidrio para negativos (placas de colodión húmedo y seco), como aglutinante para copias en papel (colodión POP), e incluso como capa protectora. El significado de la fotografía como objeto fotográfico, desde el punto de vista tecnológico, variará considerablemente dependiendo de cómo se perciba su función y, en consecuencia, de cómo se conserve correctamente (Lavédrine, 2003).

La mayoría de los daños pueden identificarse por las distintas bandas del espectro electromagnético, y los de naturaleza biológica o química, como los depósitos superficiales, la presencia de microorganismos y los cambios que afectan al aspecto del color, serán visibles sobre todo por imágenes UVL o VIS. Los daños físico-mecánicos serán más visibles mediante UVR o IR, como abrasiones, grietas o arañazos. De nuevo, dependiendo de la estructura estratigráfica del objeto fotográfico, de la transparencia de las capas e incluso de la localización del daño, esto puede variar e influir. Además, a diferencia de los cambios físico-mecánicos, algunos cambios, como los de naturaleza química, no son inmediatamente visibles. Por este motivo, la fotografía multibanda puede considerarse un método eficaz para supervisar el estado de las colecciones fotográficas en condiciones de imagen controladas (Lavédrine, 2003).

The combination of these techniques, applied to the case studies presented below, demonstrates the potential of multiband analysis in diagnosing photographic work, the aim of this paper. In our opinion, research such as the one presented here is necessary since there are still limited studies on this subject (Chen & Smith, 2020; Ravines et al., 2014). There is an urgent need to gather evidence in support of the preventive conservation and dissemination of photographic archives, which are of great value for historical-artistic research and other fields of knowledge.

Case Studies: Results & Discussion

Works on Metal

In the first three case studies we are dealing with an artifact on metal plate known as a ferrotype or tintype. Ferrotypes are unique silver images that are taken directly in the camera and cannot be reproduced (although it is considered a negative). They represented a step forward in the democratization of photography since the previous processes were much more expensive. The appearance of this process on an iron sheet (often cut with scissors) made access to photographic portraiture possible for most families. A varnished metal sheet supporting a collodion binder, in most cases protected by a lacquer or protective varnish, is often found in the stratigraphic composition. It is also common, as we see in Figures 1 and 3, to find the use of very delicate retouching finely applied with a dry brush to warm the faces on the cheeks or chins before varnishing.

The sample in Figure 1 has undergone changes typical of ferrotypes and their compounds. The thinness of the metal support and the absence of a case or frame that could give it greater protection caused the base to deform, showing distortions and curvatures in the support, as well as dents and impact

La combinación de estas técnicas, aplicada a los casos prácticos que se presentan a continuación, demuestra el potencial del análisis multibanda en el diagnóstico del trabajo fotográfico, objetivo de este estudio. En nuestra opinión, investigaciones como la que aquí se presenta son necesarias, ya que aún son limitados los estudios sobre este tema (Chen y Smith, 2020; Ravines *et al.*, 2014). Urge reunir evidencias que apoyen la conservación preventiva y la difusión de los archivos fotográficos, de gran valor para la investigación histórico-artística y otros campos del conocimiento.

Estudios de caso: resultados y debate

Trabajos sobre metal

En los tres primeros casos se trata de un objeto fotográfico sobre placa metálica conocido como ferrotipo o tintipo. Los ferrotipos son imágenes únicas en plata que se toman directamente en la cámara y no se pueden reproducir (aunque se considera un negativo). Supusieron un paso adelante en la democratización de la fotografía, ya que los procesos anteriores eran mucho más caros. La aparición de este proceso sobre una plancha de hierro (a menudo cortada con tijeras) hizo posible el acceso al retrato fotográfico para la mayoría de las familias. Es frecuente encontrar en la composición estratigráfica una plancha metálica barnizada que soporta un aglutinante de colodión, en la mayoría de los casos protegido por una laca o barniz protector. También es frecuente, como vemos en las Figuras 1 y 3, encontrar el uso de retoques muy delicados aplicados finamente con pincel seco para resaltar las mejillas y barbillas de los rostros antes del barnizado.

La muestra de la Figura 1 ha sufrido cambios típicos de los ferrotipos y sus compuestos. La delgadez del soporte metálico y la ausencia de una caja o marco que pudiera darle mayor protección provocaron la deformación de la base, mostrando distorsiones y curvaturas en

Figure 1 | Tintype portrait of seated man in a jacket and tie by unknown photographer, circa 1890, 6,3 x 8,8 cm, private collection. Visible light and UVL images (top left and right), UVR and IR images (bottom left and right) illustrating the features of the photographic process and the degradation of the plate.

Figura 1 | Tintipo de un hombre sentado con chaqueta y corbata, por fotógrafo desconocido, hacia 1890, 6,3 x 8,8 cm, colección privada. Imágenes de VIS y UVL (arriba a la izquierda y a la derecha), imágenes UVR e IR (abajo a la izquierda y a la derecha) que ilustran las características del proceso fotográfico y la degradación de la placa.

marks. These features are clearly visible in the UVR image, as is the physical-mechanical deterioration of the binder's surface. In this case, there are numerous scratches and abrasions. In the UVL image, there are some marks on the right arm of the figure that are not visible in the other bands of the spectrum, mainly because they are in a very opaque area that prevents us from observing the deterioration of the binder or the protective varnish in areas of high density. This is also the case in the lower right corner, where we can see a fingerprint, probably added accidentally by the photographer during processing.

Regarding the visible image, we can note its tonality, the use of retouching and some features of the sample, such as the black strip along the right edge from the processing of a direct positive. In the case of tintypes, the area previously sensitised in the darkroom was hidden in the camera body. This meant that the salts were not exposed through the lens and formed a latent image on the surface, printed by the light. At the time of exposure, these unexposed salts are fixed in the metal support. In the lower part of the strip, we can also see traces of processing in the laboratory. The collodion has formed discharge lines. When the plate is sensitised and the excess poured into the bottle, it thickens in this area, leaving a mark where it overflowed. Comparing the VIS and UVL images, we see a different reaction in the case of speckles in the centre right background (possible rust spots where the binder has started to lift off). In the UVL image we see white speckles surrounded by a brownish halo, whereas in the VIS image the speckles are black, and the halo is dark. This change is probably due to the oxidation process of the iron plate, which, when it passes through the binder layer, causes a change in colour (of a chemical nature), probably on the protective layer (Graphic Atlas, 2010).

el soporte, así como abolladuras y marcas de impacto. Estas características son claramente visibles en la imagen UVR, al igual que el deterioro físico-mecánico de la superficie del aglutinante. En este caso, hay numerosos arañazos y abrasiones. En la imagen UVL se aprecian algunas marcas en el brazo derecho de la figura que no son visibles en las otras bandas del espectro, principalmente porque se encuentran en una zona muy opaca que impide observar el deterioro del aglutinante o del barniz protector en zonas de alta densidad. Este es también el caso de la esquina inferior derecha, donde podemos ver una huella dactilar, probablemente añadida accidentalmente por el fotógrafo durante el procesado.

En cuanto a la imagen visible, podemos observar su tonalidad, el uso del retoque y algunas características de la muestra, como la franja negra a lo largo del borde derecho procedente del procesado de un positivo directo. En el caso de los tintipos, la zona previamente sensibilizada en el cuarto oscuro quedaba oculta en el cuerpo de la cámara. Esto significaba que las sales no se exponían a través del objetivo y formaban una imagen latente en la superficie, impresa por la luz. En el momento de la exposición, estas sales no expuestas se fijan en el soporte metálico. En la parte inferior de la tira, también podemos ver huellas del procesado en el laboratorio. El colodión ha formado líneas de descarga. Cuando se sensibiliza la placa y se vierte el exceso en el frasco, se espesa en esta zona, dejando una marca donde rebosó. Comparando las imágenes VIS y UVL, vemos una reacción diferente en el caso de las motas en el fondo del centro a la derecha (posibles puntos de óxido donde el aglutinante ha empezado a desprenderse). En la imagen UVL vemos motas blancas rodeadas de un halo parduzco, mientras que en la imagen VIS las motas son negras y el halo oscuro. Este cambio se debe probablemente al proceso de oxidación de la plancha de hierro, que, al atravesar la capa de aglutinante, provoca un cambio de color (de naturaleza química), probablemente en la capa protectora (Graphic Atlas, 2010).

Figure 2 | Tintype of outdoor group portrait by unknown photographer, circa 1890, 8,6 x 6,2 cm, Mexican private collection. A combination of VIS, UVL, UVR, IR images (left to right) revealing the poor condition caused by the degradation of the binder and supporting material.

Figura 2 | Tintipo de un grupo al aire libre, por fotógrafo desconocido, hacia 1890, 8,6 x 6,2 cm, colección privada mexicana. Combinación de imágenes VIS, UVL, UVR, IR (de izquierda a derecha) que revelan el mal estado causado por la degradación del aglutinante y del material de soporte.

In Figure 2, we observe a composite image made up of selected areas of the multiband data set obtained from a tintype taken outdoors. Differences from the sample in Figure 1 are observed. In the case of the VIS image in Figure 2, we note a difference in the slightly colder tonality of the image

En la Figura 2, observamos una imagen compuesta formada por zonas seleccionadas del conjunto de datos multibanda obtenidos a partir de un tintipo que representa una escena al aire libre. Se observan diferencias con respecto a la muestra de la Figura 1. En el caso de la imagen VIS de la Figura 2, observamos una diferencia en la

Figure 3 | VIS, UVL, UVR images (left to right) of a young man's tintype portrait framed with paper. Circa 1890, 4 x 5.2 cm (plate) and 6 x 9.6 cm (frame), private collection.

Figura 3 | Imágenes VIS, UVL, UVR (de izquierda a derecha) del tintipo del retrato de un joven enmarcado con papel. Hacia 1890, 4 x 5,2 cm (plancha) y 6 x 9,6 cm (marco), colección particular.

and an advanced delamination due to oxidation in the support, both at the top and bottom edges. In the UVL image, the brownish spots observed in the centre of the image are also due to oxidation of the support, but in this case, it has passed through the upper layers (collodion and varnish) to the exterior. The brown color due to oxidation and total loss of image and binder can be seen along the top and bottom edges. In UVR and IR, mechanical degradation such as abrasions and scratches on the entire surface of the sample is clearly visible.

Furthermore, an example of a plate protected by a paper frame, also very characteristic of this photographic process, is presented for the samples on iron plates (Figure 3). The multiband imaging allows us firstly to determine the quality and state of

tonalidad ligeramente más fría de la imagen y una delaminación avanzada debida a la oxidación en el soporte, tanto en el borde superior como en el inferior. En la imagen UVL, las manchas marrones que se observan en el centro de la imagen también se deben a la oxidación del soporte, pero en este caso , ha atravesado las capas superiores (colodión y barniz) hacia el exterior. El color marrón debido a la oxidación y a la pérdida total de la imagen y del aglutinante puede verse a lo largo de los bordes superior e inferior. En UVR e IR se aprecia claramente la degradación mecánica, como abrasiones y arañazos en toda la superficie de la muestra.

Además, se presenta un ejemplo de placa protegida por un marco de papel para las muestras sobre placas de hierro, muy característico de este proceso fotográfico (Figura 3). La imagen multibanda nos permite, en primer

deterioration of the paper frame and secondly that of the ferrotype. Focusing on the latter, we find as main differences the colouring of oxidation spots, some of them appearing as *comets* (resulting from dust falling after the plate was coated), and the presence of alterations in the entire perimeter of the oval that frames the portrait, where it is noticeable through the VIS register a series of small bubbles caused by the degradation of the collodion and the delamination of the upper layers. In the image in the centre of this figure, which corresponds to UVL, the luminescence of the binder or varnish protecting the ferrotype sheet is noticeable. In this image, abrasion alterations predominate, which appear as a dark brownish tone over the entire surface covered by the binder or varnish, which becomes more bluish with this type of radiation. In the UVR image, the reflection of the ridges, possibly caused by the mixture of the binder with a fine protective varnish, allows us to see the surface roughness with sufficient clarity.

In Figure 4, we present the last type of photographic artefact on a metal support that we would like to show because of the complexity involved in its imaging. This is the case of photographic artifacts in housings very characteristic of ambrotypes, some ferrotypes and daguerreotypes, such as the one presented here. Daguerreotypes are an extraordinary example of the beauty and complexity of photographic supports, their technological relevance, and the variety of meanings we can attribute to a single piece. The image is on a silver-plated copper plate. It was polished and then sensitised with iodine vapours. It was developed and fixed after exposure in the camera. It thus became a direct and unique positive of exceptional quality, with a highly reflective surface (Reilly, 1986), a quality that makes multiband recording difficult.

The deteriorated condition of the sample in Figure 4 is quite advanced. The protective case has deteriorated considerably and is endangering the

lugar, determinar la calidad y el estado de deterioro del marco de papel y, en segundo lugar, la del ferrotipo. Centrándonos en este último, encontramos como principales diferencias la coloración de las manchas de oxidación, algunas de ellas con apariencia de *cometas (comets)* (resultado de la caída de polvo tras el recubrimiento de la plancha), y la presencia de alteraciones en todo el perímetro del óvalo que enmarca el retrato, donde se aprecia a través del registro VIS una serie de pequeñas burbujas provocadas por la degradación del colodión y la delaminación de las capas superiores. En la imagen del centro de esta figura, que corresponde al UVL, se aprecia la luminiscencia del aglutinante o barniz que protege la hoja de ferrotipo. En esta imagen predominan las alteraciones por abrasión, que aparecen como un tono pardo oscuro en toda la superficie cubierta por el aglutinante o barniz, que se vuelve más azulado con este tipo de radiación. En la imagen UVR, el reflejo de las crestas, posiblemente causado por la mezcla del aglutinante con un fino barniz protector, permite ver con suficiente claridad la rugosidad de la superficie.

En la Figura 4, presentamos el último tipo de fotografía sobre soporte metálico que queremos mostrar por la complejidad que entraña su imagen. Es el caso de los objetos fotográficos en estuche muy característicos de los ambrotipos, algunos ferrotipos y daguerrotipos, como el que aquí presentamos. Los daguerrotipos son un ejemplo extraordinario de la belleza y complejidad de los soportes fotográficos, de su relevancia tecnológica y de la variedad de significados que podemos atribuir a una sola pieza. La imagen está sobre una placa de cobre plateada. Se pulió y luego se sensibilizó con vapores de yodo. Se reveló y fijó tras la exposición en la cámara. Se convirtió así en un positivo directo y único de calidad excepcional, con una superficie muy reflectante (Reilly, 1986), cualidad que dificulta la toma de imágenes multibanda.

El estado de deterioro de la muestra de la Figura 4 es bastante avanzado. El estuche protector se ha deteriorado considerablemente y pone en peligro la estabilidad

Figure 4 | VIS, UVL, UVR images (top to bottom) of a daguerreotype portrait. The subject is identified by the original tag, which says "Francisco Mora y Francí(é)s, (*my father*)". Mid-19th century, private collection. The lower left corner of the daguerreotype is detailed in red in the VIS image, showing the manufacturer's seal mark.

Figura 4 | Imágenes VIS, UVL, UVR (de arriba a abajo) de un daguerrotipo. El sujeto se identifica por la etiqueta original, que dice "Francisco Mora y Francí(é)s, (*my father*)". Mediados del siglo XIX, colección privada. La esquina inferior izquierda del daguerrotipo se detalla en rojo en la imagen VIS, mostrando la marca del sello del fabricante.

stability of the image. The cover of the case has lost the reinforcement holding it to the opposite side. The UVL image shows us a large trace of adhesive where the two parts were joined, more invasive in the velvet that decorates the inside of the cover. We also observe some microbial stains on the original label identifying the subject, and in the photograph area we see that the luminescence of the protective glass obscures the image. The specks and dust on the glass stand out, as does the golden line surrounding the case. It could be a glass with a high soda content due to its yellow-orange colour (Herrera Garrido, 2022).

In the VIS image, we highlight the difficulty of taking the image without reflections from both the sheet and the protective glass. We also try to document the main features of the sample. We can see in detail the traces of polishing on the silver sheet and the advanced deterioration of the protective glass from the edges to the centre of the image. We also observe in detail the lower left corner showing the manufacturer's seal mark (detailed in the red box). There are no signs of copper corrosion, but changes related to the oxidation of the silver can be seen. This deterioration is particularly pronounced at the edges. In the VIS image, a bluish and brownish film (probably silver oxide and silver sulphide) extends around the plate. The bottom UVR image in Figure 4 gives us a differentiated view between the support and the glass, which is difficult to distinguish in the VIS image and even more so in the UVL image. This is the best way of isolating the dust particles on the glass, the internal drops and crystals that give the appearance of crystalline glass, the scratches caused by the polish on the glass, and the tarnishing and corrosion of the silver in the corners.

Works on Glass

Figure 5 shows three examples of stereoscopic photography on glass using UVL, from the front and back. This typology of artifacts adds a relief quality to

de la imagen. La tapa ha perdido el refuerzo que la sujetaba a la cara opuesta. La imagen UVL nos muestra un gran rastro de adhesivo donde se unían las dos partes, más invasivo en el terciopelo que decora el interior de la funda. También observamos algunas manchas microbianas en la etiqueta original que identifica al sujeto, y en la zona de la fotografía vemos que la luminiscencia del cristal protector oscurece la imagen. Destacan las motas y el polvo del cristal, así como la línea dorada que rodea al estuche. Podría tratarse de un vidrio con alto contenido en sosa por su color amarillo anaranjado (Herrera Garrido, 2022).

En la imagen del VIS, destacamos la dificultad de tomar la imagen sin reflejos tanto de la hoja como del cristal protector. También intentamos documentar las principales características de la muestra. Observamos con detalle las huellas de pulido en la lámina de plata y el avanzado deterioro del cristal protector desde los bordes hacia el centro de la imagen. También observamos con detalle la esquina inferior izquierda que muestra la marca del sello del fabricante (detallada en el recuadro rojo). No hay signos de corrosión del cobre, pero se aprecian cambios relacionados con la oxidación de la plata. Este deterioro es especialmente pronunciado en los bordes. En la imagen VIS, una película azulada y parduzca (probablemente óxido y sulfuro de plata) se extiende alrededor de la placa. La imagen UVR inferior de la Figura 4 nos ofrece una visión diferenciada entre el soporte y el cristal, difícil de distinguir en la imagen VIS y aún más en la imagen UVL. Es la mejor manera de aislar las partículas de polvo del vidrio, las gotas y cristales internos que dan el aspecto de vidrio cristalino, los arañazos causados por el pulido del vidrio y el deslustre y la corrosión de la plata en las esquinas.

Obras sobre vidrio

La Figura 5 muestra tres ejemplos de fotografía estereoscópica sobre vidrio utilizando UVL, por delante y por detrás. Esta tipología de objetos añade una cualidad de

Figure 5 | Three amateur lantern slides are shown from the front (left) and back (right) sides of the plate by an unknown photographer, 1913, 4.5 x 10.7 cm, France, private collection. These stereoscopic glass plates using UVL show different degrees and shades of luminescence. This is due to the composition and condition of the different samples (top to bottom): gelatine bromide negative, chlorobromide positive and gelatine bromide positive.

Figura 5 | Tres diapositivas de linterna amateur mostradas desde el anverso (izquierda) y el reverso (derecha) de la placa tomadas por un fotógrafo desconocido, 1913, 4,5 x 10,7 cm, Francia, colección privada. Estas placas de vidrio estereoscópicas en UVL muestran diferentes grados y matices de luminiscencia. Esto se debe a la composición y el estado de las distintas muestras (de arriba a abajo): negativo de gelatina bromuro, positivo de clorobromuro y positivo de gelatina bromuro.

the perception of objects. This is achieved through a three-dimensional effect of the image using a stereoscopic viewer. These transparent plates were commonly referred to as *lantern slides* (Fernández Rivero, 2004). This was because they could be viewed with the light of a magic lantern (the precursor of the slide projector). Its industrialisation in the early twentieth century contributed to its spread as an amateur practice for educational and entertainment purposes. Since the early 20th century, they have been marketed in two forms:

relieve a la percepción de los objetos. Esto se consigue mediante un efecto tridimensional de la imagen utilizando un visor estereoscópico. Estas láminas transparentes se denominaban comúnmente *diapositivas de linterna* (Fernández Rivero, 2004). Esto se debía a que podían verse con la luz de una linterna mágica (precursora del proyector de diapositivas). Su industrialización a principios del siglo xx contribuyó a su difusión como práctica amateur con fines educativos y de entretenimiento. Desde principios del siglo xx, se comercializan en dos

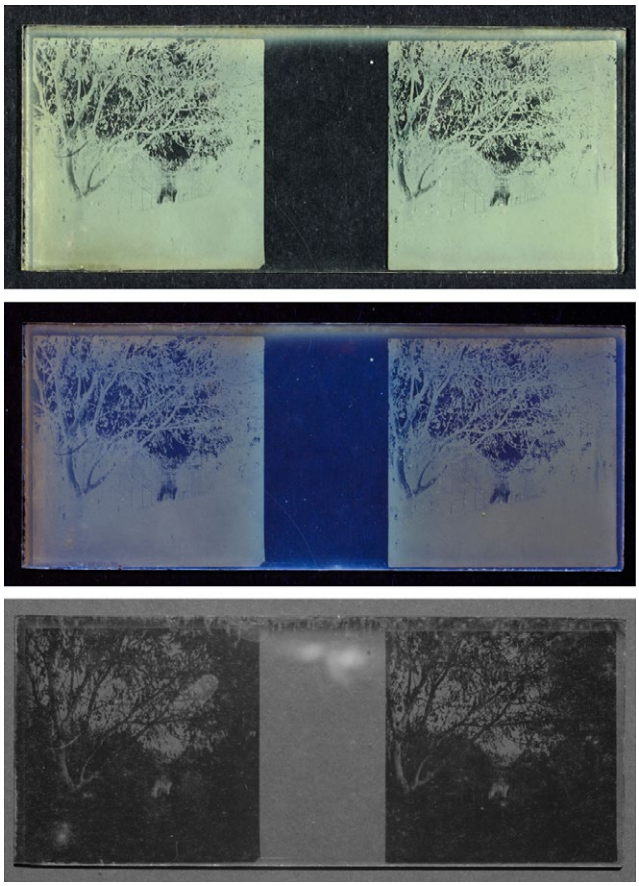


Figure 6 | Front VIS, UVL, IR (top to bottom) images of a stereoscopic negative plate. Private collection. Photographs taken in France, 1913.

Figura 6 | Imágenes frontales VIS, UVL, IR (de arriba a abajo) de una placa negativa estereoscópica. Colección privada. Fotografías tomadas en Francia, 1913.

silver chloride and silver bromide in gelatine (Lavédrine, 2009). In the case of the plates in Figure 5, the first and third are gelatinobromide processes, a negative and positive respectively. The second plate is a positive for chlorobromide.

In Figure 5, on the left are the front of the samples and on the right are the back of the samples, where the emulsion is located, using UVL. This method allows us to record different properties of the samples: in one case the luminescence emission corresponds to the glass of the support and in the other case the emulsion interferes. In the top right

formas: cloruro de plata y bromuro de plata en gelatina (Lavédrine, 2009). En el caso de las placas de la Figura 5, la primera y la tercera son procesos de gelatinobromuro, un negativo y un positivo respectivamente. La segunda placa es un positivo en clorobromuro.

En la Figura 5, a la izquierda se muestra el anverso de las muestras y a la derecha el reverso, donde se encuentra la emulsión, utilizando UVL. Este método nos permite registrar diferentes propiedades de las muestras: en un caso la emisión de luminiscencia corresponde al vidrio del soporte y en el otro interfiere la emulsión. En la imagen superior derecha de la Figura 5, a modo de comparación,

image of Figure 5, for comparison, we can see on the left side (of the emulsion) the luminiscence patterns related to the sulphation of silver, causing the so-called silver mirroring (Di Pietro, 2002). This effect is caused by the oxidation of silver on a hygroscopic binder such as gelatine. This causes the silver to migrate to the surface. In addition, it is worth noting that the luminescence of the back of the three samples is bluer than in the images on the left, which correspond to the glass without the emulsion.

Another stereoscopic negative image on glass was recorded with multiband imaging (Figure 6). At the top, it is difficult to read the photographic image because of the pronounced yellowish tint in the visible image on a black background. Something similar happens with UVL in the middle image. The image is contaminated by the milky luminescence corresponding to the composition of the glass. However, in the image at the bottom, IR gives us the positive image, which provides us with exceptional information on the distribution of the silver in the binder.

Works on Paper

A composite multiband image of a sample on paper is shown in Figure 7. It is a portrait with a few peculiarities regarding the photographic process of its creation. In the VIS image (top left), we notice that the silver image is somewhat faded, showing a yellowish-brownish tone, suggesting a possible albumen process. If we look at the UVL image (top right), we observe in the background some thin irregular lines forming small grooves and showing a pattern that is not very representative of the albumen process. In the IR image (bottom left), we can only see a dark area in the lower left corner. This corresponds to retouching in an area where the binder has been lost. The most revealing record is provided by the UVR image (bottom right), which shows the texture of the surface of the photographic image.

podemos ver en el lado izquierdo (de la emulsión) los patrones de luminiscencia relacionados con la sulfatación de la plata, causando el llamado espejo de plata (Di Pietro, 2002). Este efecto está causado por la oxidación de la plata en un aglutinante higroscópico como la gelatina. Esto hace que la plata migre a la superficie. Además, cabe señalar que la luminiscencia del reverso de las tres muestras es más azulada que en las imágenes de la izquierda, que corresponden al vidrio sin emulsión.

Otra imagen negativa estereoscópica sobre cristal se obtuvo con la técnica de imagen multibanda (Figura 6). En la parte superior, resulta difícil leer la imagen fotográfica debido al pronunciado tinte amarillento de la imagen visible sobre fondo negro. Algo similar ocurre con la UVL en la imagen central. La imagen está contaminada por la luminiscencia lechosa correspondiente a la composición del cristal. Sin embargo, en la imagen del fondo, el IR nos da la imagen positiva, lo que nos proporciona una información excepcional sobre la distribución de la plata en el aglutinante.

Obras sobre papel

En la Figura 7 se presenta una imagen compuesta multibanda de una muestra sobre papel. Se trata de un retrato con algunas peculiaridades relativas al proceso fotográfico de su creación. En la imagen VIS (arriba a la izquierda), observamos que la imagen plateada está algo difuminada, mostrando un tono amarillento-marronáceo, lo que sugiere un posible proceso de albúmina. Si nos fijamos en la imagen UVL (arriba a la derecha), observamos en el fondo unas finas líneas irregulares que forman pequeños surcos y muestran un patrón poco representativo del proceso de albúmina. En la imagen IR (abajo a la izquierda), sólo podemos ver una zona oscura en la esquina inferior izquierda. Corresponde a un retoque en una zona donde se ha perdido el aglutinante. El registro más revelador lo proporciona la imagen UVR (abajo a la derecha), que muestra la textura de la superficie de la imagen fotográfica. Ésta puede corresponder

Figure 7 | Front VIS, UVL, IR (top to bottom) images of a stereoscopic negative plate. Private collection. Photographs taken in France, 1913.

Figura 7 | Imágenes frontales VIS, UVL, IR (de arriba a abajo) de una placa negativa estereoscópica. Colección privada. Fotografías tomadas en Francia, 1913.

This may correspond to the binder or to a topcoat, and it allows us to see a pattern of cracks like those that form in a layer of albumen. It can also be seen that the surface is not homogeneous but has a certain degree of texture over the entire surface of the photographic image.

In this case, it was a challenge to identify the photographic process present. However, thanks to the information obtained from the multiband study, we decided to deepen it by using other non-invasive tools. In order to dispel some doubts, tools were used that provided additional information in an attempt to identify the nature of the layers that make up the

al aglutinante o a una capa de acabado, y permite ver un patrón de grietas como las que se forman en una capa de albúmina. También puede observarse que la superficie no es homogénea, sino que presenta cierto grado de textura en toda la superficie de la imagen fotográfica.

En este caso, fue un reto identificar el proceso fotográfico presente. Sin embargo, gracias a la información obtenida del estudio multibanda, decidimos profundizar en él utilizando otras herramientas no invasivas. Para disipar algunas dudas, se utilizaron herramientas que aportaron información adicional en un intento de identificar la naturaleza de las capas que componen la estructura. La imagen, ampliada con un microscopio estereoscópico,

structure. The image, magnified under a stereoscopic microscope, clearly shows that the fibres of the support are under the photographic emulsion. We can therefore rule out the possibility of a three layer process, which would include, in addition to the support and the emulsion, an intermediate layer of baryta, used in collodion and gelatine prints. Attenuated total reflectance Fourier transform infrared spectroscopy (ATR-FTIR) (Agilent Cary 630 FTIR spectrometer; 4000-650 nm range, 64 scans, resolution 2) was used as a non-destructive technique to study the organic materials in the support, binder, and coatings. In this case, surprisingly, the main bands revealed the presence of cellulose nitrate (collodion). The spectrum shows bands of low intensity. This leads to the hypothesis that we are dealing with a two layer process in which albumen was used as a binder and collodion as a protective layer. In this way, we find a structure of very thin layers, both albumen and collodion, which, through multiband imaging, reflects a series of features acquired by the interaction of all these compounds (Reilly, 1986).

In Figure 8, a print belonging to a private collection and taken at the beginning of the century by the Spanish-German photographer Hugo Brehme is presented. The peculiarity and importance of this artefact is that it represents a very common practice in the technique of photography, that of retouching and masking. In many cases it is a matter of the manipulation of the image to change the composition or to emphasise some features of interest. This photograph documents two of the pre-Hispanic pieces that have been preserved in the National Museum of Anthropology and History in Mexico City since the beginning of the 20th century, corresponding to the postclassical culture of the Aztecs. They were made at a time when photographic documentation of the architecture and pre-Columbian art of ancient Mexico was common, within the framework of trips and expeditions in which pioneers in this field included the photographers Augustus

muestra claramente que las fibras del soporte se encuentran bajo la emulsión fotográfica. Por lo tanto, podemos descartar la posibilidad de un proceso de tres capas, que incluiría, además del soporte y la emulsión, una capa intermedia de barita, utilizada en las impresiones al colodión y gelatina. Se utilizó la Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier y reflectancia total atenuada (FTIR-ATR) (espectrómetro FTIR Agilent Cary 630; rango 4000-650 nm, 64 barridos, resolución 2) como técnica no destructiva para estudiar los materiales orgánicos del soporte, el aglutinante y las capas. En este caso, sorprendentemente, las bandas principales revelaron la presencia de nitrato de celulosa (colodión). El espectro muestra bandas de baja intensidad, lo que lleva a la hipótesis de que se trata de un proceso de dos capas en el que se utilizó albúmina como aglutinante y colodión como capa protectora. De este modo, nos encontramos con una estructura de capas muy finas, tanto de albúmina como de colodión, que, mediante imágenes multibanda, refleja una serie de características adquiridas por la interacción de todos estos compuestos (Reilly, 1986).

En la Figura 8 se presenta una copia perteneciente a una colección privada y realizada a principios de siglo por el fotógrafo hispano-alemán Hugo Brehme. La peculiaridad e importancia de esta fotografía es que representa una práctica muy común en la técnica fotográfica, la del retoque y enmascaramiento. En muchos casos se trata de la manipulación de la imagen para cambiar la composición o destacar algunos rasgos de interés. Esta fotografía documenta dos de las piezas prehispánicas que se conservan en el Museo Nacional de Antropología e Historia de la Ciudad de México desde principios del siglo xx, correspondientes a la cultura posclásica de los aztecas. Fueron realizadas en una época en la que era común la documentación fotográfica de la arquitectura y el arte precolombino del México antiguo, en el marco de viajes y expediciones en las que fueron pioneros en este campo los fotógrafos Augustus Le Plongeon (1826-1908), Claude-Joseph-Désiré Charnay (1828-1915), Teobert Maler

Figure 8 | VIS, UVL, IR images (top to bottom) of a photograph of pre-Columbian ancient art. National Museum of Anthropology and History, Mexico City. Photograph by Hugo Brehme, circa 1910, private collection. The stone carvings are detailed in red in the UVL image, showing the retouching marks.

Figura 8 | Imágenes VIS, UVL, IR (de arriba a abajo) de una fotografía de arte antiguo precolombino. Museo Nacional de Antropología e Historia, Ciudad de México. Fotografía de Hugo Brehme, hacia 1910, colección privada. Las tallas de piedra se detallan en rojo en la imagen UVL, mostrando las marcas de retoque.

Le Plongeon (1826-1908), Claude-Joseph-Désiré Charnay (1828-1915), Teobert Maler (1842-1917), Charles Betts Waite (1861-1929), Hugo Brehme (1882-1954), among many others (Vázquez de Ágredos-Pascual et al., 2021). The serious conservation problems that many of these photographic archives show is notorious, and they require constant supervision to guarantee their legacy to future generations, as demonstrated by the protocols followed at the Getty Institute with these documentary collections (Lavédrine, 2003). Brehme, the photographer of the sample shown in Figure 8, manipulated the positive on paper to transform the image according to its use. Brehme published several albums illustrating Mexican identity and culture. Several pieces from this exemplary national museum were included. In this case, to focus attention on the pieces, the photographer masks the main backgrounds and supports with a thick layer. The VIS image shows us a matte black background, and the table on which the pieces are placed is covered with different shades of colour ranging from black to light grey.

The UVL image provides different information from the VIS. It allows us to distinguish very well the areas that have not been covered, as well as retouching outside the image in the top left corner and those that the photographer has applied with a brush to the stone carvings. If we look closely at the UVL image, we can see that the carvings are full of brown lines. These lines correspond to the details that Brehme has added to the silver print to emphasise the volume of the final black and white image. In the UVL image, we can see that he also used it for the marble border in the background. Having almost completely covered the background, he preferred to keep the marbled border within the composition. The last image in the IR gives us a different kind of information. Knowing the function and use of the final retouched image, the IR image is similar to what the retouched photograph would look like reproduced in black and white. Thanks to the black and white representation, we can easily see how

(1842-1917), Charles Betts Waite (1861-1929), Hugo Brehme (1882-1954), entre muchos otros (Vázquez de Ágredos-Pascual *et al.*, 2021). Son notorios los graves problemas de conservación que presentan muchos de estos archivos fotográficos, que requieren una supervisión constante para garantizar su legado a las generaciones futuras, como demuestran los protocolos seguidos en el *Getty Institute* con estos fondos documentales (Lavédrine, 2003). Brehme, el fotógrafo de la muestra de la Figura 8, manipuló el positivo sobre papel para transformar la imagen en función de su uso. Brehme publicó varios álbumes que ilustraban la identidad y la cultura mexicanas. Se incluyeron varias piezas de este destacado museo nacional. En este caso, para centrar la atención en las piezas, el fotógrafo enmascara los fondos y soportes principales con una capa gruesa. La imagen VIS nos muestra un fondo negro mate, y la mesa sobre la que están colocadas las piezas está cubierta de diferentes tonos de color que van del negro al gris claro.

La imagen UVL proporciona una información diferente de la VIS. Nos permite distinguir muy bien las zonas que no han sido cubiertas, así como los retoques fuera de la imagen en la esquina superior izquierda y los que el fotógrafo ha aplicado con un pincel a las tallas de piedra. Si observamos detenidamente la imagen UVL, veremos que las tallas están llenas de líneas marrones. Estas líneas corresponden a los detalles que Brehme ha añadido a la copia en plata para acentuar el volumen de la imagen final en blanco y negro. En la imagen UVL, podemos ver que también las utilizó para el borde de mármol del fondo. Al haber cubierto casi por completo el fondo, prefirió mantener el borde de mármol dentro de la composición. La última imagen del IR nos da otro tipo de información. Conociendo la función y el uso de la imagen final retocada, la imagen del IR es similar a lo que sería la fotografía retocada reproducida en blanco y negro. Gracias a la representación en blanco y negro, podemos ver fácilmente cómo

the volume additions applied to the pieces are integrated and how the black background contrasts with the edge of the background.

Conclusions

The use of multiband images and the interpretation of the results are proposed as a critical and reflective exercise, where the scope and limitations of the technique are evaluated. This exploration of multiband imaging techniques applied to photographic artifacts serves as a practical tool to enhance the processes of imaging, documentation, and diagnosis of collections.

In the case of photographs on metal, UVL has been very useful in assessing the state of preservation of the binders and the presence of dust stains and fingerprints that we could not see in the visible image. On the other hand, UVR imaging has provided more information about the physical changes that have occurred on the surface of the plates: scratches, stains and changes due to oxidation have been the most prominent. In the case of glass artefacts, UVL is a very useful tool for identifying the features of both the binder and the support. UVL also highlights the identification of the oxidation state of silver compounds. Finally, in the case of photographs on paper, all multiband images are useful, whether for the characterisation of the binder, the recognition of layers or the identification of retouching by the author.

The versatility of multiband imaging, combined with its ease of access, use and function for the study of photographic heritage, can be of useful to curators, conservators, and archive professionals among others, and it is important to encourage the regular use of these techniques for these materials and the dissemination of knowledge about these artefacts through didactic, scientific, and professional platforms.

se integran los añadidos de volumen aplicados a las piezas y cómo el fondo negro contrasta con el borde del fondo.

Conclusiones

El uso de imágenes multibanda y la interpretación de los resultados se plantean como un ejercicio crítico y reflexivo, en el que se evalúan el alcance y las limitaciones de la técnica. Esta exploración de técnicas de imagen multibanda aplicadas a objetos fotográficos sirve como herramienta práctica para mejorar los procesos de imagen, documentación y diagnóstico de colecciones.

En el caso de las fotografías sobre metal, la UVL ha sido muy útil para evaluar el estado de conservación de los aglutinantes y la presencia de manchas de polvo y huellas dactilares que no podíamos apreciar en la imagen visible. Por otro lado, la imagen UVR ha proporcionado más información sobre los cambios físicos que se han producido en la superficie de las placas: arañazos, manchas y cambios debidos a la oxidación han sido los más destacados. En el caso de los objetos de vidrio, la UVL es una herramienta muy útil para identificar las características tanto del aglutinante como del soporte. La UVL también permite identificar el estado de oxidación de los compuestos de plata. Por último, en el caso de las fotografías sobre papel, todas las imágenes multibanda son útiles, ya sea para la caracterización del aglutinante, el reconocimiento de las capas o la identificación de los retoques realizados por el autor.

La versatilidad de la imagen multibanda, combinada con su facilidad de acceso, uso y funcionamiento para el estudio del patrimonio fotográfico, puede ser de utilidad para conservadores, comisarios y profesionales de archivos, entre otros, y es importante fomentar el uso habitual de estas técnicas para estos materiales y la difusión del conocimiento sobre estos objetos a través de plataformas didácticas, científicas y profesionales.

Our experience in the study of photographic artefacts of many different natures allows us to assess the relevance of the equipment and measurements selected. Based on our results, we are able to assess their suitability with regard to the evaluation and conservation of photographic collections. For the study of the material culture of photographic objects, we can affirm that the use of multiband techniques is an unequalled tool. Multiband imaging gives us the possibility to plan complementary studies, to improve the protocols for the identification of photographic processes, to carry out reinforced diagnoses and to supplement the documentation and evaluation processes of photographic archives and collections.

Nuestra experiencia en el estudio de fotografías de naturaleza muy diversa nos permite evaluar la pertinencia de los equipos y mediciones seleccionados. A partir de nuestros resultados, podemos valorar su idoneidad de cara a la evaluación y conservación de colecciones fotográficas. Para el estudio de la cultura material de los objetos fotográficos, podemos afirmar que el empleo de la técnica de imagen multibanda es una herramienta inigualable. La imagen multibanda nos ofrece la posibilidad de planificar estudios complementarios, mejorar los protocolos de identificación de procesos fotográficos, realizar diagnósticos reforzados y complementar los procesos de documentación y evaluación de archivos y colecciones fotográficas.

Acknowledgments

The authors of this paper express their gratitude to the Consellería de Innovación, Universidades, Ciencia y Sociedad Digital- Generalitat Valenciana, for financing the project 'Optimization of a Multiband Spectral System of Artistic Diagnosis focused to the implementation of innovative, sustainable and accessible Museum Itineraries: towards a Cultural Tourism in the key of Science, Inclusion and Well-Being applied to great Art Galleries' (IDIFEDER/2021/076), which has made possible the research presented in this contribution.

Agradecimientos

Los autores de este trabajo expresan su agradecimiento a la Consellería de Innovación, Universidades, Ciencia y Sociedad Digital- Generalitat Valenciana, por la financiación del proyecto 'Optimización de un Sistema Espectral Multibanda de Diagnóstico Artístico enfocado a la implementación de Itinerarios Museísticos innovadores, sostenibles y accesibles: hacia un Turismo Cultural en clave de Ciencia, Inclusión y Bienestar aplicado a grandes Galerías de Arte' (IDIFEDER/2021/076), que ha hecho posible la investigación presentada en esta contribución.

References | Bibliografía

Chen, J.J., & Smith, T. J. (2020). Documentation of Salted Paper Prints with a Modified Digital Camera. *Journal of the American Institute for Conservation*, *59*(3-4), 271-285. https://doi.org/10.1080/01971360.2019.1643527

Di Pietro, G. (2002). *Silver Mirroring on Silver Gelatin Glass Negatives*. [Doctoral dissertation, University of Basel]. https://doi.org/10.2307/3179788

Fernández Rivero, J.A. (2004). *Tres dimensiones en la historia de la fotografía: La imagen estereoscópica* (Ed.) Editorial Miramar.

Graphic Atlas. (2010). *Image Permanence Institute. Rochester Institute of Technology*.

Herrera Garrido, R. (2022). *Conservación y restauración de fotografía* (Ed.) Síntesis.

Lavédrine, B. (2003). *A Guide to the Preventive Conservation of Photograph Collections* (Ed.) Getty Conservation Institute.

Lavédrine, B. (2009). *Photographs of the past: process and preservation*. Getty Publications.

Muñoz-Viñas, S. (2004). *Contemporary Theory of Conservation*. (1st ed.). Routledge. https://doi.org/10.4324/9780080476834

Nieto-Villena, A., Martínez, J.R., Guerrero, A.L., Arauz Lara, J.L., Flores-Camacho, J.M., Lastras-Martínez, A., de la Cruz Mendoza, J.Á., Ortega Zarzosa, G., & García, Á.S. (2023). Towards a methodological approach to identify the main components used in historic photographs. *Journal of the Institute of Conservation*, *46*(1), 23–36. https://doi.org/10.1080/19455224.2022.2157459

Nieto-Villena, A., Solbes-García, Á., Valcárcel-Andrés, J.C., & Martínez, J.R. (2022). Descubriendo una maleta mexicana: preservación de una colección del fotógrafo pictorialista Hugo Brehme. In M. de C. y D. de España (Ed.), *Conservación de Arte Contemporáneo 23ª Jornada* (pp. 13–27). *Museo Nacional Centro de Arte Reina Sofía* https://www.museoreinasofia.es/publicaciones/conservacion-arte-contemporaneo-23a-jornada

Picollo, M., Stols-Witlox, M., & Fuster López, L. (2019). UV-Vis Luminescence: Imaging Techniques. *CONSERVATION 360º*, *(1)*, 342. https://doi.org/10.4995/360.2019.110002

Ravines, P., Baum, K.G., Cox, N.A., Shawn, W., & Helguera, M. (2014). Multimodality imaging of Daguerreotypes and development of a registration program for image evaluation. *Journal of the American Institute for Conservation*, *53*(1), 19–32. https://doi.org/10.1179/1945233013Y.0000000014

Reilly, J.M. (1986). *Care and identification of 19th century photographic prints*. Eastman Kodak Company.

Streeton, N.L.W. (2022). Conservators at the interface with history of art: Technical art history, multi-disciplinarity and material culture. *CONSERVATION 360º*, (2).

Stulik, D.C., & Kaplan, A. (2013). The Atlas of Analytical Signatures of Photographic Processes. Albumen. In *The Getty Conservation Institute* (Eds.)

Tragni, C.B. (2005). *The Use of Ultraviolet-Induced Fluorescence for Examination of Photographs*. [Capstone Research Project, Advanced Residency Program in Photograph Conservation]. George Eastman House, Image Permanence Institute.

Vázquez de Ágredos-Pascual, M.L. (2021). La aportación de la fotografía y sus antecedentes ópticos en las artes del dibujo: Del Renacimiento europeo a Teobert Maler. In M. L. Vázquez de Ágredos-Pascual, C. Vidal-Lorenzo, & P. Horcajada Campos (Eds.), *Las ruinas mayas en la obra de Teobert Maler* (pp. 13-52). Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

Infrared false-color (IRFC) image processed from the visible (VIS) and infrared (IR) records of the work by Muñoz Degrain: Paisaje (c. 1870), oil on canvas, 37 x 48 cm, Valencia, Museu de Belles Arts (Inv. No. 2385).

Imagen en falso color infrarrojo (IRFC) procesada a partir de los registros visible (VIS) e infrarrojo (IR) de la obra de Muñoz Degrain: Paisaje (c. 1870), óleo sobre lienzo, 37 x 48 cm, Valencia, Museu de Belles Arts (nº de inv. 2385).

MULTIBAND (MBI) AND HYPERSPECTRAL IMAGING (HSI) TO CHARACTERISE PAINTING PROCESSES AND STATE OF CONSERVATION IN ANTONIO MUÑOZ DEGRAIN ARTWORKS

IMÁGENES MULTIBANDA (MBI) E HIPERESPECTRALES (HSI) PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LOS PROCESOS PICTÓRICOS Y EL ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LAS OBRAS DE ANTONIO MUÑOZ DEGRAIN

Álvaro Solbes-García *, Mª. Luisa Vázquez de Ágredos-Pascual, Lucía Rojo-Iranzo, Alejandra Nieto-Villena, Susana Herreras-Sala, María Andrieux-Nuno
Universidad de Valencia, Spain

* *alvaro.solbes@uv.es*

Introduction

The invention of photography in the first half of the 19th century meant that, through the photosensitivity of certain substances, the first images captured with light sensitive materials could be reproduced and fixed on a physical support. This milestone had a major impact on many fields of knowledge and represented a technological revolution for the scientific, industrial, and cultural development of our society. Since then, photography has evolved, especially in the 20th and 21st centuries, with the incorporation of semiconductor materials in the form of increasingly powerful microchips and sensors, thanks to advances in the digital age and materials science (Litwiller, 2001).

Introducción

La invención de la fotografía en la primera mitad del siglo XIX supuso que, gracias a la fotosensibilidad de determinadas sustancias, las primeras imágenes captadas con materiales sensibles a la luz pudieran ser reproducidas y fijadas sobre un soporte físico. Este hito tuvo un gran impacto en muchos campos del conocimiento y supuso una revolución tecnológica para el desarrollo científico, industrial y cultural de nuestra sociedad. Desde entonces, la fotografía ha evolucionado, especialmente en los siglos XX y XXI, con la incorporación de materiales semiconductores en forma de microchips y sensores cada vez más potentes, gracias a los avances de la era digital y de la ciencia de los materiales (Litwiller, 2001).

Today, the use of silicon-based photosensitive cells such as CCD (charge-coupled device) and CMOS (complementary metal-oxide semiconductor) is widespread in imaging technologies, including 3D and Multiband Imaging, or even in non-invasive reflectance spectroscopies like FORS (fibre-optic reflectance spectroscopy), to name a few (Aceto et al., 2014). CMOS sensors have currently a greater market presence than CCDs for two reasons. Firstly, they are cheaper to produce and secondly, they are more efficient in terms of data transfer speed and smaller size (Gouveia & Choubey, 2014). As a result, CMOS sensors are technically essential in compact devices such as smartphones (Sáez-Hernández et al., 2022) and hyperspectral cameras (Solbes-García et al., 2023) used in cultural heritage studies.

Imaging techniques applied to the study of pictorial works of art serve to improve the historical-artistic knowledge of the works in several ways. The information is of great interest to conservators and scientists working to conserve and protect the artworks (Streeton, 2022), and the information and images that give information on the materials and techniques used can help to identify forgeries and copies (Polak et al., 2017). The data and imagery from these advanced imaging techniques are also being applied in the development of new museographies of a more immersive and experiential nature (Vázquez de Ágredos Pascual et al., 2022), related to Experiential Tourism and Economy. This study of four paintings by Antonio Muñoz Degrain has focused on a thorough examination of the surface of each to analyse the colour, materials and technique used to serve conservators and curators in all aspects of their work and to help form a better understanding of Degrain's methods and of these paintings in particular.

Hoy en día, el uso de células fotosensibles basadas en silicio, como los CCD (dispositivos de acoplamiento de carga) y los CMOS (semiconductores complementarios de óxido metálico), está muy extendido en tecnologías de imagen, como la imagen 3D y multibanda, o incluso en espectroscopias de reflectancia no invasivas como la *FORS* (espectroscopia de reflectancia por fibra óptica), por citar algunas (Aceto *et al.*, 2014). Los sensores CMOS tienen actualmente una mayor presencia en el mercado que los CCD por dos razones. En primer lugar, son más baratos de producir y, en segundo lugar, son más eficientes en términos de velocidad de transferencia de datos y menor tamaño (Gouveia y Choubey, 2014). Como resultado, los sensores CMOS son técnicamente esenciales en dispositivos compactos como los *smartphones* (Sáez-Hernández *et al.*, 2022) y las cámaras hiperespectrales (Solbes-García *et al.*, 2023) utilizadas en estudios del patrimonio cultural.

Las técnicas de imagen aplicadas al estudio de las obras de arte pictóricas sirven para mejorar el conocimiento histórico-artístico de las obras de varias maneras. La información es de gran interés para los conservadores y científicos que trabajan en la conservación y protección de las obras de arte (Streeton, 2022), y la información y las imágenes que aportan datos sobre los materiales y las técnicas utilizadas pueden ayudar a identificar falsificaciones y copias (Polak *et al.*, 2017). Los datos e imágenes de estas técnicas avanzadas de imagen también se están aplicando en el desarrollo de nuevas museografías de carácter más inmersivo y experiencial (Vázquez de Ágredos Pascual *et al.*, 2022), relacionadas con el turismo y la economía experiencial. Este estudio de cuatro pinturas de Antonio Muñoz Degrain se ha centrado en un examen minucioso de la superficie de cada una de ellas para analizar el color, los materiales y la técnica empleada con el fin de servir a conservadores/as, comisarios/as y científicos/as en todos los aspectos de su trabajo y ayudar a formar una mejor comprensión de los métodos de Degrain y de estas pinturas en particular.

The main function of Multiband Imaging (MBI) is to acquire a set of scientific images of the objects analysed in the visible and non-visible bands of the electromagnetic spectrum (Dyer et al., 2013). When we talk about scientific images, we refer to multiple acquisitions made with recording equipment, a DSLR camera; incident radiation, with different radiation sources; and bandpass filters that help us discriminate the signals or luminescence in the ranges we want to capture. Traditionally, records of cultural assets are carried out in the ultraviolet and near infrared regions closest to the visible spectrum (400-730 nm), UV (200-400 nm) and IR (730-1100 nm) respectively. In the infrared, it is common to use long-pass filters that allow wavelengths to pass above 720, 850 and 900 nm (Pereira Uzal, 2019), and in the ultraviolet, long wavelengths (365 nm) are generally used but the range is dependent on the radiation source (Webb, 2019). Complementary recordings are also made by changing the position of the incident radiation. This can involve placing the radiation parallel to or behind the object (transillumination) to capture different processes of reflection, transmission, or absorption of the incident radiation. It is also common to combine radiation sources and filters, such as LED lights or polarising filters (Al-Gaoudi & Iannaccone, 2021).

Considering the possibilities of the MBI and HSI, two years ago the Artworks Analysis and Diagnostic Laboratory of the Universitat de València, with the help of the European Regional Development Fund (IDIFEDER/2021/076), managed to implement a 'Multiband Artistic Diagnostic System' that, once optimised, is being applied in the analysis of different artefacts, with a focus on contemporary painting (Vázquez de Ágredos Pascual et al., 2023). This 'Multiband Artistic Diagnostic System' is a multi-analytical protocol, based on Dyer et al. (2018), for obtaining scientific images and spectral data at variable wavelengths in the electromagnetic spectrum. Mainly hyperspectral and multiband cameras are used, capable of capturing

La función principal del *Multiband Imaging* (MBI) es adquirir un conjunto de imágenes científicas de los objetos analizados en las bandas visibles y no visibles del espectro electromagnético (Dyer *et al.*, 2013). Cuando hablamos de imágenes científicas, nos referimos a múltiples adquisiciones realizadas con equipos de grabación, una cámara DSLR; radiación incidente, con diferentes fuentes de radiación; y filtros pasabanda que nos ayudan a discriminar las señales o luminiscencia en los rangos que queremos captar. Tradicionalmente, los registros de bienes culturales se realizan en las regiones ultravioleta e infrarrojo cercano más próximas al espectro visible (400-730 nm), UV (200-400 nm) e IR (730-1100 nm) respectivamente. En el infrarrojo, es común el uso de filtros de paso largo que permiten el paso de longitudes de onda superiores a 720, 850 y 900 nm (Pereira Uzal, 2019), y en el ultravioleta se suelen utilizar longitudes de onda largas (365 nm), pero el rango depende de la fuente de radiación (Webb, 2019). También se realizan registros complementarios cambiando la posición de la radiación incidente. Esto puede implicar colocar la radiación paralela o detrás del objeto (transiluminación) para captar diferentes procesos de reflexión, transmisión o absorción de la radiación incidente. También es habitual combinar fuentes de radiación y filtros, como luces LED o filtros polarizadores (Al-Gaoudi y Iannaccone, 2021).

Considerando las posibilidades del MBI y el HSI, hace dos años el Laboratorio de Análisis y Diagnóstico de Obras de Arte de la Universitat de València, con la ayuda del Fondo Europeo de Desarrollo Regional (IDIFEDER/2021/076), consiguió implementar un "Sistema de Diagnóstico Artístico Multibanda" que, una vez optimizado, se está aplicando en el análisis de diferentes objetos, con especial atención a la pintura contemporánea (Vázquez de Ágredos Pascual *et al.*, 2023). Este "Sistema de Diagnóstico Artístico Multibanda" es un protocolo multianalítico, basado en Dyer *et al.* (2018), para la obtención de imágenes científicas y datos espectrales en longitudes de onda variables del espectro electromagnético. Se utilizan principalmente cámaras

images in the ultraviolet, visible, and infrared (from 360 to 1100 nm), which are then complemented by infrared reflectography (900-1700 nm) and digital radiography.

This paper presents the results of the combination of multiband and hyperspectral imaging techniques considered in our protocol for the study of Muñoz Degrain paintings preserved in the Museu de Belles Arts de València. The museum has a very rich collection of paintings by Antonio Muñoz Degrain (1840-1924), which are currently displayed in a room dedicated to this important Valencian painter of the 20th century. After a first period of training at the San Carlos Academy in Valencia (1852-1859), Muñoz Degrain spent a short period at the San Fernando Academy in Madrid, where he developed his first professional initiatives (1861-1870). This period gave way to a new phase of consolidation, much of which took place in Malaga (1870-1895). In these moments, Muñoz Degrain explored the luminous and chromatic universe of an Orientalism that benefited from the use of new chromatic possibilities that favoured a post-Industrial Revolutionary palette enriched with chrome, cobalt, or cadmium, among others, which gave his work a clear technical-chromatic innovation (Bonet Solves, 1994). These new possibilities continued to characterise this painter in his last period (1890-1924), when he explored landscapes from a thematic point of view, sometimes charged with a remarkable symbolism.

Materials and Methods

The four works selected for this study are representative of the thematic and technical transitions that Antonio Muñoz Degrain's work underwent between 1870 and 1890. Three of them show landscapes constructed with colour and, as the results obtained have shown, without an accurate preliminary drawing.

hiperespectrales y multibanda, capaces de captar imágenes en el ultravioleta, visible e infrarrojo (de 360 a 1100 nm), que luego se complementan con reflectografía infrarroja (900-1700 nm) y radiografía digital.

En este trabajo se presentan los resultados de la combinación de las técnicas de imagen multibanda e hiperespectral consideradas en nuestro protocolo para el estudio de las pinturas de Muñoz Degrain conservadas en el Museu de Belles Arts de València. El museo cuenta con una riquísima colección de pinturas de Antonio Muñoz Degrain (1840-1924), que actualmente se exponen en una sala dedicada a este importante pintor valenciano del siglo xx. Tras un primer periodo de formación en la Academia de San Carlos de Valencia (1852-1859), Muñoz Degrain pasó una breve temporada en la Academia de San Fernando de Madrid, donde desarrolló sus primeras iniciativas profesionales (1861-1870). Este periodo dio paso a una nueva etapa de consolidación, gran parte de la cual tuvo lugar en Málaga (1870-1895). En estos momentos, Muñoz Degrain exploró el universo luminoso y cromático de un orientalismo que se benefició del uso de nuevas posibilidades cromáticas que favorecieron una paleta postrevolucionaria industrial enriquecida con cromo, cobalto o cadmio, entre otros, lo que dotó a su obra de una clara innovación técnico-cromática (Bonet Solves, 1994). Estas nuevas posibilidades siguieron caracterizando a este pintor en su última etapa (1890-1924), en la que exploró los paisajes desde un punto de vista temático, cargado en ocasiones de un notable simbolismo.

Materiales y métodos

Las cuatro obras seleccionadas para este estudio son representativas de las transiciones temáticas y técnicas que experimentó la obra de Antonio Muñoz Degrain entre 1870 y 1890. Tres de ellas muestran paisajes construidos con color y, como han demostrado los resultados obtenidos, sin un dibujo previo preciso. Estas tres obras

These three works are *Paisaje* (around 1870), *Paisaje con alquería* (around 1870) and *Cercanías de Valencia* (around 1870). Finally, *Pitonisa* (1890) is also representative of the importance of colour in Degrain's painting, to reveal light, which in his work becomes a means of constructing real or imaginary (perhaps dreamed) stories.

Multiband Imaging (MBI)

This technical photographic documentation consists of a collection of scientific images taken with the FX DSLR Nikon D850 (8256 x 5504 pixels; 45.4 MP) digital camera, modified and sensitive to the spectral range around 360-1100 nm (CMOS FX sensor; 35,9 mm x 23,9 mm) and AF Nikkor 50 mm f/1.8D lens; 46° focusing angle; 52 mm filter size. The provider (CHSOS©) removed two filters from the camera body: the Hot mirror that blocks UV and IR, and the Dust Reduction Filter (IR-reflective coating), to capture images in the full range of the sensor.

To obtain the different images, which can then be digitally layered for imaging analysis and feature measurement, it is necessary to use two types of lamps: UV and halogen (Table 1). Both the lamps and the camera need to be filtered with specific bandpass filters for the different MBI techniques. For this purpose, these captures were taken under the same spatial, lighting, and framing conditions as much as possible, using the TP-MSI Calibration Card provided by CHSOS© (Cosentino, 2015a). A set of 3 scientific filters (52 mm), Robertina - Technical Photography Filters (CHSOS©), was used for UV, VIS, and IR imaging (Table 1).). The system was also controlled by a computer with the open-source software digiCamControl.

A high-power UV lamp, the Fabrizio UV-Lamp (CHSOS©), has been used to irradiate the surface of paintings for ultraviolet-induced visible luminescence (UVL) and ultraviolet-reflectance (UVR) photography.

son *Paisaje* (hacia 1870), *Paisaje con alquería* (hacia 1870) y *Cercanías de Valencia* (hacia 1870). Por último, *Pitonisa* (1890) es también representativa de la importancia del color en la pintura de Degrain, para revelar la luz, que en su obra se convierte en un medio para construir historias reales o imaginarias (tal vez soñadas).

Imágenes multibanda (MBI)

Esta documentación fotográfica técnica consiste en una colección de imágenes científicas tomadas con la cámara digital FX DSLR Nikon D850 (8256 x 5504 píxeles; 45,4 MP), modificada y sensible al rango espectral en torno a 360-1100 nm (sensor CMOS FX; 35,9 mm x 23,9 mm) y objetivo AF Nikkor 50 mm f/1,8D; ángulo de enfoque de 46°; tamaño de filtro de 52 mm. El proveedor (CHSOS©) eliminó dos filtros del cuerpo de la cámara: el *hot mirror*, que bloquea los rayos UV e IR, y el *dust reduction filter* (revestimiento reflectante IR), para capturar imágenes en todo el rango del sensor.

Para obtener las distintas imágenes, que luego pueden estratificarse digitalmente para el análisis de imágenes y la medición de características, es necesario utilizar dos tipos de lámparas: UV y halógenas (Tabla 1). Tanto las lámparas como la cámara deben filtrarse con filtros de paso de banda específicos para las distintas técnicas de MBI. Para ello, estas capturas se realizaron en la medida de lo posible en las mismas condiciones espaciales, de iluminación y de encuadre, utilizando la tarjeta de calibración TP-MSI proporcionada por CHSOS© (Cosentino, 2015a). Se utilizó un juego de 3 filtros científicos (52 mm), Robertina – *Technical Photography Filters* (CHSOS©), para la obtención de imágenes UV, VIS e IR (Tabla 1). El sistema también se controló mediante un ordenador con el software de código abierto *digiCamControl*.

Se ha utilizado una lámpara UV de alta potencia, la Fabrizio UV-Lamp (CHSOS©), para irradiar la superficie de las pinturas para la obtención de las imágenes de luminiscencia visible inducidas por ultravioleta (UVL) y

Table 1 | Multiband Technique Information Including Radiation Sources, Filters, and Range Investigated.

Tabla 1 | Información sobre las técnicas multibanda, incluidas las fuentes de radiación, los filtros y el alcance investigado.

MBI Technique	Radiation Sources	Filter(s) on Camera Lens (52 mm)	Range Investigated
Visible-reflected imaging (VIS)	2 x Arrilite 750 Plus, HPL 750W tungsten lamps, by Arri AG©	VIS Robertina - TP Filter (CHSOS©): type BW420 plus X-Nite CC1 filter	ca. 400-730 nm
Ultraviolet-induced luminescence imaging (UVL)	Fabrizio UV-Lamp (CHSOS©), UV LED 14250 mW, emission 365 nm, and UV-pass glass (type BW403 filter)	VIS Robertina - TP Filter (CHSOS©): type BW420 plus X-Nite CC1 filter	ca. 400-730 nm
Ultraviolet-reflected imaging (UVR)	Fabrizio UV-Lamp (CHSOS©), UV LED 14250 mW, emission 365 nm, and UV-pass glass (type BW403 filter)	UV Robertina - TP Filter (CHSOS©): type BW403 plus X-Nite CC1 filter	ca. 350-400 nm
Infrared-reflected imaging (IR)	2 x Arrilite 750 Plus, HPL 750W tungsten lamps, by Arri AG©	IR Robertina - TP Filter (CHSOS©): type Heliopan RG1000 filter	ca. 730-1000 nm

This lamp has an LED radiant power of 14250mW, a focusing lens angle of 60°, and an emission range at 365 nm (ISO 20473:2007, 2007). UV LEDs produce UV radiation, but also some unwanted visible light, so the lamp is mounted with a special filter to cut out all visible light, allowing only the appropriate radiation to pass through (Cosentino, 2015b). In essence, the UV images obtained with these bare UV LEDs do not show the true UV luminescence of the materials being tested because the visible light overwhelms the dim fluorescence. To avoid this effect, the lamp has a filtered glass that only lets through the UV radiation that is intended to reach the object. An ARRI ARRILITE 750 Plus illumination kit was used for VIS and IR imaging. This kit includes two HPL 750W tungsten lamps with a correlated colour temperature of 3200K and a beam angle of 21-73°. The geometry of the illumination was in accordance with the CIE standards for colorimetric measurements, with the beams being projected symmetrically at a 45° angle to the surface of the paintings.

reflectancia ultravioleta (UVR). Esta lámpara tiene una potencia radiante LED de 14250 mW, un ángulo de lente de enfoque de 60° y un rango de emisión a 365 nm (ISO 20473:2007, 2007). Los LED UV producen radiación UV, pero también algo de luz visible no deseada, por lo que la lámpara se monta con un filtro especial para cortar toda la luz visible, dejando pasar solo la radiación adecuada (Cosentino, 2015b). En esencia, las imágenes UV obtenidas con estos LED UV desnudos no muestran la verdadera luminiscencia UV de los materiales analizados porque la luz visible abruma la tenue fluorescencia. Para evitar este efecto, la lámpara dispone de un cristal filtrado que sólo deja pasar la radiación UV destinada a alcanzar el objeto. Para las imágenes VIS e IR se utilizó un kit de iluminación ARRI ARRILITE 750 Plus. Este kit incluye dos lámparas de tungsteno HPL 750W con una temperatura de color correlativa de 3200K y un ángulo de haz de 21-73°. La geometría de la iluminación se ajustó a las normas CIE para mediciones colorimétricas, proyectándose los haces simétricamente en un ángulo de 45° con respecto a la superficie de las pinturas.

Another multiband imaging technique that provides relevant information for artistic diagnosis is the processing of false colour images from the use of IR and UV images (Aguilar-Téllez et al., 2014). This type of image is obtained by swapping the RGB colour channels of the VIS image, replacing one of them with the desired band. In IRFC (Infrared False Colour) images, the red channel has been replaced by IR capture and the red channel has been shifted to green and the green channel to blue (Mulholland et al., 2017). The process is similar for UVFC (Ultraviolet False Colour) images, with the UV-Reflected image conventionally placed in the blue channel of the visible image. False colour images are used to classify pigments (Hayem-Ghez et al., 2015) with a known colour response in this type of processing. For example, in an IRFC image, vermilion will change to yellow/orange and Mars red (iron oxide) will change to green (Moon et al., 1992). The open-source software RawTherapee and GIMP were employed for the processing and editing of all multiband images.

Hyperspectral Imaging (HSI)

The portable and lightweight SpecimIQ® Hyperspectral camera (Specim.Fi by Konica Minolta) enables non-invasive diagnosis and accurate colour measurement of paintings. The Specim IQ camera is a VNIR (400-1000nm) system with a CMOS silicon-based sensor recording 204 spectral bands with a 7nm spectral resolution and 3.5 nm spectral sampling. The camera has a spatial resolution of 512 x 512 pixels. Unprocessed and processed data are stored directly by the camera in the form of three-dimensional data cubes. The hyperspectral data is visualised immediately after the measurement and the user can add metadata to it. Reflectance transformation (normalisation process) is performed automatically for data comparison and visualization.

Otra técnica de imagen multibanda que aporta información relevante para el diagnóstico artístico es el procesado de imágenes en falso color a partir del uso de imágenes IR y UV (Aguilar-Téllez *et al.*, 2014). Este tipo de imágenes se obtienen intercambiando los canales de color RGB de la imagen VIS, sustituyendo uno de ellos por la banda deseada. En las imágenes IRFC (*infrared false colour*) se ha sustituido el canal rojo por la captura IR y se ha desplazado el canal rojo al verde y el verde al azul (Mulholland *et al.*, 2017). El proceso es similar para las imágenes UVFC (*ultraviolet false colour*), con la imagen UV reflejada convencionalmente colocada en el canal azul de la imagen visible. Las imágenes de falso color se utilizan para clasificar pigmentos (Hayem-Ghez *et al.*, 2015) con una respuesta de color conocida en este tipo de procesamiento. Por ejemplo, en una imagen IRFC, el bermellón cambiará a amarillo/naranja y el rojo de Marte (óxido de hierro) cambiará a verde (Moon *et al.*, 1992). Para procesar y editar todas las imágenes multibanda se utilizaron los programas de código abierto *RawTherapee* y *GIMP*.

Imágenes hiperespectrales (HSI)

La cámara hiperespectral portátil y ligera SpecimIQ® (*Specim.fi* de Konica Minolta) permite el diagnóstico no invasivo y la medición precisa del color de las pinturas. La cámara Specim IQ es un sistema VNIR (400-1000 nm) con un sensor CMOS basado en silicio que registra 204 bandas espectrales con una resolución espectral de 7 nm y un muestreo espectral de 3,5 nm. La cámara tiene una resolución espacial de 512 x 512 píxeles. Los datos procesados y sin procesar son almacenados directamente por la cámara en forma de cubos de datos tridimensionales. Los datos hiperespectrales se visualizan inmediatamente después de la medición y el usuario puede añadirles metadatos. La transformación de la reflectancia (proceso de normalización) se realiza automáticamente para la comparación y visualización de los datos.

Hyperspectral imaging was used in this work for pigments classification and colour mapping. The advantage of working with hyperspectral data cubes is that it is possible to capture both the spatial and spectral dimensions of the materials being analysed with a single acquisition (Dorado-Munoz et al., 2018). That is, on the one hand, we have the two-dimensional image data, composed of pixels located on the (*x*) and (*y*) axes, and on the other, the spectral information or (*z*) axis, indicating the reflectance of each pixel according to wavelength. So, we can take several different approaches. For example, we can analyse each of the images by wavelength, or compare reflectance curves for each pixel (Jones et al., 2020). In addition, different algorithms such as Spectral Angle Mapper (SAM) can be applied to this spatial/spectral dimension of the data to create colour maps on the image, perform Principal Component Analysis (PCA), or process false-coloured RGB (*pseudo-colour*) and IRFC images (Biron et al., 2020).

The same ARRILITE 750 PLUS illumination kit was used for acquisition positioned symmetrically at 40° to the surface to avoid specular reflections. Hypercube® v.11.52 and OriginPro® v.9 software's were used to plot reflectance spectra to classify the pigments in Muñoz Degrain's work. The curves were qualitatively compared with different standards and databases (Caggiani et al., 2016; Picollo et al., 2023) and the behaviour of absorption bands, reflectance, and inflection points (sudden changes in reflectance) were analysed. These behaviours are in response to the different electronic transition processes that take place in the materials analysed.

En este trabajo se utilizaron imágenes hiperespectrales para la clasificación de pigmentos y la cartografía de colores. La ventaja de trabajar con cubos de datos hiperespectrales es que es posible capturar tanto la dimensión espacial como la espectral de los materiales analizados con una única adquisición (Dorado-Munoz *et al.*, 2018). Es decir, por un lado, tenemos los datos bidimensionales de la imagen, compuestos por píxeles situados en los ejes (x) e (y), y por otro, la información espectral o eje (z), indicando la reflectancia de cada píxel en función de la longitud de onda. Así pues, podemos adoptar varios enfoques diferentes. Por ejemplo, podemos analizar cada una de las imágenes por longitud de onda, o comparar las curvas de reflectancia de cada píxel (Jones *et al.*, 2020). Además, se pueden aplicar diferentes algoritmos, como *Spectral Angle Mapper* (SAM), a esta dimensión espacial/espectral de los datos para crear mapas de color en la imagen, realizar análisis de componentes principales (*Principal Component Analysis*, PCA) o procesar imágenes RGB (pseudocolor) e IRFC de colores falsos (Biron *et al.*, 2020).

Para la adquisición se utilizó el mismo kit de iluminación ARRILITE 750 Plus colocado simétricamente a 40° respecto a la superficie para evitar reflejos especulares. Se utilizaron los programas *Hypercube*® v.11.52 y *OriginPro*® v.9 para trazar los espectros de reflectancia y clasificar los pigmentos en el trabajo de Muñoz Degrain. Las curvas se compararon cualitativamente con diferentes estándares y bases de datos (Caggiani *et al.*, 2016; Picollo *et al.*, 2023) y se analizó el comportamiento de las bandas de absorción, la reflectancia y los puntos de inflexión (cambios bruscos en la reflectancia). Estos comportamientos responden a los diferentes procesos de transición electrónica que tienen lugar en los materiales analizados.

Results and Discussion

Multiband Imaging

In the case of the works of Antonio Muñoz Degrain, multiband imaging helped us to construct a historical-technical portrait of a small part of his production and to document its state of conservation. Figure 1 shows the VIS (top) and UVL (bottom) acquisition of the work *Paisaje con alquería* (c. 1870). The UVL image allowed us to observe some chromatic reintegration due to a restoration process, some fibres of unknown origin adhering to the surface as residues of these interventions, and material losses on painting and ground that coincide with the lower right perimeter of the work. Likewise, the ultraviolet-reflected image (UVR) emphasizes the topography of the surface which allows documenting the typology of the textile support or the marks of the frame on it (Figure 2). Slight vertical and horizontal crackling can be observed on the painting surface because of the continuous movement of the canvas, the texture of the brushstrokes and the solid particles adhering to the surface. From a formal point of view, the author's brushstroke is quick and precise, showing a thin layer of paint with little texture, in which a consistent, thick ground is not appreciated.

At the end of his stay in Madrid, Degrain painted some landscapes of Valencia, influenced by his teacher Carlos de Haes (García Alcaraz, 1996). These small-format apprentice works were executed in the open air, in the style of his teacher, but with a rapid execution based on the use of colour rather than line or drawing. In this sense, the IR images obtained were not definitive as to whether an underlying or preparatory drawing could be discerned. It is in another small-format landscape, *Cercanías de Valencia* (circa 1870), that the concise preparatory drawing in pencil can be observed. The image taken in the IR range shows the

Resultados y discusión

Imágenes multibanda

En el caso de las obras de Antonio Muñoz Degrain, las imágenes multibanda nos ayudaron a construir un retrato histórico-técnico de una pequeña parte de su producción y a documentar su estado de conservación. La Figura 1 muestra la adquisición VIS (arriba) y UVL (abajo) de la obra *Paisaje con alquería* (c. 1870). La imagen UVL permitió observar algunas reintegraciones cromáticas debidas a un proceso de restauración, algunas fibras de origen desconocido adheridas a la superficie como residuos de estas intervenciones, y pérdidas materiales en pintura y en la capa de preparación coincidentes con el perímetro inferior derecho de la obra. Asimismo, la imagen ultravioleta-reflejada (UVR) pone de relieve la topografía de la superficie, que permite documentar la tipología del soporte textil o las marcas del bastidor sobre el mismo (Figura 2). En la superficie pictórica se observan ligeros craquelados verticales y horizontales debidos al movimiento continuo del lienzo, a la textura de las pinceladas y a las partículas sólidas adheridas a la superficie. Desde un punto de vista formal, la pincelada del autor es rápida y precisa, mostrando una fina capa de pintura con poca textura, en la que no se aprecia un fondo consistente y grueso.

Al final de su estancia en Madrid, Degrain pintó algunos paisajes de Valencia, influido por su maestro Carlos de Haes (García Alcaraz, 1996). Estas obras de aprendiz, de pequeño formato, fueron ejecutadas al aire libre, al estilo de su maestro, pero con una ejecución rápida basada en el uso del color más que de la línea o el dibujo. En este sentido, las imágenes IR obtenidas no eran definitivas en cuanto a si se podía discernir un dibujo subyacente o preparatorio. Es en otro paisaje de pequeño formato, *Cercanías de Valencia* (hacia 1870), donde se observa el conciso dibujo preparatorio a lápiz. La imagen tomada en el rango IR muestra las delineaciones que el artista hizo de la línea del horizonte, la orilla del río (o laguna) y el

Figure 1 | Visible (VIS) and ultraviolet-induced visible luminescence (UVL) images of Muñoz Degrain's work: *Paisaje con alquería* (c. 1870), oil on canvas, 38 x 25 cm, Valencia, Museu de Belles Arts (Inv. No. 2751).

Figura 1 | Imágenes visibles (VIS) y de luminiscencia visible inducida por radiación ultravioleta (UVL) de la obra de Muñoz Degrain: *Paisaje con alquería* (c. 1870), óleo sobre lienzo, 38 x 25 cm, Valencia, Museu de Belles Arts (n.º de inv. 2751).

Figure 2 | Ultraviolet reflected (UVR) images of Muñoz Degrain's work: *Paisaje con alquería* (c. 1870), oil on canvas, 38 x 25 cm, Valencia, Museu de Belles Arts (Inv. No. 2751).

Figura 2 | Imágenes ultravioleta reflejadas (UVR) de la obra de Muñoz Degrain: *Paisaje con alquería* (c. 1870), óleo sobre lienzo, 38 x 25 cm, Valencia, Museu de Belles Arts (nº inv. 2751).

delineations that the artist made of the horizon line, the riverbank (or lagoon) and the roof of the buildings before applying the paint layer (Figure 3). These lines compositionally locate the main elements of the scene, the houses, the trees, and the river.

In the UVL image of this painting, dark areas in the form of circular spots, a diagonal cut in the lower left corner and a perimeter band in the upper right corner are clearly observed (Figure 4). The dark areas have been associated with artistic materials that exhibit lower visible luminescence with the absorption of UV radiation (de la Rie, 1982). The intensity of the luminescence depends on many variables such as the type of binder, the pigments, the mixture and interaction between them and their ageing. In general, gum arabic has a

tejado de los edificios antes de aplicar la capa de pintura (Figura 3). Estas líneas sitúan compositivamente los elementos principales de la escena, las casas, los árboles y el río.

En la imagen UVL de esta pintura se observan claramente zonas oscuras en forma de manchas circulares, un corte diagonal en la esquina inferior izquierda y una banda perimetral en la esquina superior derecha (Figura 4). Las zonas oscuras se han asociado a materiales artísticos que presentan una menor luminiscencia visible con la absorción de la radiación UV (de la Rie, 1982). La intensidad de la luminiscencia depende de muchas variables, como el tipo de aglutinante, los pigmentos, la mezcla e interacción entre ellos y su envejecimiento. En general, la goma arábiga tiene una luminiscencia baja, lo que da lugar a zonas oscuras y opacas

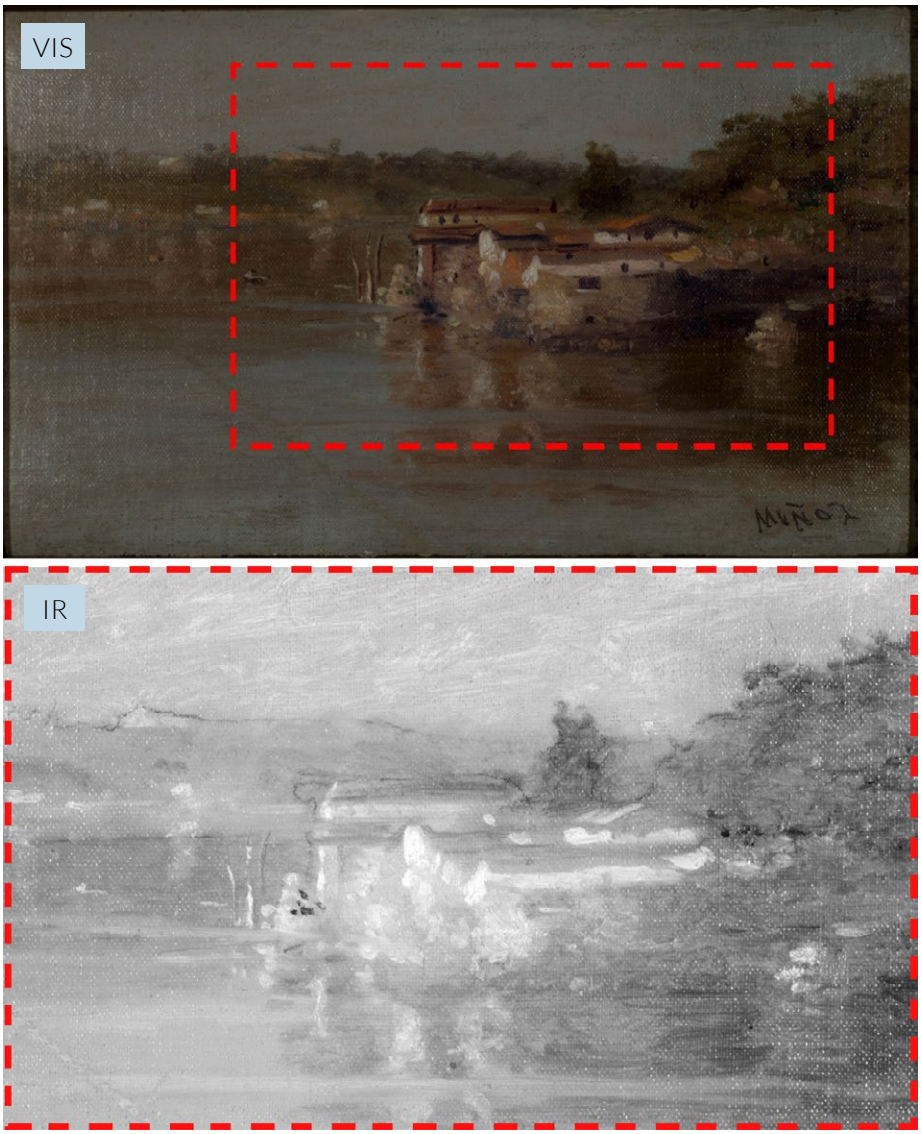


Figure 3 | Visible (VIS) and infrared (IR) images of Muñoz Degrain's work: *Cercanías de Valencia* (c. 1870), oil on canvas and wood panel, 15 x 25.5 cm, Valencia, Museu de Belles Arts (Inv. No. 983).

Figura 3 | Imágenes visibles (VIS) e infrarrojas (IR) de la obra de Muñoz Degrain: *Cercanías de Valencia* (c. 1870), óleo sobre lienzo y tabla de madera, 15 x 25,5 cm, Valencia, Museu de Belles Arts (Inv. nº 983).

low luminescence, resulting in dark and opaque areas in UV images (González Moro & Alba Carcelén, 2005). Dhenadhayalan et al. (2014) has shown that under acidic conditions, gum arabic precipitates amino acid moieties in the aqueous phase of a

en las imágenes UV (González Moro y Alba Carcelén, 2005). Dhenadhayalan *et al.* (2014) han demostrado que, en condiciones ácidas, la goma arábiga precipita restos de aminoácidos en la fase acuosa de una solución, que son los responsables de su comportamiento

Figure 4 | Ultraviolet-induced visible luminescence (UVL) of the work by Muñoz Degrain: *Cercanías de Valencia* (c. 1870), oil on canvas and wood panel, 15 x 25.5 cm, Valencia, Museu de Belles Arts (Inv. No. 983).

Figura 4 | Luminiscencia visible inducida por radiación ultravioleta (UVL) de la obra de Muñoz Degrain: *Cercanías de Valencia* (c. 1870), óleo sobre lienzo y tabla de madera, 15 x 25,5 cm, Valencia, Museu de Belles Arts (nº inv. 983).

solution, which are responsible for its luminiscence behaviour. However, pigments containing copper or iron can act as UV quenchers (Comelli et al., 2015) and could be present in these retouched areas.

The first hypothesis is that the reintegration was carried out using techniques such as watercolour or gouache, which are common in modern restoration processes because of their reversibility. And although oil paint (linseed oil) does not show luminescence when fresh, it is thought to begin to do so within a few weeks of exposure to natural light (Miyoshi, 1985). Formally, the work is on canvas

fluorescente. Sin embargo, los pigmentos que contienen cobre o hierro pueden actuar como apagadores de la fluorescencia UV (Comelli *et al.*, 2015) y podrían estar presentes en estas zonas retocadas.

La primera hipótesis es que la reintegración se llevó a cabo con técnicas como la acuarela o el gouache, habituales en los procesos de restauración modernos por su reversibilidad. Y aunque la pintura al óleo (aceite de linaza) no muestra luminiscencia cuando está fresca, se cree que empieza a hacerlo a las pocas semanas de exposición a la luz natural (Miyoshi, 1985). Formalmente, la obra está sobre lienzo montado sobre un delgado

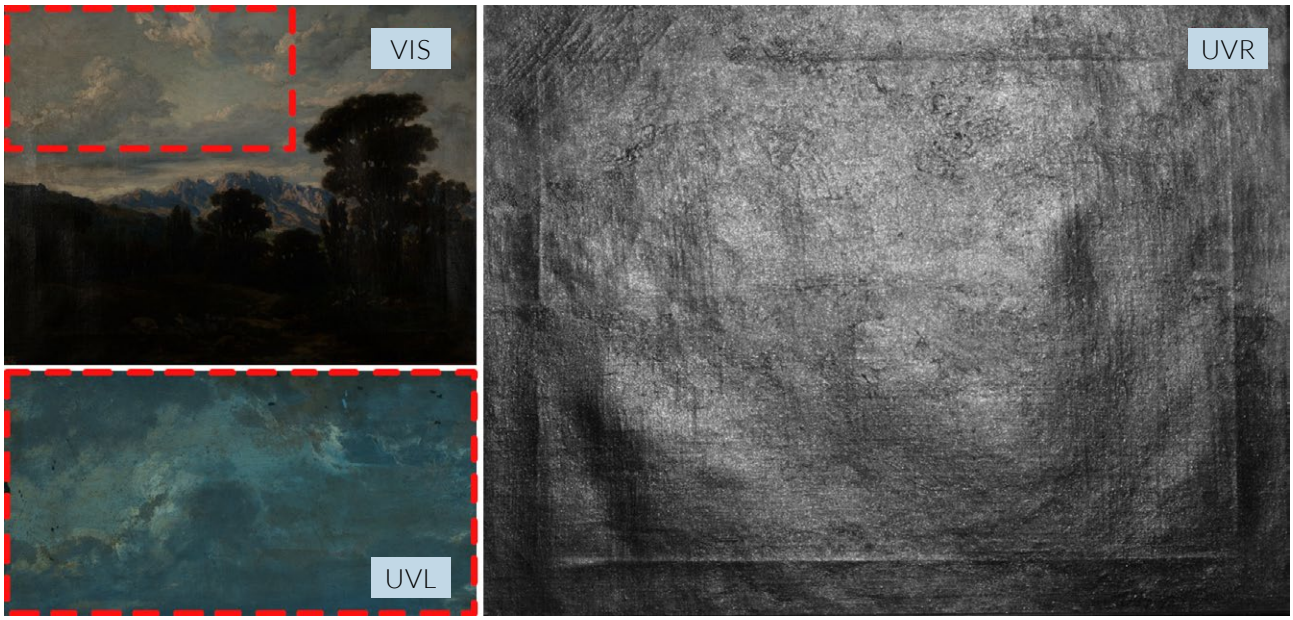


Figure 5 | Visible (VIS), ultraviolet-induced visible luminescence (UVL) and ultraviolet reflected (UVR) images from the work of Muñoz Degrain: *Paisaje* (c. 1870), oil on canvas, 37 x 48 cm, Valencia, Museu de Belles Arts (Inv. No. 2385).

Figura 5 | Imágenes visibles (VIS), de luminiscencia visible inducida por radicación ultravioleta (UVL) y de ultravioleta reflejado (UVR) de la obra de Muñoz Degrain: *Paisaje* (c. 1870), óleo sobre lienzo, 37 x 48 cm, Valencia, Museu de Belles Arts (nº de inv. 2385).

mounted on a thin wooden panel and shows a light blue luminescence on the surface in the UVL image, which has been associated with the presence of young natural resins (Pereira Uzal, 2019), probably a layer of varnish that has not aged much and is apparently in a good condition.

The work *Paisaje* (c. 1870) is the painting that shows a better state of conservation in terms of pictorial layer. This one had a lower number of interventions than the previous one, as shown in Figure 5. The dark areas or spots in the UVL image are very limited to the upper left corner and near the upper perimeter of the painting. On the contrary, the UVR image shows the current state of the canvas, with slight creases caused by the natural movement of the canvas, frame marks and diagonal

panel de madera y muestra una luminiscencia azul claro en la superficie en la imagen UVL, que se ha asociado a la presencia de resinas naturales jóvenes (Pereira Uzal, 2019), probablemente una capa de barniz poco envejecida y aparentemente en buen estado.

La obra *Paisaje* (c. 1870) es el cuadro que presenta un mejor estado de conservación en cuanto a capa pictórica. Ésta ha tenido un menor número de intervenciones que la anterior, como se muestra en la Figura 5. Las zonas oscuras o manchas de la imagen UVL están muy limitadas al ángulo superior izquierdo y cerca del perímetro superior del cuadro. Por el contrario, la imagen UVR muestra el estado actual del lienzo, con ligeras arrugas causadas por el movimiento natural del lienzo, marcas de bastidor y cicatrices diagonales en el ángulo superior derecho debidas a un

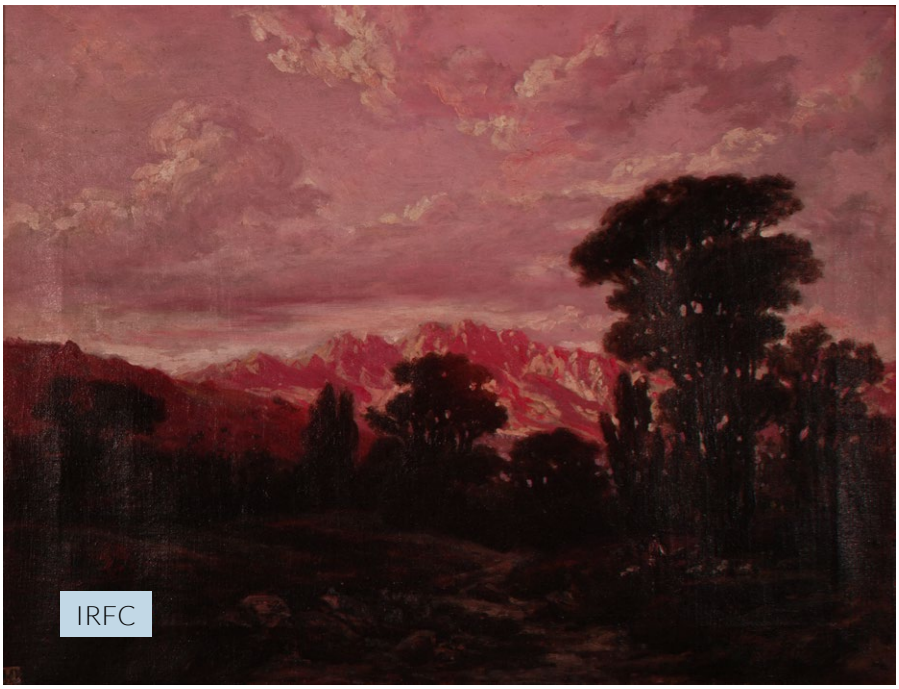


Figure 6 | Infrared false-color (IRFC) image processed from the visible (VIS) and infrared (IR) records of the work by Muñoz Degrain: *Paisaje* (c. 1870), oil on canvas, 37 x 48 cm, Valencia, Museu de Belles Arts (Inv. No. 2385).

Figura 6 | Imagen en falso color infrarrojo (IRFC) procesada a partir de los registros visible (VIS) e infrarrojo (IR) de la obra de Muñoz Degrain: *Paisaje* (c. 1870), óleo sobre lienzo, 37 x 48 cm, Valencia, Museu de Belles Arts (nº de inv. 2385).

scars in the upper right corner due to an irregular stretching process. At the level of the chromatic palette, the work shows the same range of greens as in the previous paintings but begins to incorporate blues that are toned down with red, creating a range of violets and lavenders that would be characteristic of Muñoz Degrain's artistic style. This use of the chromatic palette, which had a great impact in his time, was later imitated by the Valencian School of Painters and influenced some of his students, such as Picasso and Dalí (García Alcaraz, 1996).

The changes in colour and tonality in *Paisaje* (c.1870) are shown in the IRFC image (Figure 6). Significant changes were observed in the colours green and blue. The greens showed two different shades in this capture, one dark and one reddish. This could indicate the use of different pigments, hypothetically green earth or chrome green for the dark

proceso de estiramiento irregular. A nivel de la paleta cromática, la obra muestra la misma gama de verdes que en los cuadros anteriores pero comienza a incorporar azules que se matizan con el rojo, creando una gama de violetas y lavandas que serían característicos del estilo artístico de Muñoz Degrain. Este uso de la paleta cromática, de gran impacto en su época, fue imitado posteriormente por la Escuela Valenciana de Pintores e influyó en algunos de sus alumnos, como Picasso y Dalí (García Alcaraz, 1996).

Los cambios de color y tonalidad en *Paisaje* (c. 1870) se muestran en la imagen IRFC (Figura 6). Se observaron cambios significativos en los colores verde y azul. Los verdes mostraron dos tonalidades diferentes en esta captura, una oscura y otra rojiza. Esto podría indicar el uso de pigmentos diferentes, hipotéticamente verde tierra o verde cromo para los oscuros y verde viridiana para los rojizos. Una absorción de luz considerable en la zona

ones and viridian for the reddish ones. Considerable light absorption in the red and infrared zone of the electromagnetic spectrum are characteristic for the first two green in comparison with viridian (hydrated chrome oxide), that reflects light from 650 nm onwards (Johnston-Feller, 2001). Bearing in mind that colours are normally applied in mixtures rather than pure, the reflectance curves obtained by HSI supported this spectral behaviour for green colours. In the same way, the blue of the sky behaved like cerulean blue and the mountains like cobalt blue, both showing different reddish tones ranging from violet to red in the IRFC image. Although these statements need to be confirmed by complementary characterisation techniques (Delaney et al., 2014; Thoury et al., 2011), non-invasive X-Ray Fluorescence (XRF) or Raman for example (Dyer et al., 2022), the IRFC image revealed the regions of interest where analysis or sampling could be carried out.

A colourful portrait of *Pitonisa*, a study carried out around 1890, was recorded using multiband imaging (Figure 7). UVL image shows a paint retouching or intervention marked as follows: "25.8.86" (date?). In this painting the brushstroke is thicker and more textured, but at the same time fast and loose. Except for the figure's face, which is treated with greater care, the rest of the portrait is made up of superimposed splashes of colour, without the use of other aesthetic resources such as blurred contours or transparent glazes. The IR image also shows the adjustments made to the head and handkerchief area, fitting the composition with the blue of the sky background.

Hyperspectral Imaging

Reflectance spectra of the primary and secondary colours of the works were obtained using a portable hyperspectral imaging instrument. From these records, spectral curves of arbitrary points on the surface of the painting were plotted to classify the types

roja e infrarroja del espectro electromagnético es característica de los dos primeros verdes en comparación con la verde viridiana (óxido de cromo hidratado), que refleja la luz a partir de 650 nm (Johnston-Feller, 2001). Teniendo en cuenta que los colores se aplican normalmente en mezclas y no puros, las curvas de reflectancia obtenidas por HSI corroboraron este comportamiento espectral para los colores verdes. Del mismo modo, el azul del cielo se comportó como el azul cerúleo y las montañas como el azul cobalto, mostrando ambos diferentes tonos rojizos que van del violeta al rojo en la imagen IRFC. Aunque estas afirmaciones deben confirmarse mediante técnicas de caracterización complementarias (Delaney *et al.*, 2014; Thoury *et al.*, 2011), fluorescencia de rayos X (XRF) no invasiva o Raman, por ejemplo (Dyer *et al.*, 2022), la imagen IRFC reveló las regiones de interés en las que podrían realizarse análisis o muestreos.

Un colorido retrato de *Pitonisa*, un estudio realizado hacia 1890, se registró utilizando imágenes multibanda (Figura 7). La imagen UVL muestra un retoque de pintura o una intervención marcada como sigue: "25.8.86" (¿fecha?). En este cuadro la pincelada es más gruesa y texturada, pero al mismo tiempo rápida y suelta. Salvo el rostro de la figura, tratado con mayor esmero, el resto del retrato se compone de salpicaduras de color superpuestas, sin utilización de otros recursos estéticos como contornos difuminados o veladuras transparentes. La imagen IR muestra también los ajustes realizados en la cabeza y en la zona del pañuelo, encajando la composición con el azul del fondo celeste.

Imágenes hiperespectrales

Los espectros de reflectancia de los colores primarios y secundarios de las obras se obtuvieron utilizando un instrumento portátil de imágenes hiperespectrales. A partir de estos registros, se trazaron curvas espectrales de puntos arbitrarios de la superficie de la pintura para clasificar los tipos de pigmentos. En la Figura 8 se muestran tres curvas arbitrarias procesadas para el azul

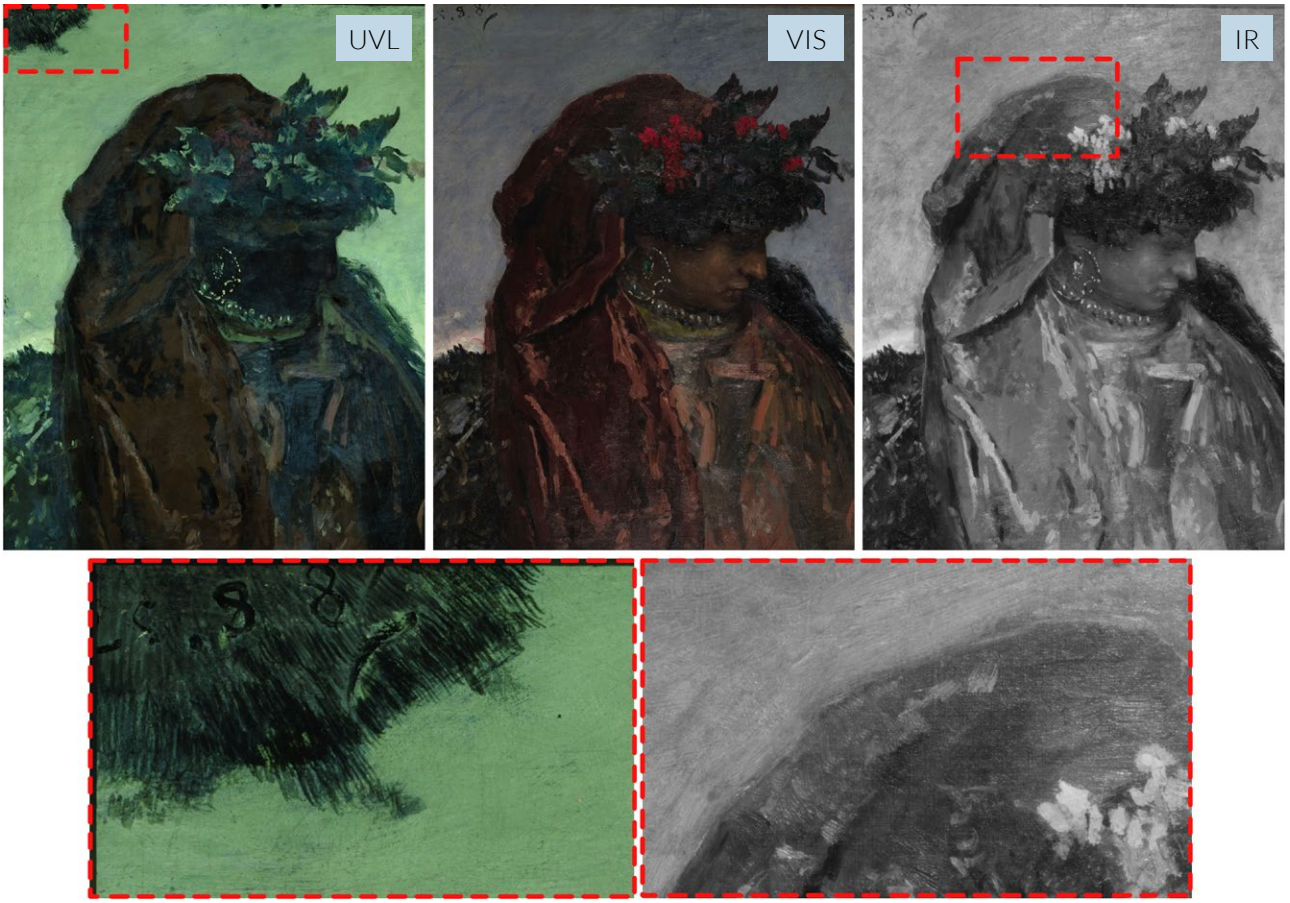


Figure 7 | Ultraviolet-induced visible luminescence (UVL), visible (VIS) and infrared (IR) acquisitions (top) and details (bottom) of Muñoz Degrain's work: *Pitonisa* (c. 1890), oil on canvas, 72 x 60 cm, Valencia, Museu de Belles Arts (Inv. No. 946).

Figura 7 | Luminiscencia visible inducida por radiación ultravioleta (UVL), adquisiciones visibles (VIS) e infrarrojas (IR) (arriba) y detalles (abajo) de la obra de Muñoz Degrain: *Pitonisa* (c. 1890), óleo sobre lienzo, 72 x 60 cm, Valencia, Museu de Belles Arts (nº de inv. 946).

of pigments. Three arbitrary processed curves for the mountain blue in *Paisaje* (Blue-A) and the sky blue in *Pitonisa* (Blue-B) are shown in Figure 8. In Blue-A (Figure 8a), there is a spectral curve characterised by a reflectance band above 480 nm that extends through the blue and green regions, a subsequent absorption band, and a significant increase in reflectance from 645 nm, with an inflection point around 700 nm,

de montaña de *Paisaje* (Azul-A) y el azul cielo de *Pitonisa* (Azul-B). En el Azul-A (Figura 8a), hay una curva espectral caracterizada por una banda de reflectancia por encima de 480 nm que se extiende por las regiones azul y verde, una banda de absorción posterior y un aumento significativo de la reflectancia a partir de 645 nm, con un punto de inflexión en torno a 700 nm, entre las regiones roja e infrarroja del espectro (Kubik, 2007). Aunque el

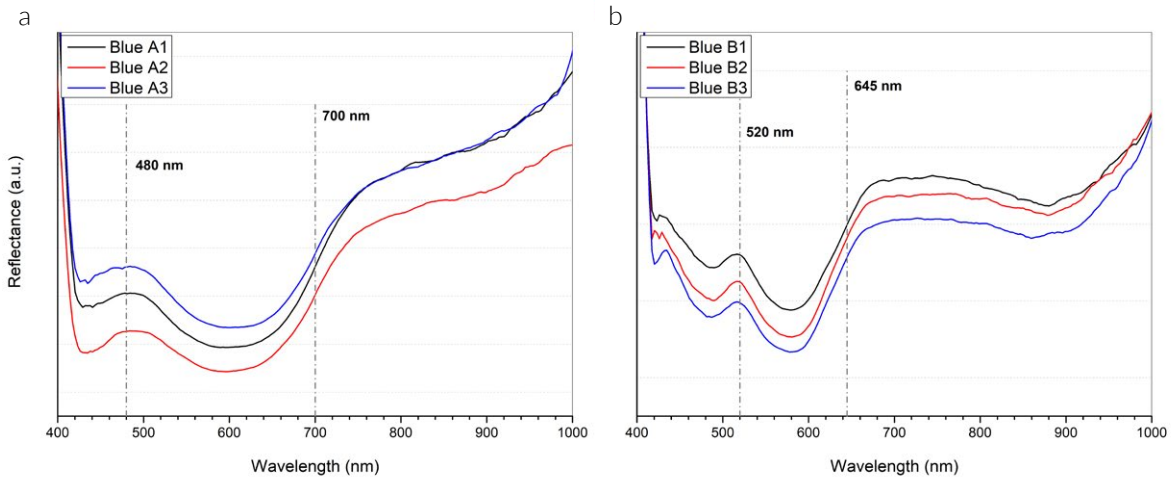


Figure 8 | Reflectance spectra of different analysis points extracted from the HSI data cubes in the works of Muñoz Degrain: (a) points BLUE-A from the mountains in *Paisaje* (c. 1870), and (b) points BLUE-B from the sky in *Pitonisa* (c. 1890).

Figura 8 | Espectros de reflectancia de diferentes puntos de análisis extraídos de los cubos de datos HSI en los trabajos de Muñoz Degrain: (a) puntos AZUL-A de las montañas en *Paisaje* (c. 1870), y (b) puntos AZUL-B del cielo en *Pitonisa* (c. 1890).

between the red and infrared regions of the spectrum (Kubik, 2007). Although Thenard's blue pigment (cobalt aluminate) exhibits a similar spectral behaviour as reported in Bacci et al. (2009), it typically shows a characteristic absorption band between 475-480 nm, which was not observed in the analyses performed. In contrast, cobalt cerulean blue or cobalt stannate ($CoSnO_3$) was classified as a pigment associated with this behaviour. The hypothesis is that this blue may have been used in the production of the painting. On the other hand, Blue-B (Figure 8b) exhibited characteristic signals of cobalt violet ($Co_3[PO_4]_2$): reflectance in the violet region with a peak in the green region above 520 nm, absorption in the yellow-orange region (570-610 nm), and maximum reflectance from the red region above 645 nm (Corbeil et al., 2002).

Two green colours belonging to the work *Pitonisa* (c. 1890) were compared too, the first (Green-A) referring to the handkerchief worn by the sitter and tied

pigmento azul de Thenard (aluminato de cobalto) presenta un comportamiento espectral similar al descrito en Bacci *et al.* (2009), suele mostrar una banda de absorción característica entre 475-480 nm, que no se observó en los análisis realizados. Por el contrario, el azul cerúleo de cobalto o estannato de cobalto (CoSnO3) se clasificó como pigmento asociado a este comportamiento. La hipótesis es que este azul puede haber sido utilizado en la producción de la pintura. Por otra parte, el Azul-B (Figura 8b) presentaba señales características del violeta de cobalto ($Co_3[PO_4]_2$): reflectancia en la región violeta con un pico en la región verde por encima de 520 nm, absorción en la región amarillo-naranja (570-610 nm) y reflectancia máxima de la región roja por encima de 645 nm (Corbeil *et al.*, 2002).

También se compararon dos colores verdes pertenecientes a la obra *Pitonisa* (c. 1890), el primero (Verde-A) referido al pañuelo que lleva la modelo atado al cuello, el segundo (Verde-B) a la esmeralda que adorna el

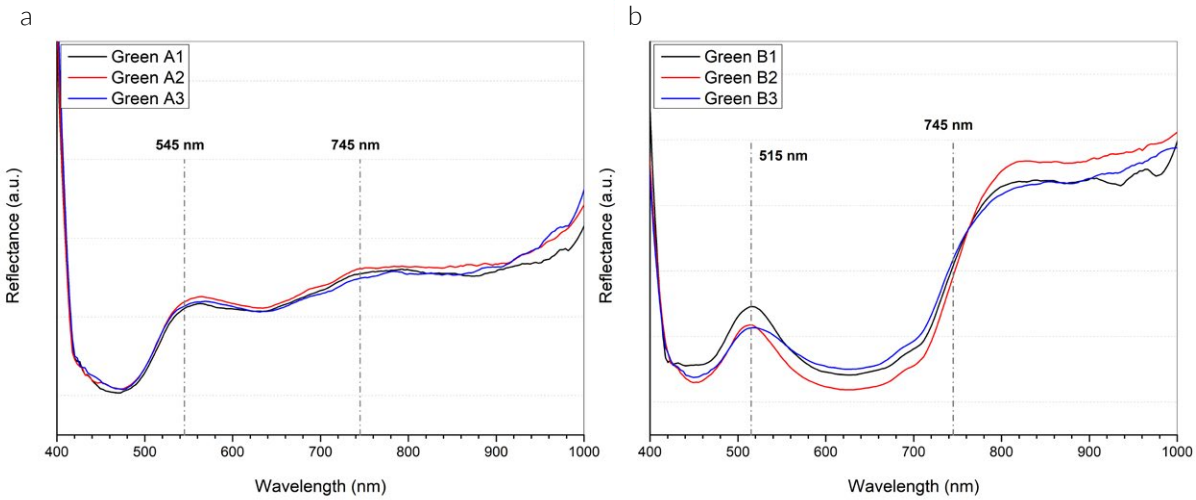


Figure 9 | Reflectance spectra of different analysis points extracted from the HSI data cubes in the Muñoz Degrain: *Pitonisa* (c. 1890). Curves obtained from (a) the green of the handkerchief (GREEN-A), and the earring (GREEN-B) of the woman.

Figura 9 | Espectros de reflectancia de diferentes puntos de análisis extraídos de los cubos de datos HSI en el Degrain Muñoz: *Pitonisa* (c. 1890). Curvas obtenidas de (a) el verde del pañuelo (VERDE-A), y el pendiente (VERDE-B) de la mujer.

around her neck, the second (Green-B) to the emerald decorating the earring of the right ear (Figure 9). The plot on the left (Figure 9a) shows a curve with few spectral features, quite flat from 545 nm. Nevertheless, this behaviour was associated with chrome green (or Brunswick green): absorption in the violet-blue region, a reflection band in the middle of the green region, absorption in the red region and a sustained increase in reflection from 745 nm. Chrome green is a mixture of chrome yellow ($PbCrO_4$) and Prussian blue ($Fe_4[Fe(CN)_6]_3$), so it has a characteristic absorption in the red region (Johnston-Feller, 2001), although it is not very pronounced in this graph. On the contrary, the plot on the right (Figure 9b) shows a more spectrally defined curve, with a peak of reflectance maxima above 515nm, at the beginning of the green region, absorption bands at 465 and 625 nm, and an inflection point at 745 nm, already in the infrared region. All these spectral characteristics are associated with hydrated chromium oxide ($Cr_2O_3 \cdot 2H_2O$)

pendiente de la oreja derecha (Figura 9). El gráfico de la izquierda (Figura 9a) muestra una curva con pocos rasgos espectrales, bastante plana a partir de 545 nm. Sin embargo, este comportamiento se asociaba al verde cromo (o verde Brunswick): absorción en la región azul-violeta, una banda de reflexión en el centro de la región verde, absorción en la región roja y un aumento sostenido de la reflexión a partir de 745 nm. El verde de cromo es una mezcla de amarillo de cromo ($PbCrO_4$) y azul de Prusia ($Fe_4[Fe(CN)_6]_3$), por lo que presenta una absorción característica en la región roja (Johnston-Feller, 2001), aunque no es muy pronunciada en este gráfico. Por el contrario, el gráfico de la derecha (Figura 9b) muestra una curva más definida espectralmente, con un pico de máximos de reflectancia por encima de 515 nm, al principio de la región verde, bandas de absorción a 465 y 625 nm, y un punto de inflexión a 745 nm, ya en la región infrarroja. Todas estas características espectrales se asocian al óxido de cromo hidratado ($Cr2O_3 \cdot 2H_2O$) o verde viridiana. Este pigmento también presenta un pequeño

or viridian. This pigment also has a little absorption dip above 435 nm, which could not be accurately detected because the instrument has a high sensitivity to reflected light at the beginning of the spectrum, between 400 and 420 nm, which sometimes affects detection in this area.

In summary, and according to the first approaches made to Muñoz Degrain's chromatic palette, we can say that the pigments used by the artist are related to the Impressionism and Post-Impressionism aesthetic style. Pigments like cobalt (cerulean) blue and cobalt violet, which appeared at the second half of the 19th century and were well represented in painting until the early 20th century. The paintings analysed date from 1870 and 1890. At that time, the commercialisation of these pigments was already well established. The situation is similar regarding the classification of greens based on IRFC images and hyperspectral imaging. Both chrome green and hydrated chrome green (Viridian) are common in the Impressionist style. The former, at least, was used since the first half of the 19th century. These hypotheses on the use of colour in Muñoz Degrain's work, although they must be confirmed by other spectroscopic techniques, support the ideas expressed by specialists on the Valencian painter, who agree on his personal preference for post-Impressionism and his struggle as a painting teacher against the Academicism canons of his time (Bonet Solves, 1994; García Alcaraz, 1996).

Thanks to the use of hyperspectral imaging, it has been possible to document that Antonio Muñoz Degrain worked his paintings with old and new pigments, halfway between tradition and innovation, which since 1841 had benefited from the oil pigments that were prepared and patented by J.G. Rand, and that favoured leaving to paint outdoors. These premixed pigments sold in tin tubes were manufactured by mixing different drying, semi-drying and non-drying vegetable oils (linseed oil, poppy seed oil, safflower

mínimo de absorción por encima de los 435 nm, que no pudo detectarse con precisión porque el instrumento tiene una gran sensibilidad a la luz reflejada al principio del espectro, entre 400 y 420 nm, lo que a veces afecta a la detección en esta zona.

En resumen, y de acuerdo con las primeras aproximaciones realizadas a la paleta cromática de Muñoz Degrain, podemos decir que los pigmentos utilizados por el artista están relacionados con el estilo estético del Impresionismo y Postimpresionismo. Pigmentos como el azul de cobalto (cerúleo) y el violeta de cobalto, que aparecieron en la segunda mitad del siglo XIX y estuvieron bien representados en la pintura hasta principios del siglo XX. Los cuadros analizados datan de 1870 y 1890. En esa época, la comercialización de estos pigmentos ya estaba bien establecida. La situación es similar en lo que respecta a la clasificación de los verdes basada en imágenes IRFC e hiperespectrales. Tanto el verde cromo como el verde de cromo hidratado (verde viridiana) son habituales en el estilo impresionista. El primero, al menos, se utilizaba desde la primera mitad del siglo XIX. Estas hipótesis sobre el uso del color en la obra de Muñoz Degrain, aunque deben ser confirmadas por otras técnicas espectroscópicas, apoyan las ideas expresadas por especialistas en el pintor valenciano, que coinciden en su preferencia personal por el postimpresionismo y en su lucha como profesor de pintura contra los cánones del Academicismo de su época (Bonet Solves, 1994; García Alcaraz, 1996).

Gracias al uso de imágenes hiperespectrales, se ha podido documentar que Antonio Muñoz Degrain trabajaba sus cuadros con pigmentos antiguos y nuevos, a medio camino entre la tradición y la innovación, que desde 1841 se habían beneficiado de los pigmentos al óleo que preparaba y patentaba J. G. Rand, y que favorecían el salir a pintar al aire libre. Estos pigmentos premezclados que se vendían en tubos de hojalata se fabricaban mezclando diferentes aceites vegetales secantes, semisecantes y no secantes (aceite de linaza, aceite de

oil, sunflower oil, among others, etc.), pigments and colorants. with other compounds that included fillers, stabilisers, and desiccants, dispersing agents, and humectants (Fuster-López et al., 2019). Many of them were completely new: chromium yellow ($PbCrO_4$), zinc yellow ($4ZnO\cdot 4CrO_3\cdot K_2O\cdot 3H_2O$), cadmium yellow (CdS), cobalt blue and violet ($CoO\cdot Al_2O_3$), artificial ultramarine, green viridian ($Cr_2O_3\cdot 2H_2O$), emerald green [$Cu_4(C_2H_3O_2)_2\cdot 3Cu(AsO_2)_2$], zinc white (ZnO) were discovered or synthesised and began to be marketed throughout Europe (Barnett et al., 2006) by such important producers as Winsor & Newton (United Kingdom), LeFranc (France) and Talens (The Netherlands). Chrome oxide green, cadmium yellow, zinc white, ultramarine blue and iron oxide red were pigments that appeared in the 19th century, none of them unfamiliar to Degrain's palette, and they preceded the colour syntheses that would arrive with this century. All of them contributed new optical qualities to painting, such as the brilliance of light and colour, which do not go unnoticed in the works of Antonio Muñoz Degrain.

Conclusions

Capturing images in the visible and non-visible bands of the electromagnetic spectrum remains one of the most versatile tools for studying cultural heritage. Traditionally, and since the invention of analogue photography, this advanced technology has been used to diagnose works of art and support critical proposals for conservation and restoration, providing the fundamental basis for the latest documentation of cultural assets.

This project has made a significant contribution to the process of documenting and studying the work of Antonio Muñoz Degrain through the combined use of two image-based analysis technologies, MBI and HSI. On the one hand, it has been possible to determine the

semilla de adormidera, aceite de cártamo, aceite de girasol, entre otros, etc.), pigmentos y colorantes, junto con otros compuestos que incluían cargas, estabilizantes y desecantes, agentes dispersantes y humectantes (Fuster-López *et al.*, 2019). Muchos de ellos eran completamente nuevos: amarillo de cromo ($PbCrO_4$), amarillo de cinc ($4ZnO\cdot 4CrO_3\cdot K_2O\cdot 3H_2O$), amarillo de cadmio (CdS), azul y violeta de cobalto ($CoO\cdot Al_2O_3$), ultramarino artificial, verde viridiana ($Cr_2O_3\cdot 2H_2O$), verde esmeralda [$Cu_4(C_2H_3O_2)_2\cdot 3Cu(AsO_2)_2$], blanco de cinc (ZnO) fueron descubiertos o sintetizados y empezaron a comercializarse en toda Europa (Barnett *et al.*, 2006) por productores tan importantes como Winsor y Newton (Reino Unido), LeFranc (Francia) y Talens (Países Bajos). El verde de óxido de cromo, el amarillo de cadmio, el blanco de zinc, el azul ultramar y el rojo de óxido de hierro fueron pigmentos que aparecieron en el siglo XIX, ninguno de ellos desconocido en la paleta de Degrain, y precedieron a las síntesis de color que llegarían con este siglo. Todos ellos aportaron a la pintura nuevas cualidades ópticas, como el brillo de la luz y del color, que no pasan desapercibidas en las obras de Antonio Muñoz Degrain.

Conclusiones

La captura de imágenes en las bandas visibles y no visibles del espectro electromagnético sigue siendo una de las herramientas más versátiles para el estudio del patrimonio cultural. Tradicionalmente, y desde la invención de la fotografía analógica, esta avanzada tecnología se ha utilizado para diagnosticar obras de arte y respaldar propuestas críticas de conservación y restauración, proporcionando la base fundamental para la documentación más reciente de los bienes culturales.

Este proyecto ha supuesto una importante contribución al proceso de documentación y estudio de la obra de Antonio Muñoz Degrain mediante el uso combinado de dos tecnologías de análisis basadas en imágenes, MBI y HSI. Por un lado, se ha podido determinar el estado

current state of conservation of the works at different stratigraphic levels. On the other hand, it has been possible to visualise and document the condition of the canvases and, where appropriate, the ground and surface of the paintings, using only these techniques.

Furthermore, this study offers a better understanding of Muñoz Degrain's work with a technical contextualisation of the influence of Post-Impressionism in a small part of its production. This was also achieved thanks to multiband imaging, which made it possible to document that some of his canvases were executed with thin but structured impastos of colour, thrown on the canvas with certainty and with only a few sketch lines. Finally, hyperspectral data was used to non-invasively classify some new pigments used in the 19th century, highlighting the innovative nature of his work.

actual de conservación de las obras en diferentes niveles estratigráficos. Por otro lado, ha sido posible visualizar y documentar el estado de los lienzos y, en su caso, el soporte y la superficie de las pinturas, utilizando únicamente estas técnicas.

Además, este estudio ofrece una mejor comprensión de la obra de Muñoz Degrain con una contextualización técnica de la influencia del postimpresionismo en una pequeña parte de su producción. Esto también se consiguió gracias a la imagen multibanda, que permitió documentar que algunos de sus lienzos estaban ejecutados con finos pero estructurados empastes de color, lanzados sobre el lienzo con seguridad y con sólo unas pocas líneas de esbozo. Por último, se utilizaron datos hiperespectrales para clasificar de forma no invasiva algunos pigmentos nuevos utilizados en el siglo XIX, lo que puso de relieve el carácter innovador de su obra.

Acknowledgements

The authors of this paper express their gratitude to the Consellería de Innovación, Universidades, Ciencia y Sociedad Digital-Generalitat Valenciana, for financing the project 'Optimization of a Multiband Spectral System of Artistic Diagnosis focused to the implementation of innovative, sustainable and accessible Museum Itineraries: towards a Cultural Tourism in the key of Science, Inclusion and Well-Being applied to great Art Galleries' (IDIFEDER/2021/076), which has made possible the research presented in this contribution. Very special thanks to the entire team of the Museu de Belles Arts de València, and its director Pablo Gonzalez Tornel, for their support in carrying out this study. Álvaro Solbes-García is beneficiary of the grant ZA21-061 for the requalification of the Spanish university system from the Ministry of Universities of the Government of Spain, modality "Maria Zambrano", financed by the European Union, NextGenerationEU.

Agradecimientos

Los autores de este trabajo expresan su agradecimiento a la Consellería de Innovación, Universidades, Ciencia y Sociedad Digital-Generalitat Valenciana, por la financiación del proyecto "Optimización de un Sistema Espectral Multibanda de Diagnóstico Artístico enfocado a la implementación de Itinerarios Museísticos innovadores, sostenibles y accesibles: hacia un Turismo Cultural en clave de Ciencia, Inclusión y Bienestar aplicado a las grandes Pinacotecas" (IDIFEDER/2021/076), que ha hecho posible la investigación presentada en esta contribución. Un agradecimiento muy especial a todo el equipo del Museu de Belles Arts de València, y a su director Pablo González Tornel, por su apoyo en la realización de este estudio. Álvaro Solbes-García es beneficiario de la beca ZA21-061 para la recualificación del sistema universitario español del Ministerio de Universidades del Gobierno de España, modalidad "María Zambrano", financiada por la Unión Europea, *NextGenerationEU*.

References | Bibliografía

Aceto, M., Agostino, A., Fenoglio, G., Idone, A., Gulmini, M., Picollo, M., Ricciardi, P., & Delaney, J. K. (2014). Characterisation of colourants on illuminated manuscripts by portable fibre optic UV-visible-NIR reflectance spectrophotometry. *Analytical Methods*, *6*(5), 1488-1500. https://doi.org/10.1039/c3ay41904e

Aguilar-Téllez, D. M., Ruvalcaba-Sil, J. L., Claes, P., & González-González, D. (2014). False Color and Infrared Imaging for the Identification of Pigments in Paintings. *MRS Proceedings*, *1618*(1), 3–15. https://doi.org/10.1557/opl.2014.451

Al-Gaoudi, H. A., & Iannaccone, R. (2021). Multiband techniques incorporated into the study of dyed ancient Egyptian textile fragments. *International Journal of Conservation Science*, *12*(3), 893-906.

Bacci, M., Magrini, D., Picollo, M., & Vervat, M. (2009). A study of the blue colors used by Telemaco Signorini (1835–1901). *Journal of Cultural Heritage*, *10*(2), 275–280. https://doi.org/10.1016/j.culher.2008.05.006

Barnett, J. R., Miller, S., & Pearce, E. (2006). Colour and art: A brief history of pigments. *Optics & Laser Technology*, *38*(4–6), 445–453. https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2005.06.005

Biron, C., Mounier, A., Le Bourdon, G., Servant, L., Chapoulie, R., & Daniel, F. (2020). A blue can conceal another! Noninvasive multispectroscopic analyses of mixtures of indigo and Prussian blue. *Color Research & Application*, *45*(2), 262–274. https://doi.org/10.1002/col.22467

Bonet Solves, V. E. (1994). Antonio Muñoz Degraín o la fascinación por el color. *Saitabi*, *44*, 255–265. https://riunet.upv.es/handle/10251/113834

Caggiani, M. C., Cosentino, A., & Mangone, A. (2016). Pigments Checker version 3.0, a handy set for conservation scientists: A free online Raman spectra database. *Microchemical Journal*, *129*, 123–132. https://doi.org/10.1016/j.microc.2016.06.020

Comelli, D., Nevin, A., Verri, G., & Valentini, G. (2015). Time-Resolved Fluorescence Spectroscopy and Fluorescence Lifetime Imaging for the Analysis of Organic Materials in Wall Painting Replicas. In F. Pique & G. Verri (Eds.), *Organic Materials in Wall Paintings* (pp. 83–96). Getty Conservation Institute. https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4771.7209

Corbeil, M.-C., Charland, J.-P., & Moffatt, E. A. (2002). The Characterization of Cobalt Violet Pigments. *Studies in Conservation*, *47*(4), 237-249. https://doi.org/10.2307/1506784

Cosentino, A. (2015a). Multispectral imaging system using 12 interference filters for mapping pigments. *Conservar Patrimonio*, *21*, 25–38. https://doi.org/10.14568/cp2015005

Cosentino, A. (2015b). Practical notes on ultraviolet technical photography for art examination. *Conservar Patrimonio*, *21*(21), 53–62. https://doi.org/10.14568/cp2015006

de la Rie, E. R. (1982). Fluorescence of Paint and Varnish Layers (Part I). *Studies in Conservation*, *27*(1), 1. https://doi.org/10.2307/1505977

Delaney, J. K., Ricciardi, P., Glinsman, L. D., Facini, M., Thoury, M., Palmer, M., & de la Rie, E. R. (2014). Use of imaging spectroscopy, fiber optic reflectance spectroscopy, and X-ray fluorescence to map and identify pigments in illuminated manuscripts. *Studies in Conservation*, *59*(2), 91–101. https://doi.org/10.1179/2047058412Y.0000000078

Dhenadhayalan, N., Mythily, R., & Kumaran, R. (2014). Fluorescence spectral studies of Gum Arabic: Multi-emission of Gum Arabic in aqueous solution. *Journal of Luminescence*, *155*, 322–329. https://doi.org/10.1016/j.jlumin.2014.06.022

Dorado-Munoz, L., Messinger, D. W., & Bove, D. (2018). Integrating spatial and spectral information for enhancing spatial features in the Gough map of Great Britain. *Journal of Cultural Heritage*, *34*, 159–165. https://doi.org/10.1016/j.culher.2018.04.011

Dyer, J., Derham, A., O'flynn, D., Tamburini, D., Heady, T., & Ramos, I. (2022). Studying Saraha: Technical and Multi-Analytical Investigation of the Painting Materials and Techniques in an 18th Century Tibetan Thangka. *Heritage*, *5*(4), 2851–2880. https://doi.org/10.3390/heritage5040148

Dyer, J., Tamburini, D., O'Connell, E. R., & Harrison, A. (2018). A multispectral imaging approach integrated into the study of Late Antique textiles from Egypt. *PLOS ONE*, *13*(10), e0204699. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0204699

Dyer, J., Verri, G., & Cupitt, J. (2013). *Multispectral Imaging in Reflectance and Photo-induced Luminescence modes: A User Manual*. European CHARISMA Project.

Fuster-López, L., Izzo, F. C., Damato, V., Yusà-Marco, D. J., & Zendri, E. (2019). An insight into the mechanical properties of selected commercial oil and alkyd paint films containing cobalt blue. *Journal of Cultural Heritage*, *35*, 225–234. https://doi.org/10.1016/j.culher.2018.12.007

García Alcaraz, R. (1996). *Antonio Muñoz Degraín* (1st ed.). Generalitat Valenciana.

González Moro, A., & Alba Carcelén, L. (2005). Uso de la ultravioleta para el estudio del estado de conservación de la pintura de caballete. *Investigación en Conservación y Restauración: II Congreso Del Grupo Español Del IIC*, (p. 12.) https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3137106

Gouveia, L. C. P., & Choubey, B. (2014). On Evolution of CMOS Image Sensors. *International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems*, *7*(5), 1–6. https://doi.org/10.21307/ijssis-2019-124

Hayem-Ghez, A., Ravaud, E., Boust, C., Bastian, G., Menu, M., & Brodie-Linder, N. (2015). Characterizing pigments with hyperspectral imaging variable false-color composites. *Applied Physics A: Materials Science and Processing*, *121*(3), 939–947. https://doi.org/10.1007/S00339-015-9458-8/FIGURES/15

International Organization for Standardization. (2007, April). *ISO 20473:2007 Optics and photonics — Spectral bands. ISO*. https://www.iso.org/standard/39482.html

Johnston-Feller, R. (2001). *Color Science in the Examination of Museum Objects: Nondestructive Procedures*. Getty Conservation Institute. http://hdl.handle.net/10020/gci_pubs/color_science

Jones, C., Duffy, C., Gibson, A., & Terras, M. (2020). Understanding multispectral imaging of cultural heritage: Determining best practice in MSI analysis of historical artefacts. *Journal of Cultural Heritage*, *45*, 339–350. https://doi.org/10.1016/j.culher.2020.03.004

Kubik, M. (2007). Chapter 5 Hyperspectral Imaging: A New Technique for the Non-Invasive Study of Artworks. In *Physical Techniques in the Study of Art, Archaeology and Cultural Heritage* (Vol. 2, pp. 199–259). https://doi.org/10.1016/S1871-1731(07)80007-8

Litwiller, D. (2001). CCD vs. CMOS: facts and fiction. *Photonics Spectra*, *35*, 154–158.

Miyoshi, T. (1985). Fluorescence from Oil Colours, Linseed Oil and Poppy Oil under N 2 Laser Excitation. Japanese Journal of Applied Physics, *24*(3R), 371-374. https://doi.org/10.1143/JJAP.24.371

Moon, T., Schilling, M. R., & Thirkettle, S. (1992). A Note on the Use of False-Color Infrared Photography in Conservation. *Studies in Conservation*, *37*(1), 42-46. https://doi.org/10.2307/1506436

Mulholland, R., Howell, D., Beeby, A., Nicholson, C. E., & Domoney, K. (2017). Identifying eighteenth century pigments at the Bodleian library using in situ Raman spectroscopy, XRF and hyperspectral imaging. *Heritage Science*, *5*(1), 43. https://doi.org/10.1186/s40494-017-0157-y

Pereira Uzal, J. M. (2019). *Diagnóstico por imagen en bandas no visibles sobre patrimonio cultural: Una aproximación a la imagen infrarroja, ultravioleta, fluorescencias y análisis de imagen*. Books on Demand.

Picollo, M., Basilissi, G., Cucci, C., Stefani, L., & Tsukada, M. (2023). *SpectraDB Home Page. Ultraviolet, Visible and Near Infrared Reflectance Spectra of Modern Pictorial Materials in the 200-2500 nm range*. https://spectradb.ifac.cnr.it/

Polak, A., Kelman, T., Murray, P., Marshall, S., Stothard, D. J. M., Eastaugh, N., & Eastaugh, F. (2017). Hyperspectral imaging combined with data classification techniques as an aid for artwork authentication. *Journal of Cultural Heritage*, *26*, 1–11. https://doi.org/10.1016/j.culher.2017.01.013

Sáez-Hernández, R., Antela, K. U., Gallello, G., Cervera, M. L., & Mauri-Aucejo, A. R. (2022). A smartphone-based innovative approach to discriminate red pigments in roman frescoes mock-ups. *Journal of Cultural Heritage*, *58*, 156–166. https://doi.org/10.1016/j.culher.2022.10.003

Solbes-García, Á., Gaitán Salvatella, M., Martínez Fernández, J., & Alba Pagán, E. (2023). Comparative Study of Two Multispectral Imaging Systems on the 'Arxiu Valencia Del Disseny' Interior Design Samples. *International Journal of Conservation Science*, *14*, 1173–1184. https://doi.org/10.36868/IJCS.2023.03.26

Streeton, N. L. W. (2022). Conservators at the interface with history of art: technical art history, multi-disciplinarity and material culture. *CONSERVATION 360º*, *2*, Article 387. https://doi.org/10.4995/360.2022.657201

Thoury, M., Delaney, J. K., De La Rie, E. R., Palmer, M., Morales, K., & Krueger, J. (2011). Near-infrared luminescence of cadmium pigments: In situ identification and mapping in paintings. *Applied Spectroscopy*, *65*(8), 939–951. https://doi.org/10.1366/11-06230

Vázquez de Ágredos Pascual, M. L., Fantoni, R., Francucci, M., Guarneri, M., Mongelli, M., Pierattini, S., Puccini, M., Ferrero Gil, S., Izquierdo Garay, J. C., & Gil Bordallo, J. M. (2022). 3D Model Acquisition and Image Processing for the Virtual Musealization of the Spezieria di Santa Maria della Scala, Rome. *Heritage*, *5*(2), 1253–1275. https://doi.org/10.3390/heritage5020065

Vázquez de Ágredos Pascual, Mª. L., Solbes García, Á., Ramacciotti, M., Gallello, G., Sala, S. H., Iranzo, L. R., Nuno, M. A., Garay, J. C. I., & Nieto Villena, A. (2023). In-situ technical study of contemporary painting from the heritage collection of the Universitat de València, Spain. Canvases and colorful landscapes by Manuel Moreno Gimeno. *Color Research & Application*, *48*(4), 339–354. https://doi.org/10.1002/col.22860

Webb, E. K. (2019). UV-Induced Visible Luminescence for Conservation Documentation. In M. Picollo, M. Stols-Witlox, & L. Fuster López (Eds.). *UV-Vis Luminescence: Imaging Techniques. CONSERVATION 360º*, *1*, 35–60. https://doi.org/10.4995/360.2019.110002

Comparison between the VIS image (left) and the IRFC image (right), where the Virgin's dress appears red in the former and yellow in the latter, suggesting the probable use of carmine or vermilion lake.. The Annunciation, 1634. Luis de Riaño.. Museo Pedro de Osma, Lima.

Comparativa entre las imágenes VIS (izquierda) e IRFC (derecha), donde el vestido de la Virgen aparece rojo en la primera y amarilla en la segunda, indicando el probable uso de una laca carmín o bermellón. La Anunciación, 1634. Luis de Riaño. Museo Pedro de Osma, Lima.

INTRODUCTION OF MULTIBAND TECHNICAL IMAGING IN THE STUDY OF VICEREGAL PAINTINGS: SCENARIOS AND CASE STUDIES OF THEIR APPLICATION IN PERU

INTRODUCCIÓN DE LA IMAGEN TÉCNICA MULTIBANDA EN EL ESTUDIO DE LAS PINTURAS VIRREINALES: ESCENARIOS Y CASOS PRÁCTICOS DE SU APLICACIÓN EN PERÚ

Luis Adawi
Critical Conservation & Heritage Studies, Perú
las@criticalconservation.pe

Introduction

Peru is renowned for its extensive pictorial heritage. From 1542 to 1824, during the Spanish occupation, painting became an instrument of worship for evangelisation in favour of the propagation of Catholicism. Currently, only a portion of the existing collections is officially classified as cultural heritage; however, efforts for their study, conservation, and dissemination remain insufficient. This is primarily due to three factors: access to the artworks, insufficient specialist training, and the high costs of scientific analysis. Therefore, as will be discussed in this paper, we consider the introduction of multiband technical imaging (MBTI) timely in the study of viceregal painting.

Introducción

Perú es conocido por su extenso patrimonio pictórico. Desde 1542 hasta 1824, durante la ocupación española, la pintura se convirtió en un instrumento de culto para la evangelización a favor de la propagación del catolicismo. En la actualidad, sólo una parte de las colecciones existentes está clasificada oficialmente como patrimonio cultural; sin embargo, los esfuerzos para su estudio, conservación y difusión siguen siendo insuficientes. Esto se debe principalmente a tres factores: el acceso a las obras, la insuficiente formación de los especialistas y los elevados costes del análisis científico. Por ello, como se expondrá en este artículo, consideramos oportuna la introducción de la imagen técnica multibanda (MBTI) en el estudio de la pintura virreinal.

The multiband technical imaging is a scientific diagnostic method with applications for the study of the execution of artworks, as well as for their conservation and authentication. The technique is affordable and easy to use, providing immediate visual results, leading to prompt evaluation and interpretation. Firstly, the method has a simple and practical workflow and can be learned quickly; this facilitates its implementation in the training of curators, art historians, conservators, restorers, scientists, and cultural heritage specialists. Secondly, it is cost-effective and sustainable over time, making it an attractive tool for our context, where a lack of funding is a fairly common problem. An equally important advantage is its portability, allowing access to complex and remote places, such as, for example, high Andean areas where a considerable percentage of these collections is located.

Geographically, a significant quantity of our pictorial heritage has the condition of being located in spaces that present great problems for its preservation, a good part of the canvases are of ecclesiastical management, located in unpopulated areas and with limited access; stored in severely damaged architectural structures which, in any case, already pose a certain degree of risk to their safeguarding.

A second context that we consider essential to address are those collections managed in museums. We believe that the integration of MBTI into these institutions is fundamental for heritage education and dissemination. Particularly within exhibition spaces, where educational products can be implemented to increase awareness of the underlying history of viceregal painting, which represents a notable research gap in our field.

Finally, we consider a third aspect that probably covers most of the pictorial heritage managed indiscriminately throughout the Peruvian territory, it is

La imagen técnica multibanda es un método de diagnóstico científico con aplicaciones para el estudio de la ejecución de obras de arte, así como para su conservación y autentificación. La técnica es asequible y fácil de utilizar, y proporciona resultados visuales inmediatos, lo que permite una pronta evaluación e interpretación. En primer lugar, el método tiene un flujo de trabajo sencillo y práctico y puede aprenderse rápidamente; esto facilita su aplicación en la formación de historiadores del arte, conservadores, restauradores, científicos y especialistas en patrimonio cultural. En segundo lugar, es rentable y sostenible en el tiempo, lo que la convierte en una herramienta atractiva para nuestro contexto, donde la falta de financiación es un problema bastante común. Una ventaja igualmente importante es su portabilidad, que permite el acceso a lugares complejos y remotos, como, por ejemplo, las zonas altoandinas, donde se encuentra un porcentaje considerable de estas colecciones.

Geográficamente, una cantidad significativa de nuestro patrimonio pictórico tiene la condición de estar ubicado en espacios que presentan grandes problemas para su conservación. Una buena parte de los lienzos son de gestión eclesiástica, ubicados en zonas despobladas y de acceso limitado; almacenados en estructuras arquitectónicas severamente dañadas que, en cualquier caso, ya suponen un cierto grado de riesgo para su salvaguarda.

Un segundo contexto que consideramos esencial abordar son las colecciones gestionadas en museos. Creemos que la integración del MBTI en estas instituciones es fundamental para la educación y la difusión del patrimonio. Sobre todo dentro de los espacios expositivos, donde se pueden implementar productos educativos para aumentar el conocimiento de la historia subyacente de la pintura virreinal, que representa una notable laguna de investigación en nuestro campo.

Finalmente, consideramos un tercer aspecto que probablemente abarca la mayor parte del patrimonio pictórico manejado indiscriminadamente en todo el territorio

made up of works of art that face problems of contextualization. These pieces are either unattributed, erroneously linked to specific artists, schools or workshops, or face authentication issues, all within a historical context of at least a century.

The aim of this study is twofold: to demonstrate the effectiveness of applying MBTI to the study of viceregal painting and to promote the use of MBTI in conservation efforts, as exemplified by three case studies.

Materials and Methods

The various techniques included in MBTI have independent applications, but when used together, they allow for a comprehensive analysis and interpretation of the object (Herrero-Cortell et al., 2018: 6). In this study, we used the image obtained in the visible spectrum, both in reflection (VIS) and in visible luminescence induced by ultraviolet radiation (UVL), as well as the infrared (IR). Additionally, we incorporated the infrared false-colour image (IRFC), of a hybrid nature, which is situated within the IR range (Cosentino et al., 2014: 8).

The equipment used was a modified full-spectrum Nikon® D800 camera converted by Kolarivision®,[1] with a Pro anti-reflection (AR) anti-smudge filter to replace the internal IR cut filter and a fixed Nikon® Nikkor 50mm f/1.8 D lens, complemented with the Robertina® filter set for VIS and IR, as well as a calibration card developed by CHSOS®.[2] For the UVL photography, we utilised a 3000-watt filtered ultraviolet luminescence lamp (365 nm) by Madatec®.[3] For image editing and processing, we used the DigiCamControl Stable

[1] https://kolarivision.com/

[2] https://chsopensource.org/product/technical-photography-filters-set-robertina/ https://chsopensource.org/product/tp-msi-calibration-card/

[3] http://www.madatec.com/index-en.html

peruano, está constituido por obras de arte que enfrentan problemas de contextualización. Estas piezas se encuentran sin atribuir, erróneamente vinculadas a artistas, escuelas o talleres específicos, o enfrentan problemas de autentificación, todo ello dentro de un contexto histórico de por lo menos un siglo.

El objetivo de este estudio es doble: demostrar la eficacia de la aplicación del MBTI al estudio de la pintura virreinal y promover el uso del MBTI en los esfuerzos de conservación, como ejemplifican tres estudios de caso.

Materiales y métodos

Las distintas técnicas incluidas en el MBTI tienen aplicaciones independientes, pero cuando se utilizan conjuntamente, permiten un análisis y una interpretación exhaustivos de las piezas (Herrero-Cortell *et al.*, 2018: 6). En este estudio, utilizamos la imagen obtenida en el espectro visible, tanto en reflexión (VIS) como en luminiscencia visible inducida por radiación ultravioleta (UVL), así como en el infrarrojo (IR). Además, incorporamos la imagen en falso color infrarrojo (IRFC), de naturaleza híbrida, que se sitúa en el rango IR (Cosentino *et al.*, 2014: 8).

El equipo utilizado fue una cámara Nikon® D800 de espectro completo modificada y convertida por Kolarivision®,[1] con un filtro antirreflejos (AR) Pro para sustituir al filtro de corte IR interno y un objetivo Nikon® Nikkor 50 mm f/1,8 D fijo, complementado con el juego de filtros Robertina® para VIS e IR, así como una tarjeta de calibración desarrollada por CHSOS®.[2] Para la fotografía UVL, utilizamos una lámpara de luminiscencia ultravioleta filtrada de 3000 vatios (365 nm) de Madatec®.[3] Para la edición y el procesamiento de las imágenes, utilizamos los programas

[1] https://kolarivision.com/

[2] https://chsopensource.org/product/technical-photography-filters-set-robertina/ https://chsopensource.org/product/tp-msi-calibration-card/

[3] http://www.madatec.com/index-en.html

Version®[4] and RawTherapee®[5] software, both open access, as well as Photoshop®, specifically for editing the hybrid IRFC image (Cosentino and Stout, 2014). For lighting, we used 500-watt halogen light sources, both for VIS and IR shots.

For optimal photographic documentation, this process should be approached with the rigour of studio photography. Utilisation of a tripod is essential, and careful consideration must be given to its placement, as the lens should maintain a fixed position across all captures. This may pose spatial challenges, particularly when photographing larger objects. Regarding illumination, halogen sources ought to be positioned on either side of the painting, each at a 45-degree angle. From a conservation perspective, management of the temperature generated by these light sources is imperative to safeguard the polychromies. It is advisable to utilise a control cable equipped with a dimmer for adjusting light intensity, and a surface thermometer to diligently monitor the temperature (Herrero-Cortell et al., 2021: 64).

Image capture is processed using DigiCamControl® from a computer connected to the camera. For enhanced manoeuvrability of the camera, it is recommended to have an L bracket attached to the tripod and an external power supply that allows the camera to connect directly to the mains power. One of the most intricate aspects is focusing, which is done in real-time using the software's live view feature, akin to a video, with the aid of the computer screen and the calibration card. In the case of UVL photography, if the UV lamp covers the entirety of the painting, it can remain fixed at one point; otherwise, it must be oscillated during the exposure time, sweeping across each area of the object.

[4] https://digicamcontrol.com/

[5] https://www.rawtherapee.com/

DigiCamControl Stable Version®[4] y RawTherapee®[5] , ambos de libre acceso, así como Photoshop®, específicamente para la edición de la imagen IRFC híbrida (Cosentino y Stout, 2014). Para la iluminación, utilizamos fuentes de luz halógena de 500 vatios, tanto para las tomas VIS como IR.

Para una documentación fotográfica óptima, este proceso debe abordarse con el rigor de la fotografía de estudio. La utilización de un trípode es esencial, y debe considerarse cuidadosamente su colocación, ya que el objetivo debe mantener una posición fija en todas las capturas. Esto puede plantear problemas espaciales, sobre todo al fotografiar objetos de gran tamaño. En cuanto a la iluminación, las fuentes halógenas deben colocarse a ambos lados del cuadro, cada una en un ángulo de 45 grados. Desde el punto de vista de la conservación, la gestión de la temperatura generada por estas fuentes de luz es imprescindible para salvaguardar las policromías. Es aconsejable utilizar un cable de control equipado con un regulador para ajustar la intensidad de la luz, y un termómetro de superficie para controlar diligentemente la temperatura (Herrero-Cortell *et al.*, 2021: 64).

La captura de imágenes se procesa mediante DigiCamControl® desde un ordenador conectado a la cámara. Para mejorar la maniobrabilidad de la cámara, se recomienda disponer de un soporte en L acoplado al trípode y de una fuente de alimentación externa que permita conectar la cámara directamente a la red eléctrica. Uno de los aspectos más intrincados es el enfoque, que se realiza en tiempo real mediante la función de visión en directo del software, similar a un vídeo, con la ayuda de la pantalla del ordenador y la tarjeta de calibración. En el caso de la fotografía UVL, si la lámpara UV cubre la totalidad del cuadro, puede permanecer fija en un punto; de lo contrario, debe oscilar durante el tiempo de exposición, barriendo cada zona del objeto.

[4] https://digicamcontrol.com/

[5] https://www.rawtherapee.com/

The second stage of the process involved image development using RawTherapee®. This stage can be divided into two phases; the first aimed at controlling the focus and adjusting the white balance and grayscale, and the second to apply the VIS, BW, or UVL profiles depending on the type of photograph taken. The image can then continue to be edited in the software or be exported for further editing in Photoshop®. For this study, we edited the images in the latter, mainly for the generation of the IRFC image. This hybrid image is constructed by blending the RGB channels of the VIS and IR captures, for which there is extensive literature (Poldi and Villa, 2006: 127-137; Cosentino, 2013: 4; Herrero-Cortell et al., 2018: 11).

Case Studies and Notes for their Interpretation

The MBTI and Heritage of Limited Access

The Immaculate Conception by Angelino Medoro, signed in 1618 (Bruquetas 2009: 145), serves as an example of paintings managed within religious institutions, specifically within the confines of a cloistered convent with limited access, such as the Church of San Agustín in Lima (1573). In this case, MBTI has enabled us to map areas where the colour has been altered due to previous restorations, which manifest as stains of various shades, depending on the type of image. In IR images of this painting, these areas appear darker or black compared to the original, while in VIS or IRFC images, the hues range from whitish to lilac or greenish (Figure 1).

In terms of pictorial execution, both the IR and the hybrid IRFC images unveil how Medoro constructed the characters, distinguishing between figure and background. They reveal precise drawings with significant lines, particularly noticeable in the depiction of

La segunda etapa del proceso consistió en el procesado de las imágenes mediante RawTherapee®. Esta etapa puede dividirse en dos fases; la primera destinada a controlar el enfoque y ajustar el balance de blancos y la escala de grises, y la segunda para aplicar los perfiles VIS, BW o UVL en función del tipo de fotografía tomada. A continuación, la imagen puede seguir editándose en el software o exportarse para su posterior edición en Photoshop®. Para este estudio, editamos las imágenes en este último, principalmente para la generación de la imagen IRFC. Esta imagen híbrida se construye mezclando los canales RGB de las capturas VIS e IR, para lo que existe amplia bibliografía (Poldi y Villa, 2006: 127-137; Cosentino, 2013: 4; Herrero-Cortell *et al.*, 2018: 11).

Casos prácticos y notas para su interpretación

El MBTI y el patrimonio de acceso limitado

La Inmaculada Concepción de Angelino Medoro, firmada en 1618 (Bruquetas 2009: 145), sirve como ejemplo de pinturas gestionadas dentro de instituciones religiosas, concretamente en los confines de un convento de clausura con acceso limitado, como la iglesia de San Agustín de Lima (1573). En este caso, el MBTI nos ha permitido cartografiar las zonas en las que el color ha sido alterado debido a restauraciones anteriores, que se manifiestan como manchas de diversas tonalidades, según el tipo de imagen. En las imágenes IR de esta pintura, estas zonas aparecen más oscuras o negras en comparación con el original, mientras que en las imágenes VIS o IRFC, las tonalidades van del blanquecino al lila o verdoso (Figura 1).

En cuanto a la ejecución pictórica, tanto las imágenes IR como las híbridas IRFC desvelan cómo Medoro construyó los personajes, distinguiendo entre figura y fondo. Revelan dibujos precisos con líneas significativas, especialmente notables en la representación de ojos, narices

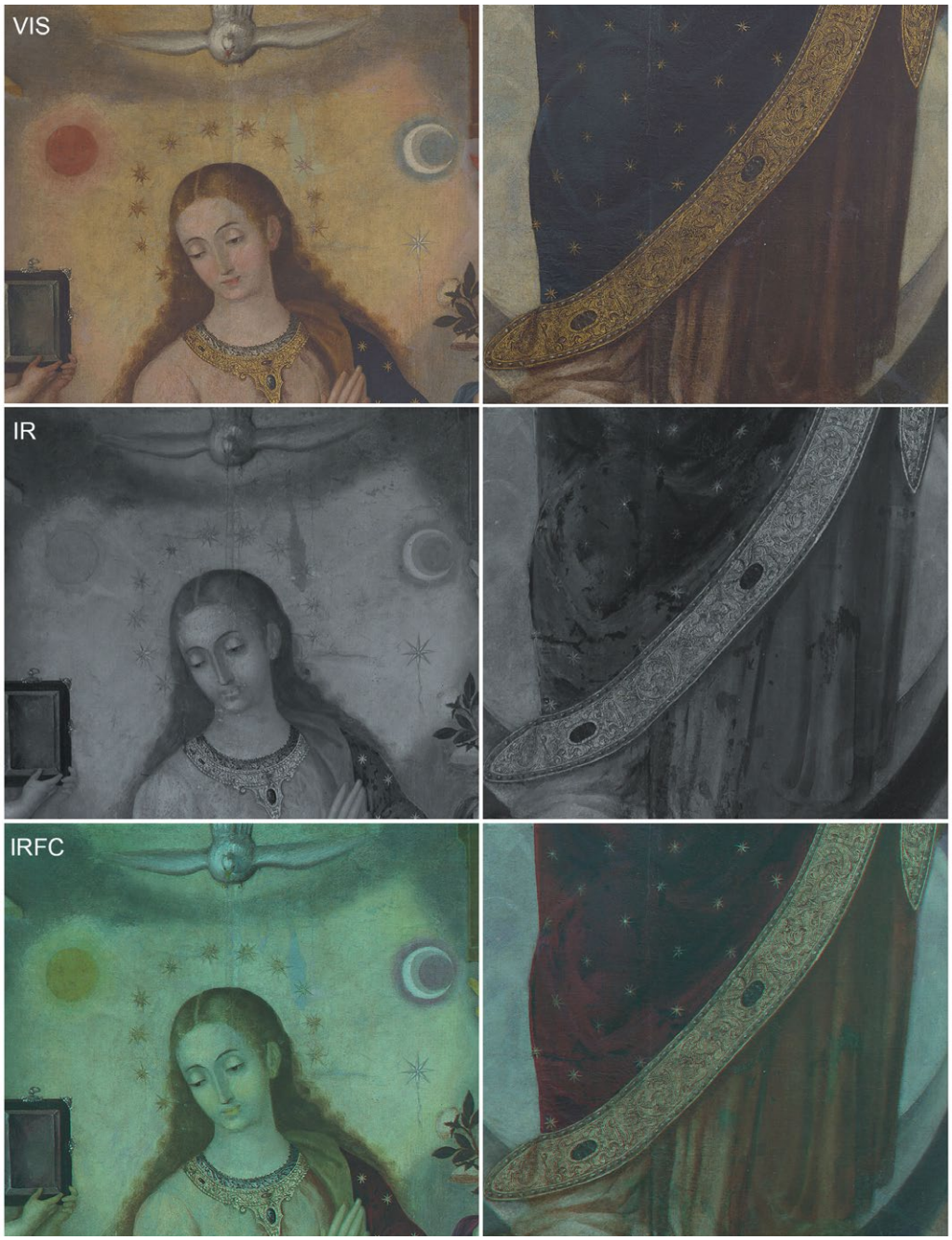


Figure 1 | VIS (top), IR (middle) and IRFC (bottom) images of two detail areas showing the previous restorations in the *Immaculate Conception*, 1618, Angelino Medoro. Church of San Agustín, Lima.

Figura 1 | Imágenes VIS (arriba), IR (centro) e IRFC (abajo) de dos áreas detalladas que muestran las restauraciones anteriores en la *Inmaculada Concepción*, 1618, Angelino Medoro. Iglesia de San Agustín, Lima.

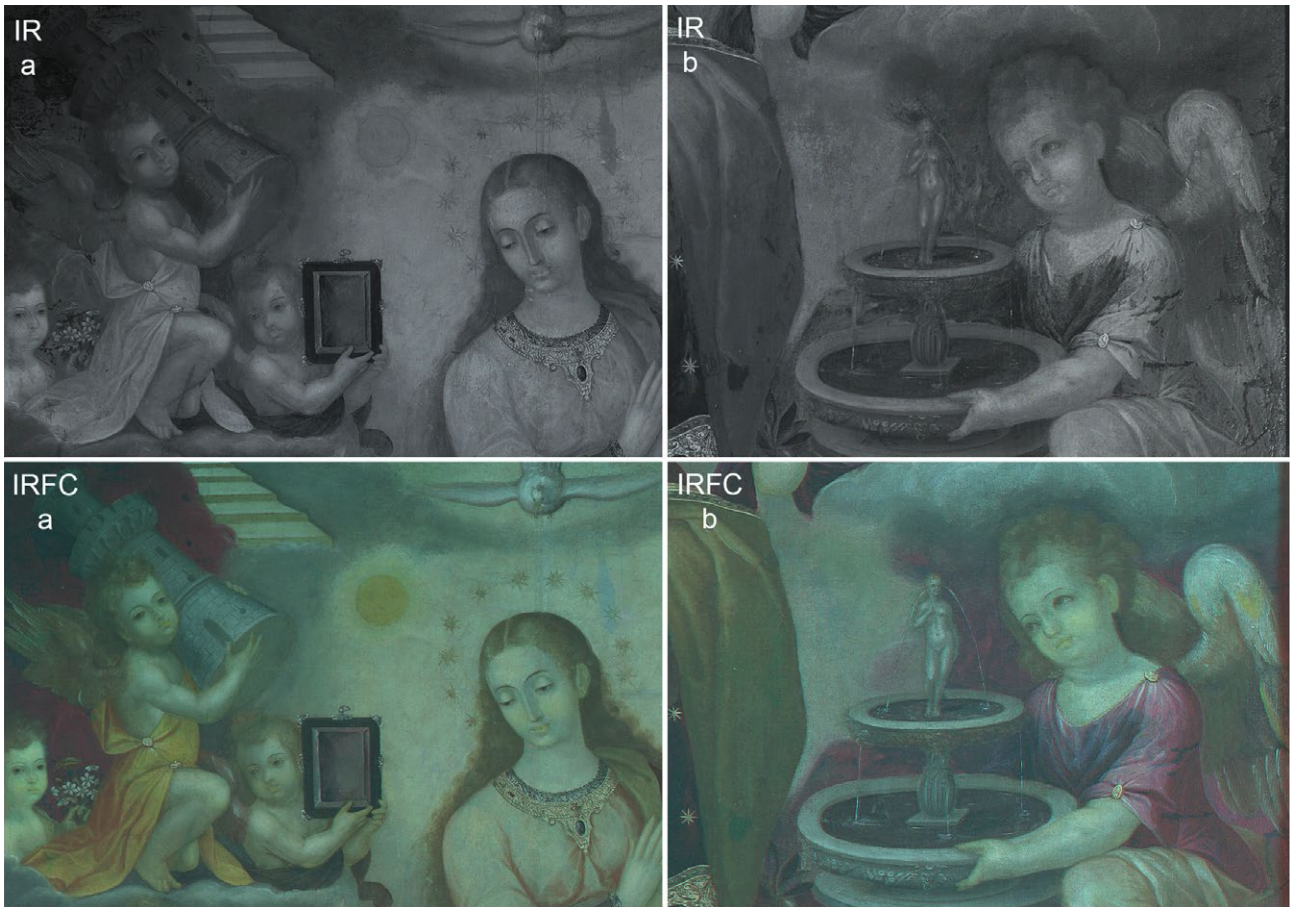


Figure 2 | IR (top) and IRFC (bottom) images of two detail areas showing the procedural techniques and *pentimento* in the *Immaculate Conception*, 1618. Angelino Medoro. Church of San Agustín, Lima.

Figura 2 | Imágenes IR (arriba) e IRFC (abajo) de dos áreas detalladas que muestran las técnicas de procedimiento y el *pentimento* en la *Inmaculada Concepción*, 1618. Angelino Medoro. Iglesia de San Agustín, Lima.

eyes, noses, and lips, while the polychromy (glazes) predominantly shapes the volumes of flesh tones and hair (Figure 2a). In the IR image, the cherubs' hair merges with the cloud-filled background, a feature that is contrastingly evident in the IRFC image, displaying variations in the colours used by Medoro. Additionally, one image indicates a possible adjustment to the preparatory drawing, which appears to be notably enhanced by subsequent applications of colour (Figure 2b).

y labios, mientras que la policromía (veladuras) moldea predominantemente los volúmenes de los tonos de la carne y el cabello (Figura 2a). En la imagen IR, el pelo de los querubines se funde con el fondo lleno de nubes, un rasgo que contrasta en la imagen IRFC, mostrando variaciones en los colores utilizados por Medoro. Además, una imagen indica un posible ajuste del dibujo preparatorio, que parece notablemente realzado por las aplicaciones posteriores de color (Figura 2b).

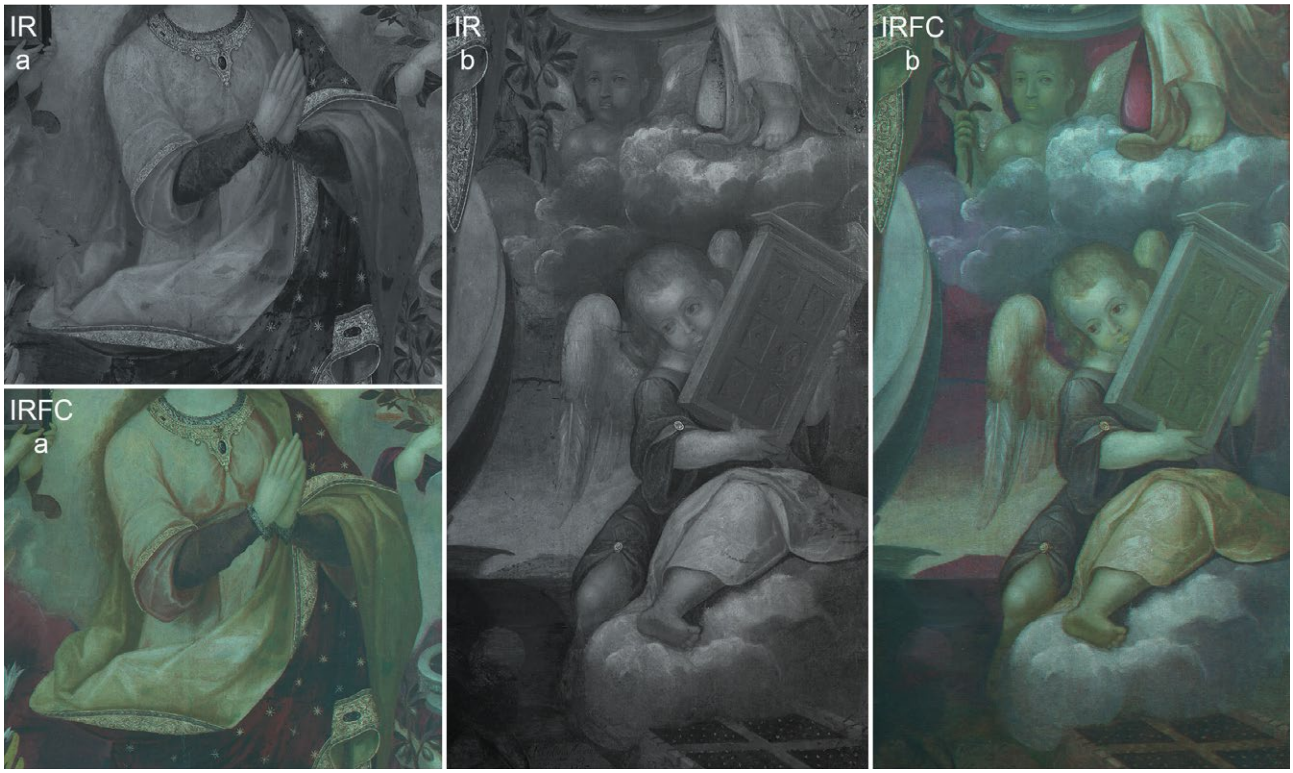


Figure 3 | IR and IRFC images of two detail areas showing the stylistic and procedural techniques in the *Immaculate Conception*, 1618. Angelino Medoro. Church of San Agustín, Lima.

Figura 3 | Imágenes IR e IRFC de dos áreas detalladas que muestran las técnicas estilísticas y de procedimiento en la *Inmaculada Concepción*, 1618. Angelino Medoro. Iglesia de San Agustín, Lima.

Similarly, in delineating the contours of the garments, a thickened drawing is observable, appearing blot-like, likely executed with brush and ink. The rigidity of the virgin's mantle shows a pronounced transition between light and shadow—characteristic of the mannerism style (Figure 3a). The IR and IRFC images further reveal areas where both glazes and more opaque colour layers have been utilised to articulate volumes and various planes. This is evident in the depiction of the wings, the cherubs' garments, and the clouds (Figure 3b).

Del mismo modo, al delinear los contornos de las vestiduras, se observa un dibujo engrosado, con apariencia de mancha, probablemente ejecutado con pincel y tinta. La rigidez del manto de la virgen muestra una pronunciada transición entre luces y sombras, característica del estilo manierista (Figura 3a). Las imágenes IR e IRFC revelan además zonas en las que se han utilizado tanto veladuras como capas de color más opacas para articular volúmenes y diversos planos. Esto es evidente en la representación de las alas, los ropajes de los querubines y las nubes (Figura 3b).

Figure 4 | VIS (top left and right) and IR (bottom left) images of two areas showing the repainting and pictorial style in the *Immaculate Conception*, 1618. Angelino Medoro. Church of San Agustín, Lima.

Figura 4 | Imágenes VIS (arriba a la izquierda y a la derecha) e IR (abajo a la izquierda) de dos áreas que muestran el repintado y el estilo pictórico en la *Inmaculada Concepción*, 1618. Angelino Medoro. Iglesia de San Agustín, Lima.

Similarly, the IR image reveals a repainting of cherubs on the crescent moon, where the visage of a dragon and its wing are discernible (Figure 4a). This *pentimento* could be attributed to various factors. Minor stylistic discrepancies in the crafting of the cherubs, compared to the artist's usual 'hand,' suggest that this repaint might be the result of an intervention, possibly in the late 17th century (Figure 4b). Indubitably, this theory requires more comprehensive multidisciplinary examination, encompassing historical-stylistic or analytical studies, to either substantiate or refute it.

Del mismo modo, la imagen IR revela un repinte de querubines sobre la media luna, en la que se distinguen el rostro de un dragón y su ala (Figura 4a). Este *pentimento* podría atribuirse a varios factores. Pequeñas discrepancias estilísticas en la elaboración de los querubines, en comparación con la "mano" habitual del artista, sugieren que este repinte podría ser el resultado de una intervención, posiblemente a finales del siglo XVII (Figura 4b). Indudablemente, esta teoría requiere un examen multidisciplinar más exhaustivo, que abarque estudios histórico-estilísticos o analíticos, para corroborarla o refutarla.

For the hybrid IRFC image, primarily used as preliminary evidence for the identification of pigmented materials (Moon et al., 1992; Aldrovandi et al., 2004; Aguilar-Téllez et al., 2014; Herrero-Cortell et al., 2022), we note the following:

- Observing the VIS image of the upper part of the canvas where the sun and two cherubs appear, one at each extreme, we see an intense red for the dress and wings. However, these elements appear yellow in the IRFC image, possibly due to the presence of vermilion or carmine lacquer. This lacquer could have been introduced as glazes for the flesh tones of the faces, primarily in cheeks and lips (Figure 5).

- A garnet red hue in the clothing of a cherub in the IRFC image allows for the preliminary identification of the presence of lapis lazuli (Figure 6a) and —based on previous studies that indicate that cupric blues appear violet in IRFC imaging (Cosentino, 2014; Artoni et al., 2019)— we identify the possible presence of azurite on the Virgin's robe (Figure 6b). Although these hypotheses will need to be confirmed in subsequent stages of the investigation, we can further indicate that in a pigment analysis carried out by Bruquetas on a series of paintings signed and attributed to Angelino Medoro, she specifies that in this painting "an unidentified copper blue appears that could possibly be some blue/green obtained from the mining region of Lípez or Atacama."[6] (Bruquetas, 2009: 155).

MBTI in Museography: Dissemination and Education

Museums present another potential application of MBTI. This scenario offers alternatives that enhance

[6] "Aparece un azul de cobre sin identificar que posiblemente pudiera tratarse de algún azul/verde obtenido de la región minera de Lípez o Atacama."

Para la imagen IRFC híbrida, utilizada principalmente como prueba preliminar para la identificación de materiales pigmentados (Moon *et al.*, 1992; Aldrovandi *et al.*, 2004; Aguilar-Téllez *et al.*, 2014; Herrero-Cortell *et al.*, 2022), observamos lo siguiente:

- Observando la imagen VIS de la parte superior del lienzo donde aparecen el sol y dos querubines, uno en cada extremo, vemos un rojo intenso para el vestido y las alas. Sin embargo, estos elementos aparecen amarillos en la imagen IRFC, posiblemente debido a la presencia de laca bermellón o carmín. Esta laca podría haberse introducido en forma de veladura para los tonos carne de los rostros, principalmente en mejillas y labios (Figura 5).

- Un tono rojo granate en la vestimenta de un querubín en la imagen IRFC permite identificar preliminarmente la presencia de lapislázuli (Figura 6a) y –basándonos en estudios anteriores que indican que los azules cúpricos aparecen violetas en las imágenes IRFC (Cosentino, 2014; Artoni *et al.*, 2019)– identificamos la posible presencia de azurita en el manto de la Virgen (Figura 6b). Aunque estas hipótesis deberán ser confirmadas en fases posteriores de la investigación, podemos indicar además que en un análisis de pigmentos realizado por Bruquetas sobre una serie de pinturas firmadas y atribuidas a Angelino Medoro, especifica que en esta pintura "aparece un azul cobrizo no identificado que posiblemente sea algún azul/verde obtenido de la región minera de Lípez o Atacama".[6] (Bruquetas, 2009: 155).

MBTI en museografía: difusión y educación

Los museos presentan otra aplicación potencial del MBTI. Este escenario ofrece alternativas que mejoran la

[6] "Aparece un azul de cobre sin identificar que posiblemente pudiera tratarse de algún azul/verde obtenido de la región minera de Lípez o Atacama".

Figure 5 | VIS (top) and IRFC (bottom) images of a detail area showing the possible presence of vermilion or carmine lacquer in the red (VIS) and yellow (IRFC) tones of the *Immaculate Conception*, 1618. Angelino Medoro. Church of San Agustín, Lima.

Figura 5 | Imágenes VIS (arriba) e IRFC (abajo) de un área detallada que muestra la posible presencia de laca bermellón o carmín en los tonos rojos (VIS) y amarillos (IRFC) de la *Inmaculada Concepción*, 1618. Angelino Medoro. Iglesia de San Agustín, Lima..

knowledge accessibility (Ardemagni, 2008: 112). Generally, the *raison d'être* of institutions that manage collections and call themselves museums is rooted in their research capabilities (Santacana and Hernández, 2006: 97). We believe that this research should be transformed into specific dissemination and

accesibilidad al conocimiento (Ardemagni, 2008: 112). Generalmente, *la razón de ser* de las instituciones que gestionan colecciones y se autodenominan museos radica en su capacidad de investigación (Santacana y Hernández, 2006: 97). Creemos que esta investigación debe transformarse en productos específicos de

Figure 6 | VIS (top) and IRFC (bottom) images of two detail areas showing a preliminary identification of lapis lazuli on the cherub's clothing and azurite on the Virgin´s tunic in the *Immaculate Conception*, 1618. Angelino Medoro. Church of San Agustín, Lima.

Figura 6 | Imágenes VIS (arriba) e IRFC (abajo) de dos detalles que muestran una identificación preliminar de lapislázuli en la vestimenta del querubín y azurita en la túnica de la Virgen en la *Inmaculada Concepción*, 1618. Angelino Medoro. Iglesia de San Agustín, Lima.

educational outputs that motivate the public to learn about, appreciate, and preserve cultural heritage. Consequently, museography emerges as a natural setting where these outputs could be prominently displayed, as could be seen in the Mannerism room of the Museo Pedro de Osma in Lima, Peru.

In this context, we will analyse 'The Annunciation' by Luis de Riaño, dated and signed in 1632. This canvas was procured in 1984 from "*Antigüedades Alcanfores*" in Lima, Peru. According to the existing records at the museum, there is a lack of information concerning any conservation or restoration processes the painting may have undergone before being put on display.[7] The artwork exhibits several peculiarities that captivate the attention of the public. For instance, there are noticeable areas where cleaning interventions appear to be incomplete, particularly around the cherubs and certain clouds, and discernible restorative actions on a vase located adjacent to Saint Anthony of Padua; all aspects that have been rendered 'visible' through the application of UVL (Figure 7).

The VIS and IR images reveals the technical execution in the composition of María's garments, exhibiting a loose and versatile line´s drawing (Figure 8a). Most notably, the reorientation of the archangel's face can be seen. Initially depicted in a full profile, the face has been subsequently modified to a foreshortened perspective facing the observer (Figure 8b).

Would it not be appropriate to incorporate a timeline within the museographic presentation as a form of critical discourse, addressing, for example, the history of the material condition of the artwork? Gutiérrez (2010: 33) observes: "a rising interest in the objects or cultural assets seems evident, not solely in the demand for their contemplation, but also in the pursuit

[7] According to the catalog records managed by the Registration and Documentation Area.

difusión y educación que motiven al público a conocer, apreciar y conservar el patrimonio cultural. En consecuencia, la museografía surge como un escenario natural en el que estos resultados podrían exhibirse de forma destacada, como puede verse en la sala de Manierismo del Museo Pedro de Osma de Lima, Perú.

En este contexto, analizaremos "La Anunciación" de Luis de Riaño, fechada y firmada en 1632. Este lienzo fue adquirido en 1984 en las "*Antigüedades Alcanfores*" de Lima, Perú. Según los registros existentes en el museo, falta información sobre los procesos de conservación o restauración a los que pudo someterse el cuadro antes de ser expuesto.[7] La obra presenta varias peculiaridades que cautivan la atención del público. Por ejemplo, hay zonas notables en las que las intervenciones de limpieza parecen estar incompletas, sobre todo alrededor de los querubines y de ciertas nubes, y acciones de restauración perceptibles en un jarrón situado junto a San Antonio de Padua; todos ellos aspectos que se han hecho "visibles" mediante la aplicación de UVL (Figura 7).

Las imágenes VIS e IR revelan la ejecución técnica en la composición de las prendas de María, exhibiendo un dibujo de líneas sueltas y versátiles (Figura 8a). Lo más notable es la reorientación del rostro del arcángel. Inicialmente representado de perfil, el rostro se ha modificado posteriormente a una perspectiva en escorzo mirando al observador (Figura 8b).

¿No sería apropiado incorporar una línea de tiempo dentro de la presentación museográfica como forma de discurso crítico, abordando, por ejemplo, la historia de la condición material de la obra de arte? Gutiérrez (2010: 33) observa "parece evidente un interés creciente por los objetos o bienes culturales, no sólo en la demanda de su contemplación, sino también

[7] Según los registros del catálogo gestionado por el Área de Registro y Documentación.

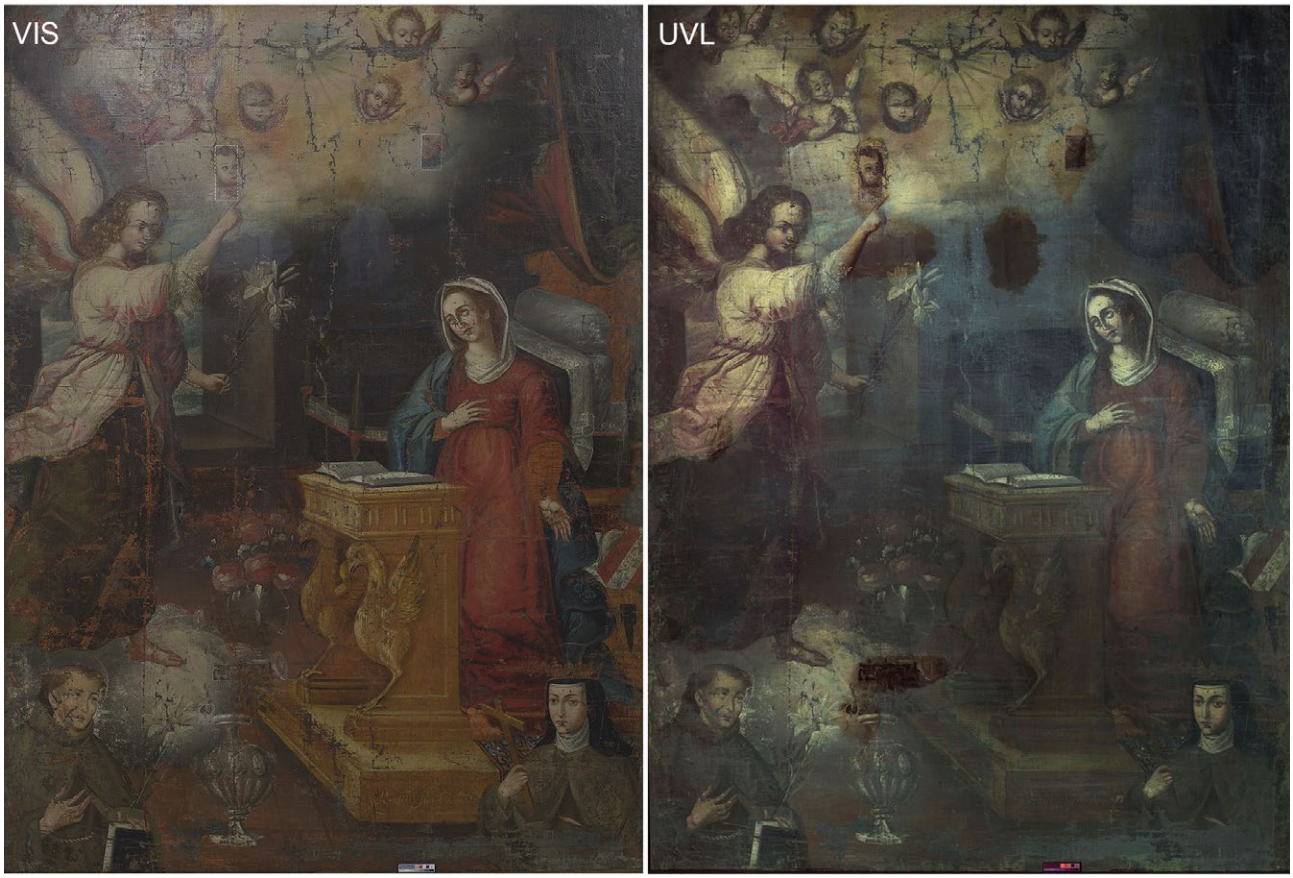


Figure 7 | Imágenes VIS (izquierda) y UVL (derecha) con la imagen UVL identificando tratamientos de limpieza previos en *La Anunciación*, 1634. Luis de Riaño. Museo Pedro de Osma, Lima.

Figura 7 | VIS (left) and UVL (right) images with the UVL image identifying previous cleaning treatments in *The Annunciation*, 1634. Luis de Riaño. Museo Pedro de Osma, Lima.

of knowledge concerning their history and context, aiming for a comprehensive understanding."[8] We argue that the MBTI can act as a scientific foundation for institutional critique and learning, as well enhance understanding of conservation practices and the latent history of cultural heritage.

en la búsqueda de conocimientos sobre su historia y su contexto, con el objetivo de una comprensión global".[8] Sostenemos que el MBTI puede servir de base científica para la crítica y la pedagogía institucionales, así como para mejorar la comprensión de las prácticas de conservación y la historia latente del patrimonio cultural.

[8] "Parece observarse también un creciente interés hacia los objetos o bienes culturales, y no solo en la demanda de su contemplación, sino también en la búsqueda del conocimiento de su historia y su contexto, en su comprensión global".

[8] "Parece observarse también un creciente interés hacia los objetos o bienes culturales, y no solo en la demanda de su contemplación, sino también en la búsqueda del conocimiento de su historia y su contexto, en su comprensión global".

Figure 8 | VIS (top) and IR (bottom) images showing stylistic details, and a possible correction or overpainting of the archangel´s face reorientation in *The Annunciation*, 1634. Luis de Riaño. Museo Pedro de Osma, Lima.

Figura 8 | Imágenes VIS (arriba) e IR (abajo) mostrando detalles estilísticos y una posible corrección o repintado de la reorientación del rostro del arcángel en *La Anunciación*, 1634. Luis de Riaño. Museo Pedro de Osma, Lima..

MBTI and the Attribution of Pictorial Schools

A third scenario emerges from the presence of numerous anonymous paintings in our collections. Currently, stylistic and historical-artistic studies face challenges in attributing, authenticating, and associating these paintings with specific schools or workshops, and, above all, in narrowing down the temporal window of their contextualisation. As noted by Mariazza (2014: 298):

> The history of painting in Lima remains a pending and arduous task today. Any attempt to clarify its landscape should update the known information and consider the significant gaps that exist in each century of its existence. (...) there is a vast amount of documentary evidence referring to painters and paintings that we are not familiar with, and on the other hand, we have a considerable number of works lacking the necessary documentary support.[9]

For this category, we examine an artwork from a private collection: Our Lady of Almudena. The owner argues that it is an anonymous piece attributed to the 18th century Cusco School. Its style of pictorial representation, known as "painted sculptures", is believed to have begun gaining popularity in the final third of the 17th century in the Viceroyalty of Lima (Wuffarden, 2020: 331).

The IR image of the Virgin's dress, in the customary format of a mountain or '*apu*' in Quechua, epitomises the pictorial syncretism between Indigenous and European cultures. It unveils the intricacies of the ink drawing: the brush-load, meticulously outlining the contours of vegetal motifs and other

[9] "La historia de la pintura en Lima es hoy una tarea pendiente y ardua. Cualquier intento de clarificar su panorama debería poner al día la información conocida y considerar los graves vacíos que existen en cada uno de los siglos de su existencia. (...) se cuenta con una enorme producción documental que se refiere a pintores y pinturas que no conocemos y, por otro lado, tenemos un buen número de obras sin el respaldo documental necesario."

MBTI y la atribución de escuelas pictóricas

Un tercer escenario surge de la presencia de numerosas pinturas anónimas en nuestras colecciones. En la actualidad, los estudios estilísticos e histórico-artísticos se enfrentan al reto de atribuir, autentificar y asociar estas pinturas a escuelas o talleres concretos y, sobre todo, de acotar la ventana temporal de su contextualización. Como señala Mariazza (2014: 298):

> La historia de la pintura en Lima sigue siendo hoy una tarea pendiente y ardua. Cualquier intento de esclarecer su panorama debe actualizar la información conocida y considerar las importantes lagunas que existen en cada siglo de su existencia. (...) existe una gran cantidad de pruebas documentales referidas a pintores y cuadros que desconocemos y, por otro lado, contamos con un número considerable de obras que carecen del necesario soporte documental.[9]

Para esta categoría, examinamos una obra de arte de una colección privada: Nuestra Señora de la Almudena. Su propietario sostiene que se trata de una pieza anónima atribuida a la Escuela Cusqueña del siglo XVIII. Se cree que su estilo de representación pictórica, conocido como "esculturas pintadas", empezó a ganar popularidad en el último tercio del siglo XVII en el Virreinato de Lima (Wuffarden, 2020: 331).

La imagen IR del vestido de la Virgen, en el formato habitual de una montaña o "*apu*" en quechua, personifica el sincretismo pictórico entre las culturas indígena y europea. Desvela las complejidades del dibujo a tinta: la carga de pincel, delineando meticulosamente los contornos de los motivos vegetales y otros elementos (Figura 9b), así como la construcción detallada de rasgos

[9] "La historia de la pintura en Lima es hoy una tarea pendiente y ardua. Cualquier intento de esclarecer su panorama debería poner al día la información conocida y considerar los graves vacíos que existen en cada uno de los siglos de su existencia. (...) se cuenta con una enorme producción documental que se refiere a pintores y pinturas que no conocemos y, por otro lado, tenemos un buen número de obras sin el respaldo documental necesario."

elements (Figure 9b), as well as the detailed construction of facial features such as eyebrows, noses, and chins. Most notably, a correction in the positioning of the Child's left eye is observed (Figure 9a).

From VIS and IRFC images, a hypothesis concerning the use of specific pigments for the red hues around the faces and on the Virgin's robe can be proposed (Figure 10a). These hues appear to differ from those detected in Medoro's canvas. Possibly, and in line with the pictorial techniques of the 18th century Cusco School (Stastny and Chirinos, 2001: 25), the artist may have used cochineal and natural cinnabar in the red palette. Likewise, this hypothesis must be contrasted with complementary X-Ray Diffraction or Raman Spectroscopy.

In terms of pictorial execution, the employment of transparencies in the polychromy allows for the observation of drawings that delineate the silhouettes of gold or brocading,[10] visible in trims and emblems, such as the one at the centre of the Virgin's robe, which is presumably associated with the Mercedarian order (Figure 10b). Some scholars contend that the application of gold is a feature predominantly observed in Cusco School's 17th-century paintings (Paz-Soldán, 2011: 231); however, others propose that it is characteristic of the late 18th century (Stastny, 1984: 110). The analysis of material usage and the formal aspects of the Cusco School paintings, reveals contradictions and gaps in the scientific research of Peruvian art history. These inconsistencies persist in posing challenges in attribution, as emphasised by Mariazza (2014: 296) who acknowledges "the scarcity of studies successfully outlining the evolution of our painting."[11] He further states:

[10] Brocading ("brocateado") refers to a gilded technique that creates raised, embossed designs by applying plaster stucco and Armenian bole over the polychrome layer.

[11] "Haciendo notar que no disponemos de estudios que logren determinar la trayectoria de nuestra pintura."

faciales como cejas, narices y barbillas. En particular, se observa una corrección en la colocación del ojo izquierdo del Niño (Figura 9a).

A partir de las imágenes VIS e IRFC, se puede proponer una hipótesis sobre el uso de pigmentos específicos para los tonos rojos alrededor de los rostros y en el manto de la Virgen (Figura 10a). Estos matices parecen diferir de los detectados en el lienzo de Medoro. Posiblemente, y en consonancia con las técnicas pictóricas de la Escuela Cusqueña del siglo XVIII (Stastny y Chirinos, 2001: 25), el artista pudo haber utilizado cochinilla y cinabrio natural en la paleta de rojos. Asimismo, esta hipótesis debe contrastarse con la difracción de rayos X complementaria o la espectroscopia Raman.

En cuanto a la ejecución pictórica, el empleo de transparencias en la policromía permite observar dibujos que delinean las siluetas del oro o el brocado,[10] visible en adornos y emblemas, como el del centro del manto de la Virgen, presumiblemente asociado a la orden mercedaria (Figura 10b). Algunos estudiosos sostienen que la aplicación del oro es un rasgo que se observa predominantemente en las pinturas de la Escuela Cusqueña del siglo XVII (Paz-Soldán, 2011: 231); sin embargo, otros proponen que es característico de finales del siglo XVIII (Stastny, 1984: 110). El análisis del uso material y de los aspectos formales de las pinturas de la Escuela Cusqueña, revela contradicciones y lagunas en la investigación científica de la historia del arte peruano. Estas incoherencias siguen planteando problemas de atribución, como subraya Mariazza (2014: 296), quien reconoce "la escasez de estudios que esbocen con éxito la evolución de nuestra pintura".[11] Afirma además:

> En cuanto a las actividades realizadas en la antigua región sur del Perú, sólo existe el texto de José de

[10] El brocado ("brocateado") se refiere a una técnica de dorado que crea diseños en relieve mediante la aplicación de estuco de yeso y boleado armenio sobre la capa de policromía.

[11] "Haciendo notar que no disponemos de estudios que logren determinar la trayectoria de nuestra pintura".

Figure 9 | IR images of detail areas showing the preparatory ink drawing, outlining the contours of the faces and decorative elements. Above all, a *pentimento* in the position of the Child´s eye is observed in *Our Lady of Almudena*, 18th century. Anonymous. Private collection, Lima.

Figura 9 | Imágenes IR de áreas detalladas que muestran el dibujo preparatorio a tinta, que perfila los contornos de los rostros y los elementos decorativos. Sobre todo, se observa un *pentimento* en la posición del ojo del Niño en *Nuestra Señora de la Almudena*, siglo XVIII. Anónimo. Colección privada, Lima.

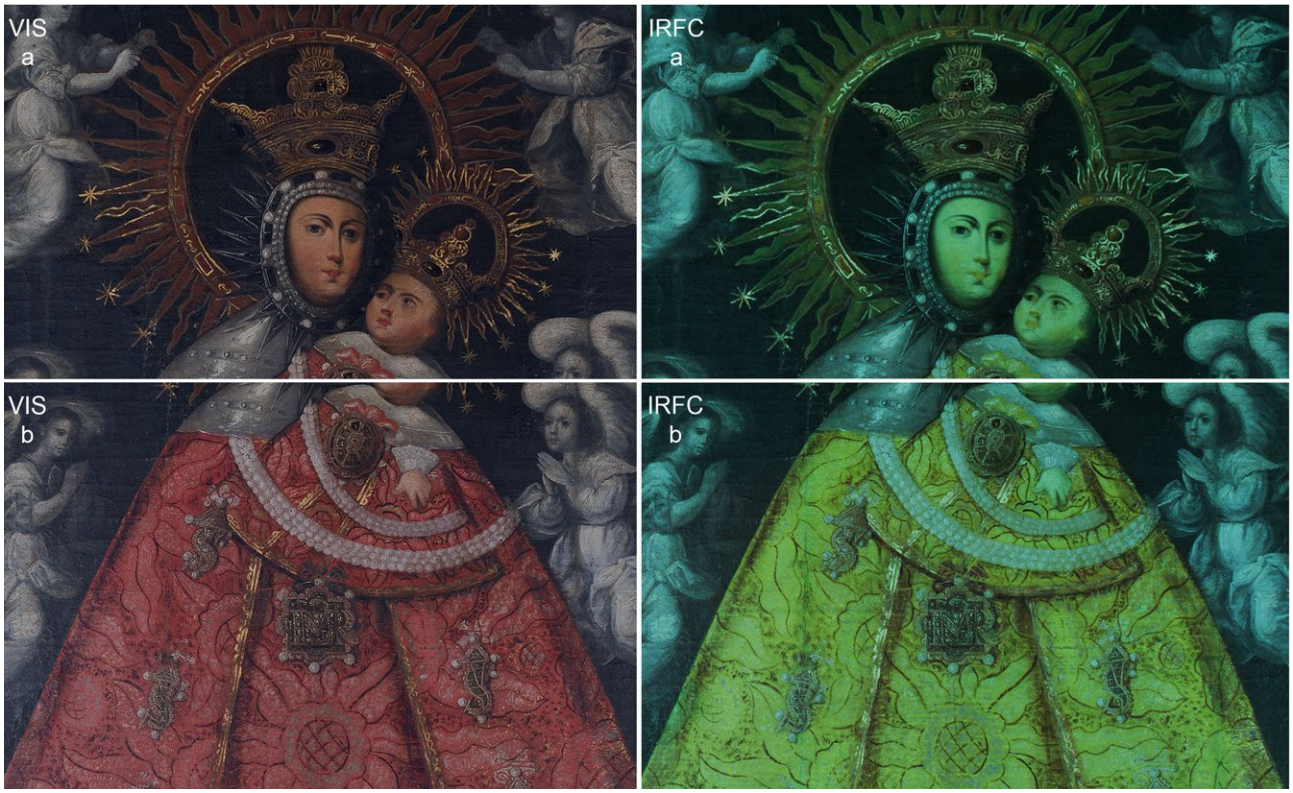


Figure 10 | VIS (left) and IRFC (right) images of detail areas showing the corresponding use of red pigments, possibly a carmine lacquer and natural cinnabar to colour, both faces and particularly the Virgin´s dress in *Our Lady of Almudena*, 18th century. Anonymous. Private collection, Lima.

Figura 10 | Imágenes VIS (izquierda) e IRFC (derecha) de áreas detalladas que muestran el uso correspondiente de pigmentos rojos, posiblemente una laca carmín y cinabrio natural para dar color, tanto a los rostros como, en particular, al vestido de la Virgen en Nuestra Señora de la Almudena, siglo XVIII. Anónimo. Colección privada, Lima.

Regarding the activities conducted in the ancient southern region of Peru, there only exists the text by José de Mesa and Teresa Gisbert concerning Cusco School painting (...) There is no alternative source to the work of Mesa-Gisbert that provides new information or an update on the subject, nor are there similar studies for any other region of the country" (Mariazza, 2014: 296).[12]

Mesa y Teresa Gisbert sobre la pintura de la Escuela Cusqueña (...) No hay ninguna fuente alternativa al trabajo de Mesa-Gisbert que aporte nueva información o una actualización sobre el tema, ni existen estudios similares para ninguna otra región del país" (Mariazza, 2014: 296).[12]

[12] De la actividad llevada a cabo en el antiguo sur peruano, solo se tiene el texto de José de Mesa y Teresa Gisbert referente a la pintura cusqueña (...) No existe una fuente alternativa a la obra de Mesa-Gisbert que ofrezca nueva información y una actualización del tema, como tampoco existen estudios similares para ninguna otra zona del país."

[12] De la actividad llevada a cabo en el antiguo sur peruano, solo se tiene el texto de José de Mesa y Teresa Gisbert referente a la pintura cusqueña (...) No existe una fuente alternativa a la obra de Mesa-Gisbert que ofrezca nueva información y una actualización del tema, como tampoco existen estudios similares para ninguna otra zona del país."

Conclusions

Multiband Technical Imaging (MBTI) has proven to be a valuable scientific methodology for the in-depth study of Peruvian viceregal paintings. Its advantages, including operational practicality, portability, cost-effectiveness, and the generation of immediate results, make it particularly suited to address the challenges faced in the study and conservation of Peruvian heritage.

Through the lens of various case studies, this paper underscores the potential of MBTI to serve as a key tool in safeguarding and expanding our understanding of these collections. It offers a means to engage more deeply with cultural artefacts, enabling the creation of comprehensive educational and dissemination resources. This is especially pertinent considering the vast number of viceregal paintings that are presently decontextualised, incorrectly attributed, located in remote or restricted areas, and are yet to benefit from rigorous research or alternative analytical methods. Without tools like MBTI, many of these artworks remain at risk of obscurity or disappearance.

Furthermore, MBTI's capability to reveal intricate details of artworks, expose historical modifications, and inform conservation and restoration decisions cannot be overstated. Nevertheless, to fully harness its potential, more multidisciplinary research is needed to refine the methodologies and interpretative frameworks associated with MBTI in the context of Peruvian viceregal painting.

Acknowledgments

I am immensely grateful to the researchers Elena Amerio, José Luis Quispe, Jesús Sánchez, and Francisco Yábar; additionally, my thanks extend to Jessica Aliaga of the Augustinian Order in Lima, and to Gemma Ballesteros and Javier Chuquiray of the Museo Pedro de Osma.

Conclusiones

La imagen técnica multibanda (MBTI) ha demostrado ser una valiosa metodología científica para el estudio en profundidad de las pinturas virreinales peruanas. Sus ventajas, como la practicidad operativa, la portabilidad, la rentabilidad y la generación de resultados inmediatos, la hacen especialmente adecuada para abordar los retos a los que se enfrenta el estudio y la conservación del patrimonio peruano.

A través de la lente de varios estudios de casos, este artículo subraya el potencial del MBTI para servir como herramienta clave en la salvaguarda y ampliación de nuestra comprensión de estas colecciones. Ofrece un medio para comprometerse más profundamente con los objetos culturales, permitiendo la creación de amplios recursos educativos y de difusión. Esto es especialmente pertinente si se tiene en cuenta el gran número de pinturas virreinales que actualmente están descontextualizadas, incorrectamente atribuidas, situadas en zonas remotas o de acceso restringido, y que aún no se han beneficiado de una investigación rigurosa o de métodos analíticos alternativos. Sin herramientas como el MBTI, muchas de estas obras de arte siguen corriendo el riesgo de caer en la oscuridad o desaparecer.

Además, no se puede exagerar la capacidad del MBTI para revelar detalles intrincados de las obras de arte, exponer modificaciones históricas y fundamentar las decisiones de conservación y restauración. No obstante, para aprovechar plenamente su potencial, se necesita más investigación multidisciplinar para perfeccionar las metodologías y los marcos interpretativos asociados al MBTI en el contexto de la pintura virreinal peruana.

Agradecimientos

Estoy inmensamente agradecido a los investigadores Elena Amerio, José Luis Quispe, Jesús Sánchez y Francisco Yábar; además, mi agradecimiento se extiende a Jessica Aliaga, de la Orden Agustiniana de Lima, y a Gemma Ballesteros y Javier Chuquiray, del Museo Pedro de Osma.

References | Bibliografía

Aguilar-Téllez, D.M., Ruvalcaba-Sil, J.L., Claes, P., & González-González, D. (2014). False colour and infrared imaging for the identification of pigments in paintings. *MRS Online Proceedings Library (OPL)*, *1618*, 3-15. https://doi.org/10.1557/opl.2014.451

Aldrovandi, A., Buzzegoli, E., Keller, A., & Kunzelman, D. (2004). Indagini su superfici dipinte mediante immagini UV riflesse in falso colore. *OPD Restauro: Rivista dell'Opificio delle Pietre Dure e Laboratori di Restauro di Firenze*, *16*, 83-87.

Ardemagni, M. (2008). El público y la conservación del patrimonio. En S.M. Mateos Rusillo (Ed.), *Asturias: La Comunicación Global del Patrimonio Cultural* (pp. 111-132). Editorial Trea.

Artoni, P., Räich, M., Herrero-Cortell, M.A., & Ricci, M.L. (2019). Riconoscere dal colore. Pigmenti e coloranti dell'età moderna nell'analisi multibanda dei dipinti: uno strumento visivo per gli storici dell'arte e i conservatori. En A. Bottoli y V. Marchiafava (Ed.), *Milán: Colore e Colorimetria* (pp. 120-127). Gruppo del Colore. Associazione Italiana Colore.

Bruquetas, R. (2009). Técnicas y materiales en la pintura limeña de la primera mitad del siglo XVII: Angelino Medoro y su entorno. *Revista de Arte Goya*, *327*, 144-161.

Cosentino, A. (2013). Infrared technical photography for art examination. *e-Preservation Science*, *13*, 1-6.

Cosentino, A., Caggiani, M.A., Ruggiero, G., & Salvemini, F. (2014). Panoramic multiespectral imaging: training and case studies. *Belgian Association of Conservators Bulletin*, *2*, 06-11.

Cosentino, A. (2014). Identification of pigments by multispectral imaging; a flowchart method. *Heritage Science*, *2*, 01-12. https://doi.org/10.1186/2050-7445-2-8

Cosentino, A., & Stout, S. (2014). Photoshop and multispectral imaging for art documentation. *e-Preservation Science*, 11, 91-98.

Gutiérrez, A. (2010). *Museología y documentación. Criterios para la definición de un proyecto de documentación en museos.* Trea.

Herrero-Cortell, M.A., Artoni, P., Räich, M., Aliaga, J., & Puig, I. (2021). Observando a través de los estratos: fotografía infrarroja transmitida (IRT) aplicada al estudio técnico y documental de pinturas sobre lienzo. *Ge-conservación*, *19*, 62-73. https://doi.org/10.37558/gec.v19i1.840

Herrero-Cortell, M.A., Räich, M., Artoni, P., & Puig, I. (2018). Multiband-technical imaging in the research of the execution of paintings. The case study of the portrait of Carlos IV, by Francisco de Goya. *Ge-conservación*, *14*, 05-15. https://doi.org/10.37558/gec.v14i1.583

Herrero-Cortell, M.A., Räich, M., Artoni, P., & Madrid, J.A. (2022). Caracterización de pigmentos históricos a través de técnicas de imagen en diversas bandas del espectro electromagnético. *Ge-conservación*, *22*, 58-75. https://doi.org/10.37558/gec.v22i1.1101

Mariazza Foy, J. (2014). De lo artesanal a lo científico: los procesos de conservación y restauración en el Perú. En Banco de Crédito del Perú (Ed.), *Nuestra memoria puesta en valor: Patrimonio cultural del Perú* (pp. 294–301). Fondo Editorial del Banco de Crédito del Perú

Paz-Soldán Boza, M. F. (2011). *Panorama de la pintura virreinal peruana: Escuela Limeña*. Pamplona: GRISO – Universidad de Navarra / Fundación Visión Cultural.

Santacana, J., & Hernández F.X. (2006). *Museología crítica*. Trea.

Stastny, F. (1984). La universidad como claustro, vergel y árbol de la ciencia. Una invención iconográfica en la Universidad del Cuzco. *Antropológica*, *2*(2), 105-167. https://doi.org/10.18800/anthropologica.198401.004

Stastny, F., & Chirinos., N. (2001). Perfil tecnológico de las pinturas limeña y cuzqueña. *Íconos*, 4, 18-29.

Moon, T., Schilling, M.R., & Thirketlle, S. (1992). A note on the use of false-color infrared photography in conservation. *Studies in Conservation*, 37(1), 42-52. https://doi.org/10.2307/1506436

Poldi, G., & Villa, G.C. (2006) *Dalla conservazione alla storia dell'arte. Riflettografia e analisi non invasive per lo studio dei dipinti*. Edizione della Normale.

Wuffarden, L.E. (2020). De la vera *effigies* al retrato ilustrado: textura y verismo en la pintura virreinal peruana. En G. Siracusano & A. Rodríguez (Eds.), *Materia Americana* (pp. 329-337). EDUNTREF.

Jerónimo Jacinto Espinosa, *Saint Vincent Ferrer, ca.* 1650 (oil on canvas, Convento de Santo Domingo de Guzmán, Torrent, Valencia). IRTFC–VIS image. Images: authors.

Jerónimo Jacinto Espinosa, San Vicente Ferrer, ca. *1650 (óleo sobre lienzo, Convento de Santo Domingo de Guzmán, Torrent, Valencia). Imagen IRTFC-VIS. Imágenes: autores.*

EXPLORING THE POSSIBILITIES OF FALSE COLOR INFRARED TRANSMISSION IMAGING

EXPLORANDO LAS POSIBILIDADES DE LA IMAGEN DE TRANSMISIÓN INFRARROJA EN FALSO COLOR

Marta Raïch [a*], Paola Artoni [b], Paolo Bertelli [c], Isidro Puig [d], Miquel Àngel Herrero-Cortell [d]
[a] *Instituto de Humanismo y Tradición Clásica de la Universidad de León, Spain*
[b] *Università di Verona, Italy*
[c] *Freelance, Italy*
[d] *Universitat Politècnica de València, Spain*

[*] *mraic@unileon.es*

Introduction: False Color Infrared and Transmitted Infrared

Among the various imaging methods that make up the multiband protocol, false color hybrid images represent one of the most useful technique families. False color infrared images (IRFC) have long been employed in the field of heritage conservation (see History Chapter, in this volume, pp. 88-137). Historically, IRFC was conducted using specialized films (Moon et al., 1992; Aldrovandi & Picollo, 1999), but in contemporary practice, these are digital hybrid images obtained by interchanging the red, green, and blue (RGB) channels of reflected infrared (IR) and visible light (VIS) images.

Introducción: Infrarrojo de falso color e infrarrojo transmitido

Entre los diversos métodos de obtención de imágenes que componen el protocolo multibanda, las imágenes híbridas en falso color representan una de las familias de técnicas más útiles. Las imágenes infrarrojas en falso color (IRFC) se emplean desde hace mucho tiempo en el campo de la conservación del patrimonio (véase el capítulo Historia, en este mismo volumen, pp. 88-137). Históricamente, las IRFC se realizaban utilizando películas especializadas (Moon *et al.*, 1992; Aldrovandi y Picollo, 1999), pero en la práctica contemporánea, se trata de imágenes híbridas digitales obtenidas intercambiando los canales rojo, verde y azul (RGB) de imágenes de infrarrojos (IR) reflejados y de luz visible (VIS).

In more recent years, false color ultraviolet images (UVFC) have emerged as a promising tool for the preliminary observation of the constituent materials in artworks, particularly for non-invasive characterization and differentiation of materials such as varnishes or certain pigments (Warda et al., 2017). Initially developed by Aldrovandi et al., (2004; 2005) for non-destructive pigment analysis, this technique has subsequently been applied to both easel and mural paintings (Poldi & Villa, 2006), works on paper (Coccolini et al., 2010), textiles (Tamburini & Dyer, 2019), and, most recently, for the approximative definition of resinous materials (Rogge & Lough, 2016). Experimental applications of this technique are frequently observed in the preliminary identification of pigments (Keller et al., 2019; Herrero-Cortell et al., 2022). It should be noted that UVFC imaging faces considerable criticism due to its use of reflected ultraviolet imaging, which may produce inconsistent results that could lead to misinterpretation, since very different results can be achieved depending on the position of the lamp and, generally if the surface is glossy, as it happens with many oil paintings, with varnish layers, glazes, or other coatings (Poldi & Villa, 2006, p. 161; Herrero-Cortell, et al., 2022, p. 60). Conversely, IRFC imaging remains more popular, it is more widely known, and comparatively more reliable and useful. It has generated a larger body of research literature when comparing with UVFC (Poldi & Villa, 2006, pp. 127-137) and is ultimately one of the techniques contributing most significantly to multiband analyses (Herrero-Cortell et al., 2018, p. 11; Raïch et al., 2019). It is particularly useful by showing underdrawings or hidden compositions and at the same time providing some evidence about pigments. The technique mixes the infrared data, which is always monochrome, with the color channels of the visible images. This allows details

En los últimos años, las imágenes ultravioletas en falso color (UVFC) han surgido como una herramienta prometedora para la observación preliminar de los materiales constitutivos de las obras de arte, en particular para la caracterización y diferenciación no invasiva de materiales como los barnices o determinados pigmentos (Warda *et al.*, 2017). Desarrollada inicialmente por Aldrovandi *et al.*, (2004; 2005) para el análisis no destructivo de pigmentos, esta técnica se ha aplicado posteriormente a pinturas de caballete y murales (Poldi y Villa, 2006), obras sobre papel (Coccolini *et al.*, 2010), textiles (Tamburini y Dyer, 2019) y, más recientemente, para la definición aproximada de materiales resinosos (Rogge y Lough, 2016). Las aplicaciones experimentales de esta técnica se observan con frecuencia en la identificación preliminar de pigmentos (Keller *et al.*, 2019; Herrero-Cortell *et al.*, 2022). Cabe señalar que la obtención de imágenes UVFC se enfrenta a considerables limitaciones debido a su uso de imágenes ultravioletas reflejadas, que pueden producir resultados incoherentes que podrían dar lugar a interpretaciones erróneas, ya que pueden obtenerse resultados muy diferentes en función de la posición de la lámpara y, por lo general, si la superficie es brillante, como ocurre con muchas pinturas al óleo, con capas de barniz, veladuras u otros acabados (Poldi y Villa, 2006, p. 161; Herrero-Cortell, *et al.*, 2022, p. 60). Por el contrario, la imagen IRFC sigue siendo más popular, es más conocida y resulta comparativamente más fiable y útil. Ha generado un mayor corpus de literatura de investigación en comparación con la UVFC (Poldi y Villa, 2006, pp. 127-137) y, en última instancia, es una de las técnicas que contribuyen de forma más significativa a los análisis multibanda (Herrero-Cortell *et al.*, 2018, p. 11; Raïch *et al.*, 2019). Resulta especialmente útil al mostrar dibujos subyacentes o composiciones ocultas y, al mismo tiempo, proporcionar algunas pruebas sobre los pigmentos. La técnica mezcla los datos infrarrojos, que siempre son monocromos, con los canales de color de las imágenes visibles. Esto permite realzar o revelar

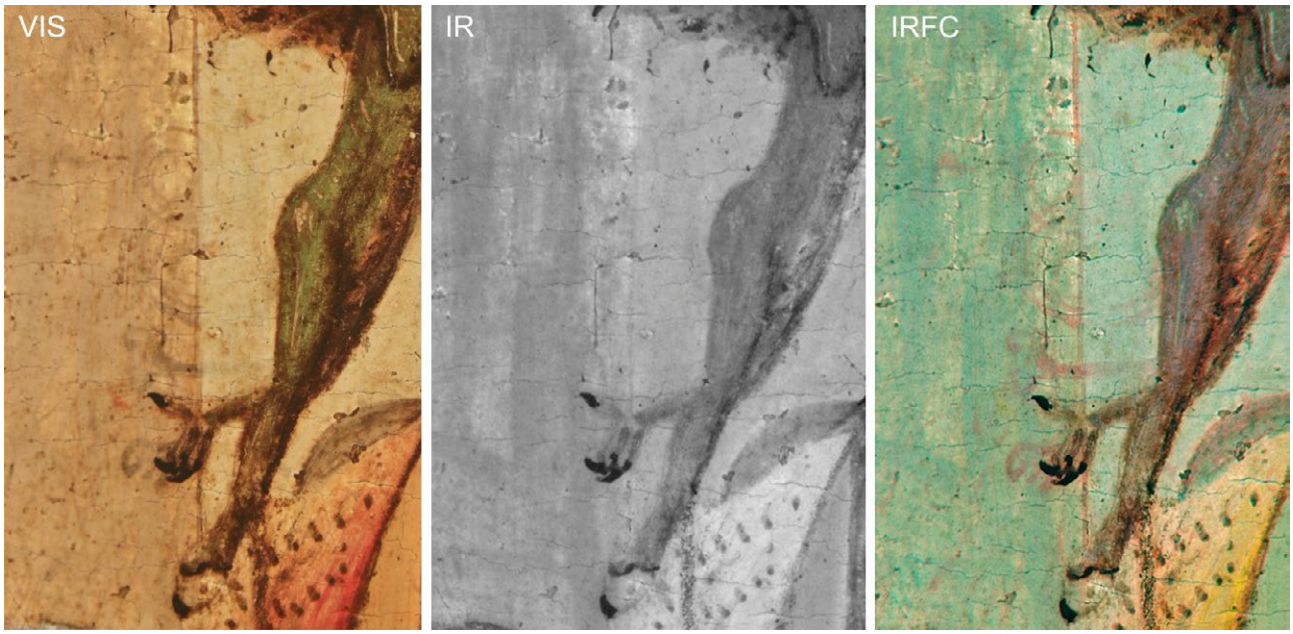


Figure 1 | Maestro de Perea, *The Posthumous Miracle of Saint Andrew*, oil on panel, 15th Century, (detail in VIS, IR and IRFC). Eleiz Museoa Bizkaia, Museo Diocesano de Arte Sacro. Typically, the false-color infrared image allows for the localization of the underlying drawing in relation to the paint and its chromatic masses. On occasions, when the drawing is visible to the naked eye but cannot be documented in the infrared band, the false-color infrared image serves to solve this problem. Images: authors.

Figura 1 | Maestro de Perea, *El milagro póstumo de San Andrés*, óleo sobre tabla, siglo xv (detalle en VIS, IR e IRFC). Eleiz Museoa Bizkaia, Museo Diocesano de Arte Sacro. Normalmente, la imagen infrarroja en falso color permite localizar el dibujo subyacente en relación con la pintura y sus masas cromáticas. En ocasiones, cuando el dibujo es visible a simple vista pero no puede documentarse en la banda infrarroja, la imagen infrarroja en falso color sirve para resolver este problema. Imágenes: autores.

to be enhanced or revealed through the contrast of colors that may not fully observed in the monochrome reflected IR images (Figure 1).

False color images have been proposed as a useful tool for the 'identification' of pigments (Buoso et al., 2009; Aguilar-Téllez et al., 2014), a term which maybe exceeds the possibilities of the technique. It's always extremely useful to better isolate or differentiate a pigment behavior through the spectrum by also documenting it by imaging in other bands and with other modes, to have a more accurate approximation (Cosentino, 2014; Herrero-Cortell

detalles mediante el contraste de colores que pueden no observarse completamente en las imágenes IR monocromas reflejadas (Figura 1).

Las imágenes en falso color se han propuesto como una herramienta útil para la "identificación" de pigmentos (Buoso *et al.*, 2009; Aguilar-Téllez *et al.*, 2014), un término que quizá excede las posibilidades de la técnica. Siempre es extremadamente útil aislar o diferenciar mejor el comportamiento de un pigmento a través del espectro, documentándolo también mediante imágenes en otras bandas y con otros modos, para tener una aproximación más precisa (Cosentino, 2014; Herrero-Cortell *et al.*, 2022).

et al., 2022). Nevertheless, generally, this can only be preliminary, and it needs to be verified by other means, like FORS or RAMAN spectroscopy.

There are several types of false color infrared images, usually obtained by blending reflected infrared images (IR) with visible ones (VIS) (Dyer et al., 2013; Cosentino & Stout, 2014; Warda et al., 2017; Raïch et al., 2019). In a wider sense, just to point some possibilities, there could be other kinds of false color infrared, like those produced by luminescence or transmittance modes, or those hybrid images obtained by combining infrared reflectographic images (IRR) with visible images, or even novel false color image fusion methods (Yu et al., 2014). And, if considering all the possibilities, even thermographic infrared images could be included as false color images, since the color is not representative of real color. Also, it should be noted that there may be important differences among reflected infrared images depending on the filters used, sensitivity of the sensor and method of image processing. This can be appreciated, for example, when observing or comparing the first analog photos obtained with infrared color films with digital ones.

The most common approach for the acquisition of digital false color infrared images involves blending two reflectance images: VIS and IR, mixing their channels. In the IRFC image, the green channel of the VIS image replaces the blue channel, the red channel replaces the green channel, and the IR replaces the red channel (Dyer et al., 2013; Cosentino & Stout, 2014; Cosentino, 2015, 2016; Herrero-Cortell et al., 2018; Raïch et al., 2019). It should be noted that both the type of sensor and the type of infrared filter employed introduce a certain degree of variation in the obtained results, in addition to the post-processing process of the acquired data.

Sin embargo, por lo general, esto solo puede tener un carácter preliminar, y debe verificarse por otros medios, como la espectroscopia FORS o RAMAN.

Existen varios tipos de imágenes infrarrojas en falso color, que suelen obtenerse mezclando imágenes infrarrojas reflejadas (IR) con visibles (VIS) (Dyer *et al.*, 2013; Cosentino y Stout, 2014; Warda *et al.*, 2017; Raïch *et al.*, 2019). En un sentido más amplio, solo por apuntar algunas posibilidades, podría haber otros tipos de falsos colores infrarrojos, como los producidos por luminiscencia o modos de transmitancia, o aquellas imágenes híbridas obtenidas combinando imágenes reflectográficas infrarrojas (IRR) con imágenes visibles, o incluso novedosos métodos de fusión de imágenes de falso color (Yu *et al.*, 2014). Y, si se consideran todas las posibilidades, incluso las imágenes termográficas infrarrojas podrían incluirse como imágenes de falso color, ya que el color no es representativo del color real. Además, hay que tener en cuenta que puede haber diferencias importantes entre las imágenes infrarrojas reflejadas en función de los filtros utilizados, la sensibilidad del sensor y el método de procesamiento de la imagen. Esto puede apreciarse, por ejemplo, al observar o comparar las primeras fotos analógicas obtenidas con películas de infrarrojos en color con las digitales.

El enfoque más común para la adquisición de imágenes infrarrojas digitales en falso color consiste en mezclar dos imágenes de reflectancia: VIS e IR, mezclando sus canales. En la imagen IRFC, el canal verde de la imagen VIS sustituye al canal azul, el canal rojo sustituye al canal verde y el IR sustituye al canal rojo (Dyer *et al.*, 2013; Cosentino y Stout, 2014; Cosentino, 2015, 2016; Herrero-Cortell *et al.*, 2018; Raïch *et al.*, 2019). Cabe señalar que tanto el tipo de sensor como el tipo de filtro infrarrojo empleado introducen un cierto grado de variación en los resultados obtenidos, además del proceso de posprocesamiento de los datos adquiridos.

As mentioned before, the value of this technique lies in the diversity of data it provides. False color images generally allow for discrimination between materials of the same color which may exhibit different spectral behaviors, particularly in the IR band due to their different chemical composition. This affords rich material information regarding both procedural and conservation aspects of the work. For example, this technique, which captures characteristic hues of some materials, is commonly used for preliminary pigment characterization (Cosentino, 2014; Raïch et al., 2019; Keller et al., 2019, p. 216; Herrero-Cortell et al., 2022). Comprehensive studies have been conducted on the documentation of pigments and dyes (Herrero-Cortell et al., 2022).

Different materials are often used for conservation treatments and these materials respond differently to IR and UV from the original materials. Ultraviolet-induced visible luminescence (UVL) imaging is usually the most common technique for visualizing past conservation treatments. Normally UV radiation is not able to penetrate the varnish layer, so UVL would not be able to differentiate past conservation treatments from original materials under layers of varnish. However, IR radiation does penetrate varnish layers, so IRFC has the potential to differentiate past conservation treatments and original material if the materials used are different shown as tonal changes in IRFC images.

Generally speaking, the concurrent application of the IRFC technique with visible imaging facilitates the mapping of materials by contrasting the two sets of resulting images. Additionally, it helps infer the artist's technical approach by revealing specific color sequences.

Como ya se ha mencionado, el valor de esta técnica radica en la diversidad de datos que proporciona. En general, las imágenes en falso color permiten discriminar entre materiales del mismo color que pueden mostrar comportamientos espectrales diferentes, sobre todo en la banda IR, debido a su distinta composición química. Esto proporciona una rica información sobre el material en lo que respecta tanto a los aspectos de procedimiento como de conservación de la obra. Por ejemplo, esta técnica, que capta los matices característicos de algunos materiales, se utiliza habitualmente para la caracterización preliminar de pigmentos (Cosentino, 2014; Raïch *et al.*, 2019; Keller *et al.*, 2019, p. 216; Herrero-Cortell *et al.*, 2022). Se han realizado estudios exhaustivos sobre la documentación de pigmentos y tintes (Herrero-Cortell *et al.*, 2022).

A menudo se utilizan materiales diferentes para los tratamientos de conservación y estos responden a los rayos IR y UV de forma diferente a los materiales originales. Las imágenes de luminiscencia visible inducida por radiación ultravioleta (UVL) suelen ser las más comunes para visualizar tratamientos de conservación pasados. Normalmente, la radiación UV no es capaz de penetrar la capa de barniz, por lo que la UVL no podría evidenciar los tratamientos de conservación pasados, diferenciándolos de los materiales originales bajo las capas de barniz. Sin embargo, la radiación IR sí penetra las capas de barniz, por lo que la IRFC tiene el potencial de diferenciar adiciones pigmentarias diversas al material original si los materiales utilizados son diferentes mostrándose como cambios tonales en las imágenes IRFC.

En general, la aplicación simultánea de la técnica IRFC con la imagen visible facilita la cartografía de los materiales al contrastar los dos conjuntos de imágenes resultantes. Además, ayuda a inferir el enfoque técnico del artista al revelar secuencias de color específicas.

Perhaps one of the most noteworthy aspects of this technique is that it consolidates information about the underdrawings —whether visible in the IR, VIS, or both spectral bands— and the paint layers into a single view, as stated before. Although the color in this composite image may not appear realistic, it facilitates the aforementioned mapping of materials and allows for the study of its correlation with the drawing and/or other underlying changes. This relationship between color and drawing is less perceptible in monochromatic IR images. Conversely, it is possible that the drawing may not be visible in the IR spectrum but may instead be partially discernible to the naked eye. Such is the case in the work *The Posthumous Miracle of Saint Andrew* by Maestro de Perea (Puig & Herrero-Cortell, 2017), where the IRFC enhances the visibility of the drawing (which can be barely observed in the VIS image and not the IR image) (Figure 1).

Although infrared imaging is typically recording reflectance, its application through transmission is also periodically considered (Poldi & Villa, 2006, p. 65; Cardinali et al., 2002, p. 131; Herrero-Cortell et al., 2020, 2021). The primary limitation constraining the feasibility of obtaining transmitted infrared (IRT) images is that the support material must be translucent or allow the passage of radiation as is commonly the case with paintings on canvas. This method is unsuitable for opaque supports such as wooden panels or copper sheets (Vervat et al., 2005). IRT images can be acquired using photographic (CMOS or CCD) and reflectographic (Vidicon or InGaAs) sensors, so called infrared transmittography (IRRT). IRT and IRRT images can disclose the support and its weave, along with stains, strokes, and inlays present. A similar outcome is achieved with transmitted visible light (TL) imaging (Cucci et al., 2012), but in most instances, the IRT image greatly exceeds the informational content that TL can offer. The effectiveness of the technique also depends on the pigments used in the

Quizá uno de los aspectos más destacables de esta técnica es que consolida la información sobre los dibujos subyacentes -ya sean visibles en las bandas espectrales IR, VIS o ambas- y las capas de pintura en una sola vista, como se ha dicho antes. Aunque el color en esta imagen compuesta puede no parecer realista, facilita el mencionado mapeado de materiales y permite estudiar su correlación con el dibujo y/u otros cambios subyacentes. Esta relación entre el color y el dibujo es menos perceptible en las imágenes IR monocromáticas. A la inversa, es posible que el dibujo no sea visible en el espectro IR pero sí parcialmente perceptible a simple vista. Tal es el caso de la obra *El milagro póstumo de San Andrés* del Maestro de Perea (Puig y Herrero-Cortell, 2017), en la que la IRFC realza la visibilidad del dibujo (que apenas puede observarse en la imagen VIS y no en la IR) (Figura 1).

Aunque las imágenes infrarrojas suelen registrar la reflectancia, también se considera en ocasiones su aplicación en transmisión (transirradiación infrarroja). (Poldi y Villa, 2006, p. 65; Cardinali *et al.*, 2002, p. 131; Herrero-Cortell *et al.*, 2020, 2021). La principal limitación que restringe la viabilidad de la obtención de imágenes infrarrojas transmitidas (IRT) es que el material de soporte debe ser translúcido o permitir el paso de la radiación, como suele ocurrir con las pinturas sobre lienzo. Este método es inadecuado para soportes opacos como paneles de madera o láminas de cobre (Vervat *et al.*, 2005). Las imágenes IRT pueden adquirirse utilizando sensores fotográficos (CMOS o CCD) y reflectográficos (Vidicon o InGaAs), lo que se denomina transmitografía infrarroja (IRRT). Las imágenes IRT e IRRT pueden revelar el soporte y su trama, junto con el manchado, el trazado del diseño y cualquier tipo de elemento oculto o cubierto, trazos e incrustaciones presentes. Se consigue un resultado similar con las imágenes de luz visible transmitida (TL) (Cucci *et al.*, 2012), pero en la mayoría de los casos, la imagen IRT supera con creces el contenido informativo que puede ofrecer la TL. La eficacia de la técnica también depende de los pigmentos utilizados en la obra, ya que su

artwork, as their behavior in the visible band and the infrared band through transmission are often markedly different (Herrero-Cortell et al., 2020). As emphasized in other studies, IRT should not supplant IR photography; rather, it complements it by providing material, procedural, and various pieces of evidence about the artwork's state of conservation, all of which necessitate identification and interpretation for a comprehensive study (Herrero-Cortell et al., 2022).

Despite the wealth of information that IRT can potentially provide, it is paradoxically a technique that is still infrequently used and unknown to many. While exploring its capabilities, we realized that it could be used in a manner akin to false color image processing with reflectance images. Thus, over the course of several months, we initiated a series of tests to ascertain the types of results that transmitted infrared false color (IRTFC) imaging could produce.

The main objective of this chapter is to show how IRTFC images can be used to reveal information related to the creation and execution of the painting, as well as information related to the choice of materials (weave and alterations in the support, underdrawings, direct sketches and first staining, brushstrokes, pictorial composition process, changes and *pentimenti*, hidden areas or covered underpaintings, inpainting, etc.).

Materials and Methods

We selected some case studies to apply our methodologies. All of them were paintings, executed with oil on canvas, of different centuries and with different styles. The first one was *Christ carrying the cross* (57,50 × 38,50 cm) by Doménikos Theotokópoulos, 'El Greco' *ca.*1584-1590, a canvas considered to be a '*modellino*' (a sketch of a model to be kept in the artist's workshop and used to repeat the subject in larger

comportamiento en la banda visible y en la banda infrarroja por transmisión suelen ser notablemente diferentes (Herrero-Cortell *et al.*, 2020). Como se subraya en otros estudios, la IRT no debe suplantar a la fotografía IR, sino que la complementa proporcionando pruebas materiales, procedimentales y de diversa índole sobre el estado de conservación de las obras, todas las cuales requieren identificación e interpretación para un estudio exhaustivo (Herrero-Cortell *et al.*, 2022).

A pesar de la gran cantidad de información que la IRT puede proporcionar potencialmente, paradójicamente es una técnica que aún se utiliza con poca frecuencia y que es poco conocida. Mientras explorábamos sus posibilidades, nos dimos cuenta de que podía utilizarse de forma parecida al procesamiento de imágenes en falso color con imágenes de reflectancia. Así, en el transcurso de varios meses, iniciamos una serie de pruebas para determinar los tipos de resultados que podían producir las imágenes de falso color infrarrojo transmitido (IRTFC).

El principal objetivo de este capítulo es mostrar cómo las imágenes IRTFC pueden utilizarse para revelar información relacionada con la creación y ejecución de la pintura, así como la elección de los materiales (trama y alteraciones en el soporte, dibujos subyacentes, bocetos directos, construcción y direccionalidad de las pinceladas, vestigios del proceso de composición pictórica, cambios y *pentimenti*, zonas ocultas, pinturas cubiertas o reutilización de soportes, repintes, etc.).

Materiales y métodos

Seleccionamos algunos casos prácticos para aplicar nuestras metodologías. Todos ellos eran pinturas, realizadas con óleo sobre lienzo, de distintos siglos y con estilos diferentes. El primero fue *Cristo llevando la cruz* (57,50 × 38,50 cm) de Doménikos Theotokópoulos, 'El Greco' *ca.*1584-1590, un lienzo considerado un '*modellino*' (boceto de un modelo que se guarda en el taller del artista

versions). The second case study was Francisco de Goya's *Portrait of Carlos IV* (111,5 × 76,5 cm), a painting dated to 1789-1790, considered the first model of a portrait which Goya executed for the king of Spain. The painting, now in Museo Goya (Zaragoza, Spain), had been studied by the authors' team some years ago with some imaging results previously published (Herrero-Cortell et al., 2018). The third case is *The Entombment of Christ* (100 × 135 cm), a copy in a private collection after Titian's 1572 original (Museo del Prado), probably painted in the 17th century. The fourth case is the *Guardian Angel* (180 × 117 cm) a 19th century copy, by Cabral Bejarano's workshop after Murillo's 1665 original, kept in the Cathedral of Sevilla. The last case is *Le Grand Canal* (56 × 73 cm), a 20th century imitation by a follower (or forger) of Claude Monet, after one of the originals from a larger series of paintings of Venice which Monet undertook during 1908 on his only visit to the city. It's impossible to point precisely which of the known versions is copied in the painting, since it rather looks like a free version, which includes and apocryphal signature.

To obtain the images of the several case studies, we used different cameras, since artworks were studied also in different labs. All of the paintings were documented, at least, with two of our cameras, (depending on the laboratory where the painting was being studied) to check if the results were similar. The first camera was a medium format Sinarback eVolution 75h (with Infrared and Visible Heads, 33 MP, Dalsa FTF 5066 C, CCD sensor RGB Mosaic Filter). This one was used for Goya's and 'El Greco's' paintings and for Murillo and Titian's copies. We also used two different digital "full spectrum" modified cameras (sensitivity between about 360 and 1100nm): a NikonD7200 DSLR (24 MP, CMOS sensor) used also for Goya's, 'El Greco's', and Titian's painting, and a Nikon D800 (36 MP, CMOS) used for Monet's copy. For the Sinarback camera, a Hoya RM100 IR filter and the IR back were used

y se utiliza para repetir el tema en versiones más grandes). El segundo caso de estudio fue el *Retrato de Carlos IV* de Francisco de Goya (111,5 × 76,5 cm), un cuadro fechado entre 1789 y 1790, considerado el primer modelo de retrato que Goya ejecutó para el rey de España. El cuadro, ahora en el Museo Goya (Zaragoza, España), había sido estudiado por el equipo de los autores hace algunos años con algunos resultados de imagen publicados previamente (Herrero-Cortell *et al*., 2018). El tercer caso es *El Entierro de Cristo* (100 × 135 cm), una copia en una colección privada según el original de Tiziano de 1572 (Museo del Prado), probablemente pintado en el siglo XVII. El cuarto caso es el Ángel de la Guarda (180 × 117 cm) una copia del siglo XIX, realizada por el taller de Cabral Bejarano a partir del original de Murillo de 1665, conservado en la Catedral de Sevilla. El último caso es *Le Grand Canal* (56 × 73 cm), una imitación del siglo XX realizada por un seguidor (o imitador) de Claude Monet, a partir de uno de los originales de una serie más amplia de cuadros de Venecia que Monet realizó durante 1908 en su única visita a la ciudad. Es imposible señalar con precisión cuál de las versiones conocidas se copia en el cuadro, ya que más bien parece una versión libre, que incluye una firma apócrifa.

Para obtener las imágenes de los diversos casos de estudio, utilizamos diferentes cámaras, ya que las obras se estudiaban también en diferentes laboratorios. Todos los cuadros se documentaron, al menos, con dos de nuestras cámaras, (dependiendo del laboratorio donde se estudiara el cuadro) para comprobar si los resultados eran similares. La primera cámara fue una Sinarback eVolution 75h de formato medio (con cabezales infrarrojo y visible, 33 MP, Dalsa FTF 5066 C, sensor CCD Filtro de mosaico RGB). Ésta se utilizó para los cuadros de Goya y "El Greco" y para las copias de Murillo y Tiziano. También utilizamos dos cámaras digitales diferentes de "espectro completo" modificado (sensibilidad entre unos 360 y 1100 nm): una NikonD7200 DSLR (24 MP, sensor CMOS) utilizada también para los cuadros de Goya, 'El Greco' y Tiziano, y una Nikon D800 (36 MP, CMOS) utilizada para la copia de Monet. Para la cámara Sinarback, se utilizó un filtro IR

for infrared imaging, while for visible imaging no filter is needed, just the coupling of the VIS back. For the Nikon D7200, the X-Nite CC1 filter was used for visible photography and the Heliopan RG1000 for infrared imaging. For the Nikon D800, a CHSOS *Robertina* 52mm filters set was used. Two halogen lamps (800W) were used for VIS and IR imaging, while just one of those lamps, placed behind the painting with a diffusor screen, was used for transmission techniques. A surface thermometer was used to control overheating. The American Institute of Conservation Photo Documentation (AIC PhD) target was used for exposure and calibration of reflected images. The images were acquired in RAW mode and then white balanced by using the N8 neutral grey patch in the AIC target. Exposure for acquisition of the images was established using the N8 patch and the RGB values of 150 +/-5 units for VIS. The same patch and values were also used for correcting the IR images: 100 +/- 5.[1] False color infrared images, both IRFC and IRTFC, were produced through channel substitution in Adobe Photoshop. The channel substitution image processing included a visible image, either VIS or TL, depending on the resulting image, with an IR or IRT image. Figure 2 provides an illustration for the channel substitution processes for IRFC and IRTFC.

A mock-up experimental panel was used to check the reproducibility of the method. The mock-up was documented with all our cameras, to later compare results. It features 63 pigments used from Antiquity to the 20th Century. They all were bound with rectified linseed oil and were applied on a prepared industrial cotton canvas (100 × 81 cm), primed with a thin gesso (bone glue and calcium

Hoya RM100 y el respaldo IR para las imágenes infrarrojas, mientras que para las imágenes visibles no se necesita ningún filtro, sólo el acoplamiento del respaldo VIS. Para la Nikon D7200, se utilizó el filtro X-Nite CC1 para la fotografía visible y el Heliopan RG1000 para las imágenes infrarrojas. Para la Nikon D800, se utilizó un juego de filtros CHSOS *Robertina* de 52 mm. Para las imágenes VIS e IR se utilizaron dos lámparas halógenas (800W), mientras que para las técnicas de transmisión se utilizó sólo una de esas lámparas, colocada detrás del cuadro con una pantalla difusora. Se utilizó un termómetro de superficie para controlar el sobrecalentamiento. Para la exposición y la calibración de las imágenes reflejadas se utilizó la tarjeta del American Institute of Conservation Photo Documentation (AIC-PhD). Las imágenes se adquirieron en modo RAW y después se equilibraron los blancos utilizando el parche gris neutro N8 de la tarjeta AIC-PhD. La exposición para la adquisición de las imágenes se estableció utilizando el parche N8 y los valores RGB de 150 +/-5 unidades para el VIS. También se utilizaron el mismo parche y los mismos valores para corregir las imágenes IR: 100 +/- 5.[1] Las imágenes infrarrojas en falso color, tanto IRFC como IRTFC, se produjeron mediante sustitución de canales en Adobe Photoshop. El procesamiento de la imagen de sustitución de canales incluyó una imagen visible, VIS o TL, dependiendo de la imagen resultante, con una imagen IR o IRT. La Figura 2 ilustra los procesos de sustitución de canales para IRFC e IRTFC.

Se utilizó una *mock-up* experimental para comprobar la reproducibilidad del método y se documentó con nuestras cámaras, para comparar posteriormente los resultados. Presenta 63 pigmentos utilizados desde la Antigüedad hasta el siglo xx. Todos ellos se aglutinaron con aceite de linaza rectificado y se aplicaron sobre un

[1] For these particular cases, exposure was set relatively low, which was based on the objects. The authors acknowledge the limitations of exposing based on the object. Furthermore, most of the cases were studied some years ago, following Cosentino's recommendations for exposure values (2014, pp. 3-4; 2016, p.3). Aligning with Warda et al. (2017), the authors recommend higher exposure value of 200 +/- 5 for VIS and IR.

[1] Para estos casos concretos, se fijó una exposición relativamente baja, basada en los objetos. Los autores reconocen las limitaciones de la exposición basada en el objeto. Además, la mayoría de los casos se estudiaron hace algunos años, siguiendo las recomendaciones de Cosentino sobre los valores de exposición (2014, pp. 3-4; 2016, p.3). En consonancia con Warda *et al.* (2017), los autores recomiendan un valor de exposición superior de 200 +/- 5 para VIS e IR.

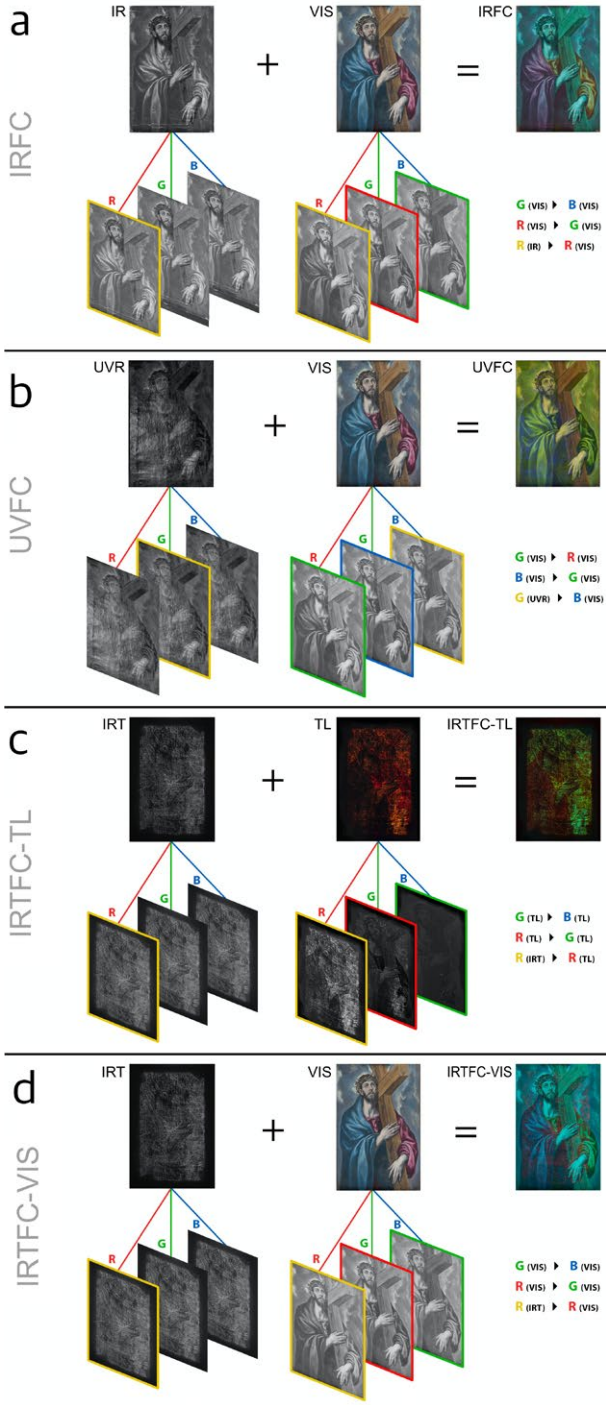


Figure 2 | Diagram illustrating different false color images and channel substitution processes: (a) IRFC, (b) UVFC, (c) IRTFC-TL, and (d) IRTFC-VIS.

Figura 2 | Diagrama que ilustra los diferentes tipos de imágenes en falso color y procesos de sustitución de canales: (a) IRFC, (b) UVFC, (c) IRTFC-TL e (d) IRTFC-VIS.

sulfate, with titanium white). The canvas was chosen because it can be used to apply and test transmission techniques. The area over which each pigment has been applied (8 × 8 cm) has been divided into four stripes, on which up to four layers of paint of each pigment had been applied with a similar estimated thickness (200-300 µm). This facilitates the mock-up to display transparency, opacity, or saturation effects, depending on the properties of each material. The mixture of pigment and oil was estimated in each case, seeking the correct rheological proportions of the paint, since each pigment needs a different amount of binder. In order to assess the ability of these images to reveal a possible underlying drawing, by IR, TL or IRT, different lines with different media and materials, were drawn. Such lines also allowed us to observe the covering capacity of each pigment in the visible range and, comparatively, their behavior in other bands of the spectrum. The sequence of lines was sepia ink, iron gall ink, sanguine, graphite, Conté black pencil, and charcoal. Since the aforementioned mock-up canvas was imaged to record the behavior of each pigment in different bands and by different modes in a previous study, further details about its production and features can be found in Herrero-Cortell et al. (2022). The mock-up canvas was used to test the various methods that could be employed for processing IRTFC images (Figure 2) by recording both reflected and transmitted imaging modes that cover pigment responses across both visible and infrared bands (Figure 3).

At a first glance, the most logical approach for creating a transmitted false color infrared (IRTFC) would have involved using a transmitted visible light image (TL) together with an IRT image, to prevent the mixing of physical phenomena (if VIS was blended with IR to get IRFC, then TL should be blended with IRT). We called this IRTFC-TL (Figure 2, c). Several tests conducted on different paintings to

lienzo de algodón industrial preparado (100 × 81 cm), imprimado con un fino gesso (cola de hueso y sulfato de calcio, con blanco de titanio). Se eligió el lienzo porque puede utilizarse para aplicar y probar técnicas de transmisión. La superficie sobre la que se ha aplicado cada pigmento (8 × 8 cm) se ha dividido en cuatro franjas, sobre las que se habían aplicado hasta cuatro capas de pintura de cada pigmento con un grosor estimado similar (200-300 µm). Esto facilita que las probetas evidencien sus efectos de transparencia, opacidad o saturación, dependiendo de las propiedades de cada material. La mezcla de pigmento y aceite se estimó en cada caso, buscando las proporciones reológicas correctas de la pintura, ya que cada pigmento necesita una cantidad diferente de aglutinante. Con el fin de evaluar la capacidad de estas imágenes para revelar un posible dibujo subyacente, mediante IR, TL o IRT, se trazaron diferentes líneas con distintos soportes y materiales. Dichas líneas también nos permitieron observar la capacidad de cobertura de cada pigmento en el rango visible y, comparativamente, su comportamiento en otras bandas del espectro. La secuencia de trazos fue tinta sepia, tinta ferrogálica, sanguina, grafito, lápiz negro Conté y carboncillo. Dado que el lienzo *mock-up* antes mencionado se fotografió para registrar el comportamiento de cada pigmento en diferentes bandas y por diferentes modos en un estudio anterior, se pueden encontrar más detalles sobre su producción y características en Herrero-Cortell *et al.* (2022). El lienzo *mock-up* se utilizó para probar los distintos métodos que podrían emplearse para procesar las imágenes IRTFC (Figura 2) mediante el registro de los modos de imagen reflejada y transmitida que abarcan las respuestas de los pigmentos en las bandas visible e infrarroja (Figura 3).

A primera vista, el enfoque más lógico para crear un falso color infrarrojo transmitido (IRTFC) habría consistido en utilizar una imagen de luz visible transmitida (TL) junto con una imagen IRT, para evitar la mezcla de fenómenos físicos (si el VIS se mezcló con el IR para obtener el IRFC, entonces el TL debería mezclarse con el IRT). Llamamos a esto IRTFC-TL (Figura 2, c). Varias pruebas

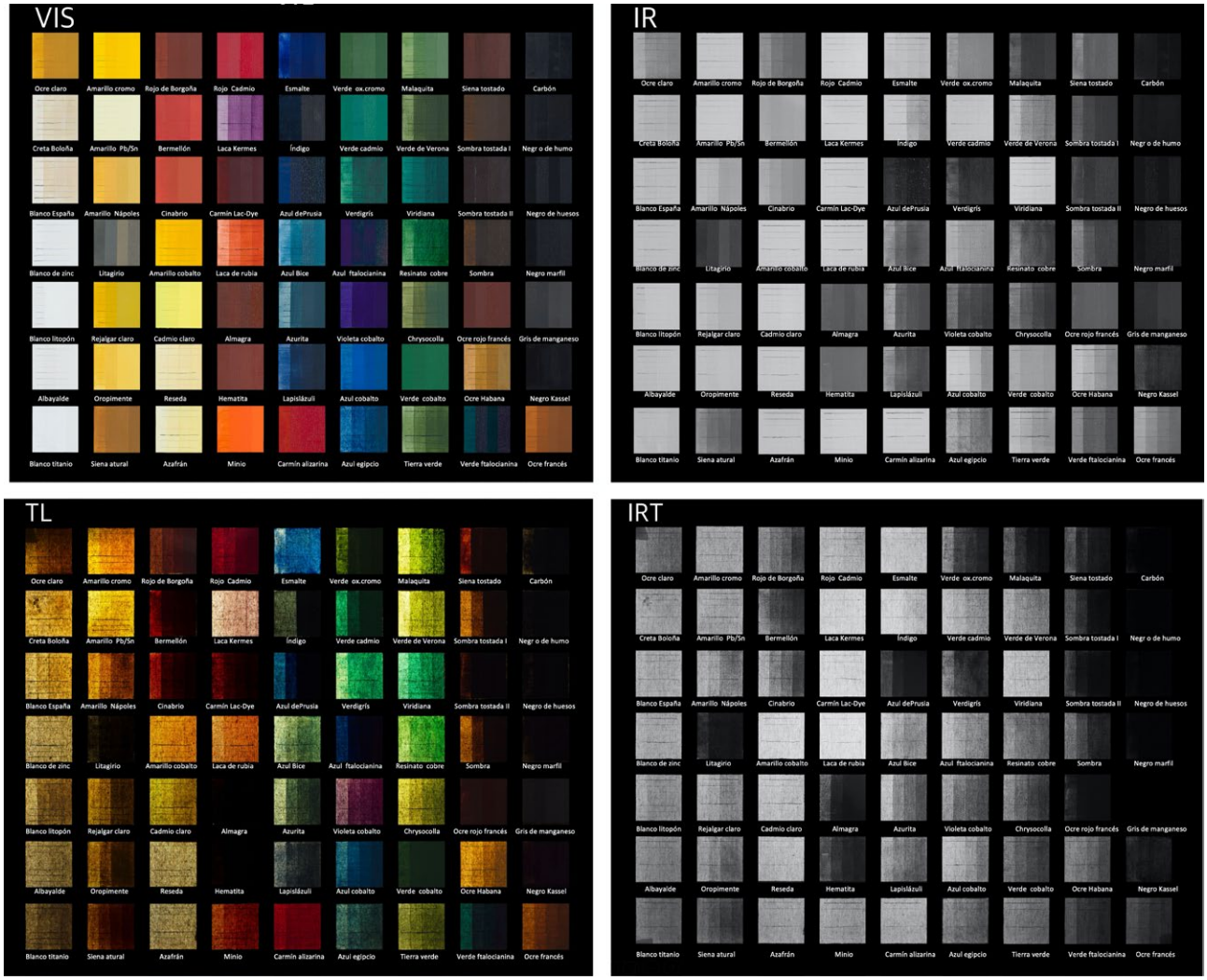


Figure 3 | Comparison of imaging results, both reflectance and transmittance, of the mock-up panel containing 63 pigments (100 × 81 cm). Top row: VIS and IR images. Bottom row: TL and IRT images. Images: authors.

Figura 3 | Comparación de los resultados de la obtención de imágenes, tanto de reflectancia como de transmitancia, del panel de prueba que contiene 63 pigmentos (100 × 81 cm). Fila superior: imágenes VIS e IR. Fila inferior: imágenes TL e IRT. Imágenes: autores.

obtain IRTFC-TL yielded results that were not particularly informative in real paintings. The underlying reason is straightforward: TL is a technique rife with limitations for most cases. It often serves merely to display backlit stains, offering very scarce

realizadas en diferentes cuadros para obtener IRTFC-TL arrojaron resultados que no eran especialmente informativos en cuadros reales. La razón subyacente es sencilla: la TL es una técnica plagada de limitaciones para la mayoría de los casos. A menudo sirve simplemente para

information. However, it can clearly indicate areas without paint, material losses, holes or flaking, since light is able to pass through them. On thin supports, or those which are translucent and highly permeable to light, the results were far more revealing, as will be discussed later.

A secondary approach to IRTFC was to combine both reflection and transmission phenomena, which, a priori, may seem inappropriate or impractical. Here, we came at the realization that any false color image is, by its nature, a composite image designed to facilitate the extraction of interpretative data. Consequently, we found it effective to generate the IRTFC image by using IRT and VIS images (which we called IRTFC-VIS) (Figure 2, d). This time, results were highly informative.

Results and Discussion

As stated, the mock-up canvas with the 63 pigments was recorded with all of our cameras. Since artworks were not going to be moved from our labs, we had decided, as it has already explained, to document them with at least two of the three cameras. Results with our three cameras, both for the canvas fabric-up as for the case studies were close among different cameras. By visually comparing them, no difference could be pointed as significant, beyond a slightly diverse hue achieved by the color of each sensor (very difficult to notice if results were not closely displayed). More important, instead, was the different resolution of images obtained by the different cameras, which served to better observe details in a sharper way.

Both IRTFC-TL and IRTFC-VIS were satisfactorily achieved through the described methods, although for the most of cases only IRTFC-VIS was particularly useful. Since the mock-up canvas

mostrar manchas a contraluz, ofreciendo una información muy escasa. Sin embargo, puede indicar claramente zonas sin pintura, pérdidas de material, agujeros o desconchados, ya que la luz es capaz de atravesarlas. En soportes finos, o translúcidos y muy permeables a la luz, los resultados fueron mucho más reveladores, como se comentará más adelante.

Un enfoque secundario de la IRTFC consistió en combinar los fenómenos de reflexión y transmisión, lo que, a priori, puede parecer inadecuado o poco práctico. En este caso, llegamos a la conclusión de que cualquier imagen en falso color es, por su naturaleza, una imagen compuesta diseñada para facilitar la extracción de datos interpretativos. En consecuencia, nos pareció eficaz generar la imagen IRTFC utilizando imágenes IRT y VIS (que denominamos IRTFC-VIS) (Figura 2, d). En esta ocasión, los resultados fueron muy interesantes.

Resultados y discusión

Como ya se ha dicho, el lienzo *mock-up* con los 63 pigmentos se registró con todas nuestras cámaras. Dado que las obras no se iban a mover de nuestros laboratorios, habíamos decidido, como ya se ha explicado, documentarlas con al menos dos de las tres cámaras. Los resultados con nuestras tres cámaras, tanto para el lienzo de tela como para los casos de estudio, fueron parecidos entre las distintas cámaras. Al compararlos visualmente, no se pudo señalar ninguna diferencia como significativa, más allá de un matiz ligeramente distinto conseguido por el color de cada sensor (muy difícil de notar si no se confrontan con mucha atención los resultados). Más importante, en cambio, fue la diferente resolución de las imágenes obtenidas por las distintas cámaras, que sirvió para observar mejor los detalles de forma más nítida.

Tanto la IRTFC-TL como la IRTFC-VIS se obtuvieron satisfactoriamente mediante los métodos descritos, aunque en la mayoría de los casos sólo la IRTFC-VIS resultó

features a thin and translucent fabric, it enabled us to obtain a high-quality transmitted visible (TL) image through transillumination. This, in turn, facilitated the generation of an IRTFC-TL (Figure 4). Certainly, the IRTFC-TL image demonstrates how intriguing these images can be, as they combine the luminous behavior of the visible spectrum through transmission with the transmitted infrared, thereby generating a type of false color that presents ample opportunities for further research. As can be observed in Figure 4, this kind of image is able to show the underdrawings as well as the mesh of the canvas, in addition to the variations on the thickness of the paint layer (at least in those pigments which allow a differentiation of opacity, depending on the thickness of the paint layer). Finally, it shows a different pigment behavior (in terms of color response and appearance) as with IRFC images, which allows a certain differentiation. However, since color can change drastically between a reflection and a transmission mode, this cannot be easily compared with the IRFC results.

It's necessary to consider that historical canvases can be rougher, thicker, and consequently less translucent than the mock-up materials. Hence, factors such as the type of fabric, its thickness, and its appearance can influence the final hybrid image. Furthermore, many times paintings can include relining on the back, considerably reducing the possible information which can be recorded by a TL image. Hence, although this technique may not provide overly decisive information, it does serve well to enrich the conclusions that may be drawn from a multiband study.

When the primer covering the canvas is not white, the feasibility of performing TL can be severely restricted. This is the case, for example, with paintings that have grayish grounds (due to the addition of a small proportion of black pigment), or those

especialmente útil. Dado que el lienzo del *mock-up* presenta un tejido fino y translúcido, nos permitió obtener una imagen visible transmitida (TL) de alta calidad mediante transiluminación. Esto, a su vez, facilitó la generación de una IRTFC-TL (Figura 4). Ciertamente, la imagen IRTFC-TL demuestra lo intrigantes que pueden llegar a ser estas imágenes, ya que combinan el comportamiento luminoso del espectro visible por transmisión con el infrarrojo transmitido, generando así un tipo de falso color que presenta amplias oportunidades para futuras investigaciones. Como puede observarse en la Figura 4, este tipo de imagen es capaz de mostrar tanto los dibujos subyacentes como la trama del lienzo, además de hacer visibles las variaciones en el grosor de la aplicación (al menos en aquellos pigmentos que permiten una diferenciación de la opacidad, en función del grosor de la capa de pintura). Por último, muestra un comportamiento de los pigmentos diferente (en términos de respuesta del color y apariencia) al de las imágenes IRFC, lo que permite una cierta diferenciación. Sin embargo, dado que la apariencia cromática puede cambiar drásticamente entre un modo de reflexión y uno de transmisión, esto no puede compararse fácilmente con los resultados IRFC.

Hay que tener en cuenta que las telas históricas pueden ser más ásperas, gruesas y, en consecuencia, menos translúcidas que los materiales del *mock-up*. Por lo tanto, factores como el tipo de tela, su grosor y su aspecto pueden influir en la imagen híbrida final. Además, muchas veces las pinturas pueden incluir reentelados en el reverso, lo que reduce considerablemente la posible información que puede registrar una imagen TL. Por lo tanto, aunque esta técnica no proporcione información demasiado decisiva, sí sirve para enriquecer las conclusiones que pueden extraerse de un estudio multibanda.

Cuando la imprimación que cubre el lienzo no es blanca, la posibilidad de realizar TL puede verse muy limitada. Este es el caso, por ejemplo, de las pinturas que tienen fondos grisáceos (debido a la adición de una cierta

Figure 4 | Comparison of the false color processing of the imaging of the mock-up panel with a VIS image as a reference. Top row: VIS and IRTFC-TL, Bottom row: IRFC and IRTFC-VIS. Images: authors.

Figura 4 | Comparación del procesamiento en falso color de la imagen del panel de prueba con una imagen VIS como referencia. Fila superior: VIS e IRTFC-TL. Fila inferior: IRFC e IRTFC-VIS. Imágenes: autores.

hematite-based (like yellow and red ochres, green-earth pigments, burnt sienna, natural umber, or burnt umber). In all these instances, TL proves to be a largely ineffective technique that, at best, serves to reveal points where the fabric is not covered by paint, where there are losses in the pictorial layer, or alternatively,

proporción de pigmento negro), o aquellas a base de hematites (como los ocres amarillos y rojos, los pigmentos de tierra verde, la siena quemada, el ámbar natural o el ámbar quemado). En todos estos casos, el TL resulta ser una técnica poco eficaz que, en el mejor de los casos, sirve para revelar los puntos en los que el tejido no está

where the ground is thinner. This is due to the fact that all those aforementioned colored grounds tend to create a strong backlight, totally blocking transmitted light. For instance, while the technique of TL alone is of limited utility for most canvases from the European schools between the mid-16th and mid-18th centuries, IRT proves to be highly useful (Herrero-Cortell et al., 2021). Instead, TL can be much more useful applied to paintings dating from the late 19th century and beyond, when industrial canvases were incorporated, but also IRT is of great usefulness for those modern cases.

Many times, the color response in IRTFC-VIS can be closer to that in standard IRFC. Although some colors and hues may exhibit slight variations when comparing IRFC and IRTFC results, overall appearance can be quite similar. Nevertheless, a closer look may reveal different information, offering complementary information, as can be appreciated in 'El Greco's' *Christ Carrying the Cross* (Figure 5). For example, in the IRFC image of the painting, reddish glazes are displayed over the purple-blueish mantle of Christ, suggesting the use of a rather transparent blue pigment like smalt or ultramarine in a glazing over a base of what seems like azurite. Instead, the hue of the mantel in the IRTFC image just provides general purplish-blue hue for that mantle, as it also happens in other parts, like the cloak, with a dark yellow hue. Elements like flesh, the cross, or the clouds in the bottom have a very similar appearance in both techniques. While IRFC makes evident some inpainting with the shape of horizontal cracks along the bottom of the painting, these are less visible in IRTFC. Instead, in the IRTFC-VIS, the mesh of the canvas can be observed where the paint layer is thinner. For the same artwork, TL and IRT were quite less informative, generating an IRTFC-TL which provided also less information although they all showed some pathologies, especially points were the ground was weaker (Figure 6). IRTFC-TL helped

cubierto por la pintura, en los que hay pérdidas en la capa pictórica o, alternativamente, en los que la preparación es más fina. Esto se debe al hecho de que todas las preparaciones de dichos colores tienden a crear un fuerte contraluz, bloqueando totalmente la luz transmitida. Por ejemplo, mientras que la técnica de la TL por sí sola tiene una utilidad limitada para la mayoría de los lienzos de las escuelas europeas entre mediados del siglo XVI y mediados del XVIII, la IRT resulta muy útil (Herrero-Cortell *et al.*, 2021). En cambio, la TL puede ser mucho más útil aplicada a pinturas de finales de los siglos XIX y XX, cuando se incorporaron los lienzos industriales, pero también la IRT es de gran utilidad para esos casos modernos.

Muchas veces, la respuesta del color en la IRTFC-VIS puede ser más parecida a la de la IRFC estándar. Aunque algunos colores y matices pueden mostrar ligeras variaciones al comparar los resultados de la IRFC y la IRTFC, el aspecto general puede ser bastante similar. No obstante, una mirada más atenta puede revelar información diferente, ofreciendo información complementaria, como puede apreciarse en el *Cristo cargando la cruz* de 'El Greco' (Figura 5). Por ejemplo, en la imagen IRFC de la obra, se aprecian veladuras rojizas sobre el manto púrpura-azulado de Cristo, lo que sugiere el uso de un pigmento azul bastante transparente como el esmalte o el ultramar en una veladura sobre una base de lo que parece azurita. En cambio, el matiz del manto en la imagen del IRTFC sólo proporciona una respuesta tonal de color azul violáceo, como también ocurre en otras partes, como la túnica, con un matiz amarillo oscuro. Elementos como la piel, la cruz o las nubes del fondo tienen un aspecto muy similar en ambas técnicas. Mientras que la IRFC hace evidentes algunos repintes en forma de grietas horizontales a lo largo de la parte inferior del cuadro, éstos son menos visibles en la IRTFC. En cambio, en la IRTFC-VIS se puede observar la trama del lienzo donde la capa de pintura es más fina. Para la misma obra, la TL y la IRT fueron bastante menos útiles, generando una IRTFC-TL que también proporcionó menos información, aunque todas mostraron algunas patologías, especialmente los puntos donde la

Figure 5 | Doménikos Theotokópoulos, 'El Greco', *Christ Carrying the Cross*, circa 1585-1590, 57,50×38,50 cm, oil on canvas, private collection. From left to right: VIS, IRFC, IRTFC-VIS. Images: CAEM (UdL).

Figura 5 | Doménikos Theotokópoulos, «El Greco», *Cristo cargando la cruz*, circa 1585-1590, 57,50×38,50 cm, óleo sobre lienzo, colección privada. De izquierda a derecha: VIS, IRFC, IRTFC-VIS. Imágenes: CAEM (UdL).

with a preliminary hypothesis for pigment distribution by comparing the results of the IRFC and IRTFC-VIS images in addition to comparisons with the mock-up results.

To illustrate this phenomenon, a good example could also be Francisco de Goya's *Portrait of Carlos IV* (Figure 7). For this painting, TL didn't offer any noticeable results, due to the high content of hematite in the primer layer as iron-based pigments can be opaque in this technique (Herrero-Cortell et al., 2020). Instead, infrared radiation can pass through it, so an IRT image could be obtained. Previous studies of the painting have identified the utility of the IRFC image (Herrero-Cortell et al., 2018, p. 9). Additional

preparación era más débil (Figura 6). El IRTFC-TL ayudó a formular una hipótesis preliminar sobre la distribución del pigmento comparando los resultados de las imágenes IRFC e IRTFC-VIS, además de las comparaciones con los resultados del *mock-up*.

Para ilustrar este fenómeno, un buen ejemplo podría ser también el *Retrato de Carlos IV* de Francisco de Goya (Figura 7). Para esta pintura, la TL no ofreció resultados apreciables, debido al alto contenido de hematites en la capa de imprimación, ya que los pigmentos a base de hierro pueden ser opacos en esta técnica (Herrero-Cortell *et al.*, 2020). En cambio, la radiación infrarroja puede atravesarlos, por lo que podría obtenerse una imagen IRT. Estudios anteriores de la pintura han identificado la utilidad de la imagen IRFC (Herrero-Cortell

Figure 6 | Doménikos Theotokópoulos, 'El Greco', *Christ Carrying the Cross*, circa 1585-1590, 57,5×38,5 cm, oil on canvas, private collection. From left to right, and up to down: VIS, TL, IRT, IRTFC-TL. Images: CAEM (UdL).

Figura 6 | Doménikos Theotokópoulos, «El Greco», *Cristo cargando la cruz*, circa 1585-1590, 57,5×38,5 cm, óleo sobre lienzo, colección privada. De izquierda a derecha y de arriba abajo: VIS, TL, IRT, IRTFC-TL. Imágenes: CAEM (UdL).

Figure 7 | Francisco de Goya, *Portrait of Carlos IV*, 1789, 111,5 × 76,5 cm, oil on canvas, private collection. From left to right, and up to down: IRFC, IRTFC-VIS, VIS, IRTFC-VIS; with the changes highlighted in yellow. Images: CAEM (UdL).

Figura 7 | Francisco de Goya, *Retrato de Carlos IV*, 1789, 111,5 × 76,5 cm, óleo sobre lienzo, colección privada. De izquierda a derecha y de arriba abajo: IRFC, IRTFC-VIS, VIS, IRTFC-VIS; con los cambios resaltados en amarillo. Imágenes: CAEM (UdL).

analysis (Raman and SEM were carried out) to complement the mapping from the IRFC, so it was then possible to link their chromatic response with their identification (Herrero-Cortell et al., 2018). As it could be seen in the IRFC image, there was a hidden sash under the red one, a Prussian blue sash (as it was confirmed by SEM-EDX in cross section of a sample of that area). Behind the yellowish glow of vermilion in IRFC, the Prussian blue (which also remains dark blue in IRFC) could be identified. By doing IRTFC-VIS, not only was this hidden sash more visible, but also other '*pentimenti*', were more noticeable too. IRTFC-VIS enhanced how the drawing of the coat's decoration had changed its position and inclination. In addition to the repositioning of the left side of the garment's embroidered borders, the technique showed a repositioning of the sashes. Some corrections, or small *pentimenti*, were also noticeable: changes over the neck, left arm, shoulder, and finally over the right arm sleeve. It seems like the whole jacket was re-positioned, which caused, in turn, the shifting of the circular stud patterns, creating therefore a new design, as it can be properly observed in the reconstruction in yellow (Figure 7). These observations suggest that the artist initially depicted the figure with a more dramatically arched right arm and a more expansively open coat, situating the right hand nearer to the waist. Concurrently, when juxtaposing the IRFC and IRTFC-VIS images, it becomes evident that the latter is more efficacious in revealing these alterations. Additionally, segments rendered in red —where the canvas has been treated solely with a translucent glaze, devoid of impasto— are observable, as are sections where the primer is deliberately left exposed by the artist.

This methodology proves particularly advantageous when the IRT, by its inherent characteristics, furnishes scant or ambiguous information, or when its legibility is compromised by the grayscale rendition of the image procured through infrared

et al., 2018, p. 9). Se llevaron a cabo análisis adicionales (Raman y SEM) para complementar el mapeo pigmentario a partir de la IRFC, por lo que entonces fue posible vincular su respuesta cromática con su identificación (Herrero-Cortell *et al.*, 2018). Como se pudo observar en la imagen del IRFC, había una banda oculta bajo la roja, de color azul de Prusia (como se confirmó por SEM-EDX una estratrigrafía, obtenida de una muestra transversal de esa zona). Bajo la respuesta amarillenta del bermellón en IRFC, podía identificarse el azul de Prusia (que también permanece azul oscuro en IRFC). Al elaborar la imagen IRTFC-VIS, no sólo era más visible esta banda oculta, sino que también eran más perceptibles otros "*pentimenti*". El IRTFC-VIS evidenció cómo el dibujo de la decoración de la casaca había cambiado su posición e inclinación. Además del desplazamiento del lado izquierdo de los bordes bordados de la prenda, la técnica mostró un reposicionamiento de las bandas condecorativas. También se apreciaban algunas correcciones, o pequeños cambios sobre el cuello, el brazo izquierdo, el hombro y, finalmente, sobre la manga del brazo derecho. Parece que toda la chaqueta fue recolocada, lo que provocó, a su vez, el desplazamiento de los patrones circulares de tachuelas, creando así un nuevo diseño, como puede observarse correctamente en la reconstrucción en amarillo (Figura 7). Estas observaciones sugieren que el artista representó inicialmente la figura con un brazo derecho más arqueado y la casaca más abierta, situando la mano derecha más cerca de la cintura. Al mismo tiempo, al yuxtaponer las imágenes IRFC e IRTFC-VIS, se hace evidente que esta última es más eficaz a la hora de revelar estas alteraciones . Además, se observan áreas en rojo -donde el lienzo ha sido cubierto solamente por un liviano estrato traslúcido, desprovisto de empaste-, así como secciones donde la imprimación ha sido dejada deliberadamente al descubierto por el artista.

Esta metodología resulta especialmente ventajosa cuando la IRT, por sus características inherentes, proporciona información escasa o ambigua, o cuando su legibilidad se ve comprometida por la escala de grises de la imagen obtenida mediante transirradiación infrarroja.

Figure 8 | Acolyte of Titian, *The Holy Entombment*, ca. post-1557 (probably 17th century), 100 × 135 cm, private collection. From left to right, and up to down: VIS, IRFC, IRT, IRTFC-VIS. Images: CAEM (UdL).

Figura 8 | Acólito de Tiziano, *El entierro de Cristo*, ca. post-1557 (probablemente siglo XVII), 100 × 135 cm, colección privada. De izquierda a derecha y de arriba abajo: VIS, IRFC, IRT, IRTFC-VIS. Imágenes: CAEM (UdL).

trans-irradiation. This is exemplified in the replica of *The Holy Entombment*, attributed to an acolyte of Titian (Figure 8). In such an image, the shape and

Esto queda ejemplificado en la copia de *El Santo Entierro*, atribuida a un seguidor de Tiziano (Figura 8). En una imagen de este tipo, la forma y las siluetas de las figuras

silhouettes of the figures get totally lost. Thus, in IRT, only patches of grayscale hues can be observed, making it difficult to even recognize the composition. Upon constructing the IRTFC-VIS image, colorful shapes make the composition and tracings visible, putting together the chromatic information of color staining with the rest of information, shown by IRT. Within this false color depiction, areas of shadow and darkness —where the preparatory layer is scarcely veiled by a tenuous glaze— manifest in a vivid, intense red hue. No evidence of impasto or overlaid color strata are apparent in these regions; it is rather suggested that the hue of the primer or the ground has been subtly nuanced by a minimally applied layer of pigment. Hence, contrary to what happens in the IRT image, it can be deduced that IRTFC-VIS facilitates the differentiation between lighter zones in the IRT image (those through which significant radiation has demonstrably traversed) and simply white areas, for example.

In this context, IRTFC-VIS emerges as a particularly valuable tool for the analysis of paintings featuring dark primers, a common characteristic of the Baroque period. During this time, the use of earth pigments in primers was widespread. These types of artworks often preclude successful transmitted light imaging, due to the light-blocking properties of the earth pigments when examined in transmission. However, they are conducive to the substantial transmission of infrared radiation. Trans-irradiation techniques frequently reveal features that are less discernible through other methods. This is exemplified in the *Guardian Angel*, an artwork attributed to a follower of Murillo (Figure 9). In certain portions of this piece, such as the fabric flowing behind the angel's left wing, the details are scarcely perceptible in both VIS and IR, yet they are readily discernable in IRT and IRTFC-VIS images. Concurrently, it is worth noting —as previously discussed— that the angel's robe manifests as an indistinct mass in the IRT

se pierden totalmente. Así, en la IRT sólo se observan manchas de tonos grises, lo que dificulta incluso el reconocimiento de la composición. Al construir la imagen IRTFC-VIS, las formas coloreadas hacen visibles la composición y los trazos, aunando la información cromática con el resto de información, mostrada por la IRT. Dentro de esta representación en falso color, las zonas de sombra y oscuridad -donde la capa preparatoria está apenas cubierta por una tenue veladura- se manifiestan en un tono rojo vivo e intenso. En estas regiones no se aprecian indicios de empastes ni de estratos de color superpuestos; más bien se sugiere que el tono de la imprimación o del fondo ha sido sutilmente matizado por una capa de pigmento mínimamente aplicada. Por tanto, contrariamente a lo que ocurre en la imagen IRT, puede deducirse que la IRTFC-VIS facilita la diferenciación entre las zonas más claras de la imagen IRT (aquellas por las que existe un paso de radiación significativa) y las zonas simplemente blancas, por ejemplo.

En este contexto, el IRTFC-VIS emerge como una herramienta especialmente valiosa para el análisis de pinturas que presentan imprimaciones oscuras, una característica común del periodo barroco. Durante esta época, el uso de pigmentos de tierra en las imprimaciones estaba muy extendido. Este tipo de obras a menudo impiden la obtención satisfactoria de imágenes con luz transmitida, debido a las propiedades de bloqueo de la luz de los pigmentos de tierra cuando se examinan en transmisión. Sin embargo, favorecen la transmisión sustancial de la radiación infrarroja. Las técnicas de trans-irradiación revelan con frecuencia características que son menos discernibles mediante otros métodos. Esto se ejemplifica en el *Ángel de la Guarda*, una obra atribuida a un seguidor de Murillo (Figura 9). En ciertas partes de esta pieza, como la tela que fluye detrás del ala izquierda del ángel, los detalles son apenas perceptibles tanto en VIS como en IR, pero son fácilmente discernibles en las imágenes IRT e IRTFC-VIS. Al mismo tiempo, cabe señalar -como ya se ha comentado- que la túnica del ángel se manifiesta como una masa indistinta en la imagen IRT, lo que complica la diferenciación

Figure 9 | Copyist of Murillo (Cabral Bejarano workshop), *Guardian Angel*, ca. 1870-1879, 180 × 117 cm, oil on canvas, private collection. From left to right, and up to down: IRTFC-VIS; VIS, IR, IRFC, IRT. Images CAEM (UdL).

Figura 9 | Copista de Murillo (taller de Cabral Bejarano), *Ángel de la Guarda*, ca. 1870-1879, 180 × 117 cm, óleo sobre lienzo, colección privada. De izquierda a derecha y de arriba abajo: IRTFC-VIS; VIS, IR, IRFC, IRT. Imágenes CAEM (UdL).

image, thereby complicating the differentiation of anatomical features, folds, and drapery. In this case, the limitations in the legibility of the IRT image are substantially mitigated by IRTFC-VIS. For instance, it becomes evident that the brighter regions in the IRT image could either result from thinner paint layers or more IR transmissive materials, or either,

de los rasgos anatómicos, los pliegues y los drapeados. En este caso, las limitaciones en la legibilidad de la imagen IRT se ven sustancialmente atenuadas por la IRTFC-VIS. Por ejemplo, se hace evidente que las regiones más brillantes de la imagen IRT podrían deberse a capas de pintura más finas o a materiales más transmisivos al IR, o bien, a partes pintadas con un color más claro. Al generar la imagen

parts painted with a brighter color. Upon generating the IRTFC-VIS image, areas of light-colored paint maintain their hue, while regions experiencing a high degree of radiation transmission become strikingly red, thereby underscoring zones where the primer is only minimally veiled by a subtle layer of mostly dark paint.

Lastly, IRTFC-VIS images are particularly intriguing in instances where underlying paintings differ starkly from those visible on the surface, a quite normal situation, when recycling canvases. An example is the painting *Le Grand Canal* (Figure 10). While the IR does not reveal any underlying details, the IRT reveals traces of the underlying image, revealing it to be a maritime scene from the middle 20th century (painted with spatula, a very typical procedures in the '50's and '60's. Therefore, given that the IRT and IR images present as two wholly distinct and unrelated images, IRTFC-VIS enables the simultaneous observation of the IRT and VIS layers, something that would otherwise be unachievable. Additionally, it offers a framework for correlating the visible surface coloration with the underlying constructions of the seashore with rock.

Conclusions

This chapter investigates the diagnostic potential of new false color image processing using both transmitted and reflected infrared imaging in painting analysis, juxtaposing these techniques with traditional infrared methods. Case studies of works by 'El Greco', Goya, and others highlight the effectiveness of the method, shedding light on their creative processes, material use, and issues such as fabric weave, hidden underdrawings, changes in the composition, or pentimenti. They also tend to shed light on some conservation issues like areas where the

IRTFC-VIS, las zonas de pintura de color claro mantienen su tonalidad, mientras que las regiones que experimentan un alto grado de transmisión de la radiación se vuelven llamativamente rojas, subrayando así las zonas en las que la imprimación sólo está mínimamente velada por una sutil capa de pintura mayoritariamente oscura.

Por último, las imágenes IRTFC-VIS resultan especialmente intrigantes en los casos en los que las pinturas subyacentes difieren notablemente de las visibles en la superficie, una situación bastante normal en lienzos reutilizados. Un ejemplo es el cuadro *Le Grand Canal* (Figura 10). Mientras que el IR no revela ningún detalle de la composición subyacente, la IRT revela rastros de la imagen inferior, revelando que se trata de una escena marítima de mediados del siglo xx (pintada con espátula, un procedimiento muy típico en los años 50 y 60). Por lo tanto, dado que las imágenes IRT e IR se presentan como dos imágenes totalmente distintas y no relacionadas, IRTFC-VIS permite la observación simultánea de las capas IRT y VIS, algo que de otro modo sería inalcanzable. Además, ofrece un marco para correlacionar la coloración visible de la superficie con las construcciones subyacentes de la orilla del mar con roca.

Conclusiones

Este capítulo investiga el potencial diagnóstico del nuevo procesamiento de imágenes en falso color mediante infrarrojos transmitidos y reflejados en el análisis de pinturas, yuxtaponiendo estas técnicas a los métodos tradicionales de obtención de imágenes infrarrojas. Los casos de estudio de obras de "El Greco", Goya y otros ponen de relieve la eficacia del método, arrojando luz sobre sus procesos creativos, el uso de materiales y cuestiones como la trama de las telas, los dibujos ocultos bajo las mismas, los cambios en la composición o los *pentimenti*. También suelen arrojar luz sobre algunos problemas de conservación como las zonas en las que la capa pictórica

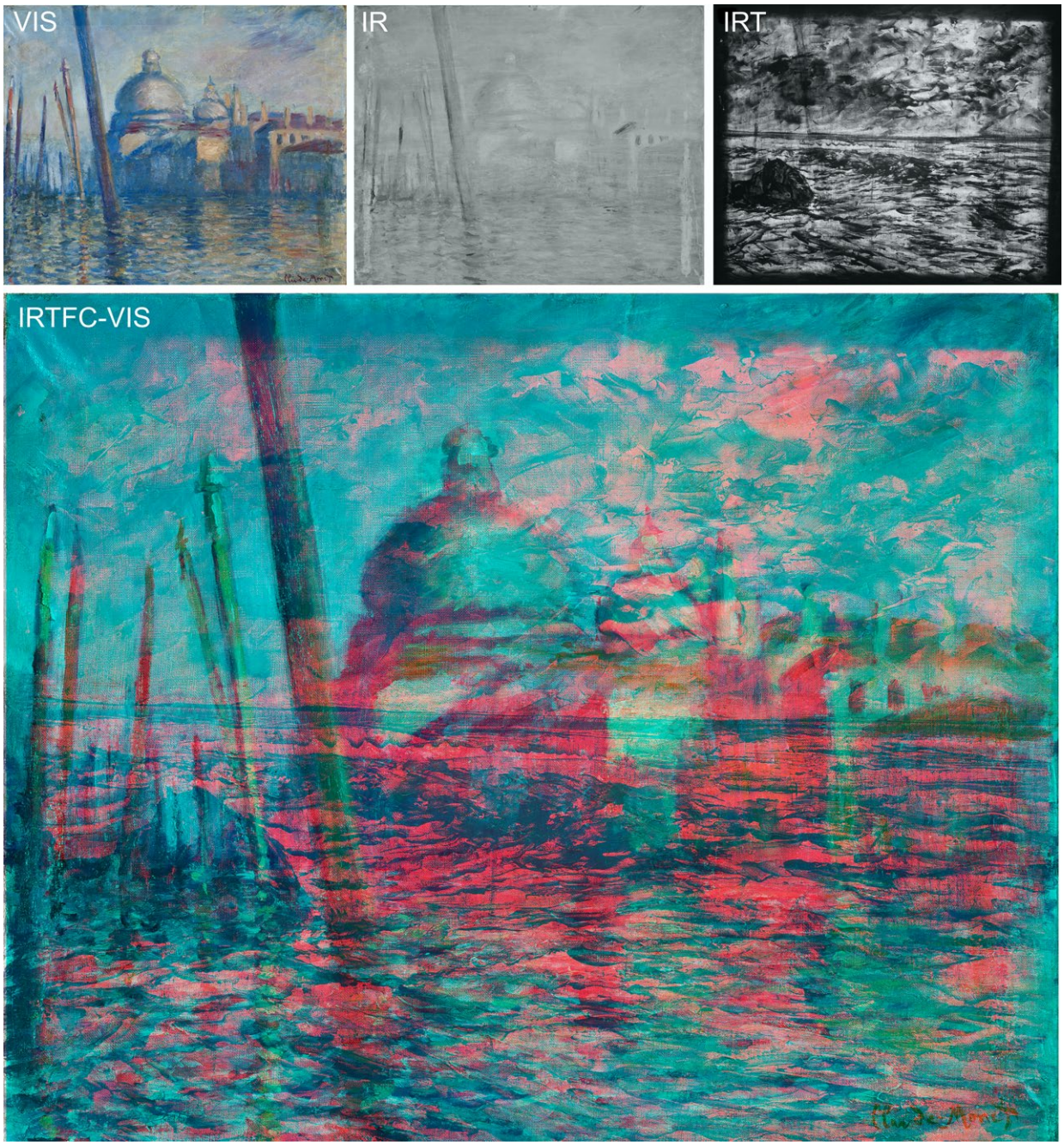


Figure 10 | Copy or imitation of a follower of Claude Monet, *Le Grand Canal*, second half of the 20th century, 56 × 73 cm, oil on canvas, private collection. From left to right, and up to down: VIS, IR, IRT, IRTFC-VIS IRT. Images: authors.

Figura 10 | Copia o imitación de un seguidor de Claude Monet, *Le Grand Canal*, segunda mitad del siglo xx, 56 × 73 cm, óleo sobre lienzo, colección privada. De izquierda a derecha y de arriba abajo: VIS, IR, IRT, IRTFC-VIS IRT. Imágenes: autores.

pictorial layer is weaker or thinner, delamination, holes, fabric sewings and other issues, depending on the case.

Both IRTFC-TL and IRTFC-VIS were achieved satisfactory through the described methods, although for most of cases only IRTFC-VIS was particularly useful due to the limited results of TL in many historical paintings. In general, IRTFC-VIS proves to be far more critical than IRTFC-TL, by the breadth of information it provides, because of the amalgamation of reflective and transmissive phenomena. While this idea may seem contradictory or challenging to reconcile at first glance, in practice, it yields images which offer a wealth of information, as it has been demonstrated along the study cases.

Foreseeably, the IRTFC-TL and especially the IRTFC-VIS hybrid techniques will be progressively integrated into the body of multiband imaging techniques, given its utility in highlighting constructive and procedural elements of paintings, as well as other conservation-related aspects. Therefore, it may become, if not a principal technique, at least a valuable auxiliary method that can address the obstacles and limitations of other images in the IR spectrum.

Acknowledgments

The authors wish to thank E. Keats Webb (Smithsonian's Museum Conservation Institute), for her technical advice and suggestions within the working process of this text.

es más débil o delgada, la eventual presencia de delaminaciones, agujeros, costuras de la tela y otros aspectos, según los casos.

Tanto el IRTFC-TL como el IRTFC-VIS resultaron satisfactorios mediante los métodos descritos, aunque en la mayoría de los casos sólo el IRTFC-VIS resultó especialmente útil debido a los limitados resultados del TL en muchas pinturas históricas. En general, el IRTFC-VIS resulta ser mucho más crítico que el IRTFC-TL, por la amplitud de la información que proporciona, debido a la suma de un fenómeno de reflectancia y uno de transmitancia. Aunque esta idea pueda parecer contradictoria o difícil de conciliar a primera vista, en la práctica, da lugar a imágenes que ofrecen una gran cantidad de información, como se ha demostrado a lo largo de los casos de estudio.

Previsiblemente, la IRTFC-TL y, especialmente, las imágenes híbridas IRTFC-VIS se integrarán progresivamente en el conjunto de técnicas multibanda, dada su utilidad para poner de relieve elementos constructivos y procedimentales de las pinturas, así como otros aspectos conservativos. Por lo tanto, puede convertirse, si no en una técnica principal, al menos en un valioso método auxiliar que pueda hacer frente a los obstáculos y limitaciones de otras imágenes en el espectro IR.

Agradecimientos

Los autores desean dar las gracias a E. Keats Webb (Smithsonian's Museum Conservation Institute), por sus consejos técnicos y sugerencias durante el proceso de elaboración de este texto.

References | Bibliografía

Aguilar-Téllez, D.M., Ruvalcaba-Sil, J.L., Claes, P., & González-González, D. (2014). False color and infrared imaging for the identification of pigments in paintings. *MRS Online Proceedings Library* (OPL), 1618, 3-15. https://doi.org/10.1557/opl.2014.451

Aldrovandi, A., Buzzegoli, E., Keller, A., & Kunzelman, D. (2004). Indagini su superfici dipinte mediante immagini UV riflesse in falso colore. OPD *Restauro: Rivista dell'Opificio delle Pietre Dure e Laboratorio di Restauro di Firenze*, 16, 83-87.

Aldrovandi, A., Buzzegoli, E., Keller, A., & Kunzelman, D. (2005). Investigation of painted surfaces with reflected UV false color technique. In C. Parisi, G. Buzzanca, & A. Paradisi (Eds.), *8th International conference on "Non-destructive investigations and microanalysis for the diagnostics and conservation of the cultural and environmental heritage"* (pp. 3-18). Associazione Italiana Prove Non Distruttive Monitoraggio Diagnost.

Aldrovandi, A., & Picollo, M. (1999). *Metodi di documentazione e indagini non invasive sui dipinti*. Il Prato: Padova.

Buoso, M.C., Ceccato, D., & Zafiropoulos, D. (2009). False-color Infra Red Photography in the Identification of Pigments Used for a late 13 th Century Illuminated Manuscript. *LNL Annual Report, Applied and Interdisciplinary Physics Instrumentation*, 153-4.

Cardinali, M., De Ruggieri, B., & Falcucci, C. (2002). *Diagnostica artistica. Tracce materiali per la storia dell'arte e per la conservazione*. Roma: Palombi Editori.

Coccolini, G., Frosinini, C., Montalbano, L., & Piccolo, M. (2010). Il restauro del Codice Resta della Biblioteca Ambrosiana. *OPD restauro: rivista dell'Opificio delle peitre dure e laboratorio di resauro di Firenze* 22: 117-126.

Cosentino, A. (2014). Identification of pigments by multispectral imaging; a flowchart method. *Heritage Science*, *2*(1), 1-12. https://doi.org/10.1186/2050-7445-2-8

Cosentino, A. (2015). "Effects of Different Binders on Technical Photography and Infrared Reflectography of 54 Historical Pigments" *International Journal of Conservation Science*, *6* (3): 287-298. https://chsopensource.org/effects-of-different-binderson-technical-photography-and-infrared-reflectography-of-54-historical-pigments/

Cosentino, A. (2016). Infrared technical photography for art examination. *e-Preservation Science*, *13*, 1-6.

Cosentino, A., & Stout, S. (2014). Photoshop and multispectral imaging for art documentation. *e-Preservation Science*, *11*, 91-98. https://www.academia.edu/download/39236800/5450afd60cf249aa53dabdb8.pdf

Cucci, C., Picollo, M., & Vervat, M. (2012). Trans-illumination and trans-irradiation with digital cameras: Potentials and limits of two imaging techniques used for the diagnostic investigation of paintings. *Journal of Cultural Heritage*, 13: 83-88. https://doi.org/10.1016/j.culher.2011.07.002

Dyer, J., Verri, G., & Cupitt, J. (2013). *Multispectral imaging in reflectance and photo-induced luminescence modes: A user manual*. London: The British Museum.

Herrero-Cortell, M., Artoni, P., & Raïch, M. (2020). Transmitted light imaging in VIS and IR, in the study of paintings: A brief report on the behavior of the main historical pigments. *Cultura e Scienza del Colore-Color Culture and Science*, *12*(02), 79-88. https://doi.org/10.23738/CCSJ.120210

Herrero-Cortell, M., Artoni, P., Raïch, M., Aliaga J., & Puig, I. (2021). Observando a través de los estratos: fotografía infrarroja transmitida (IRT) aplicada al estudio técnico y documental de pinturas sobre lienzo. *Ge-conservación*, *19*, 62-73. https://doi.org/10.37558/gec.v19i1.840

Herrero-Cortel, M., Raïch, M., Artoni, P., & Madrid, J.A. (2022) Caracterización de pigmentos históricos a través de técnicas de imagen, en diversas bandas del espectro electromagnético. *Ge-conservación*, *22*, 58-75.

Herrero-Cortell, M., Raïch, M., Artoni, P., & Puig, I. (2018). Multi-band technical imaging in the research of the execution of paintings. The case study of the portrait of Carlos IV, by Francisco de Goya. *Ge-conservación*, *14*, 5-15. https://doi.org/10.37558/gec.v14i1.583

Keller, A.T., Lenz, R., Artesani, A., Mosca, S., Comelli, D., & Nevin, A. (2019). Exploring the Ultraviolet Induced Infrared Luminescence of Titanium White Pigments. In M. Picollo, M. Stols-Witlox, & L. Fuster López (Eds.), *UV-Vis Luminescence Imaging techniques* (Vol. 1, pp. 201–232). Editorial Universitat Politècnica de València.

Moon, T., Schilling, M.R., & Thirkettle, S. (1992). A note on the use of false-color infrared photography in conservation. *Studies in Conservation*, *37*(1), 42-52. https://doi.org/10.2307/1506436

Poldi, G., & Villa, G. (2006). *Dalla conservazione alla storia dell'arte: riflettografia e analisi non invasive per lo studio dei dipinti*. Pisa: Edizioni della Normale.

Puig, I., & Herrero-Cortell, M. (2017). Materials i procediments artistics utilitzats pels pintors i artesans de València en la confecció dels entremesos de les entrades del rei Martí i el rei Ferran (1402, 1414). *Ars Longa*, *26*, 33-50. https://doi.org/10.7203/arslonga.26.10953

Raïch, M., Artoni, P., Herrero-Cortell, M., La Bella, A., Ricci, M.L., & Hernández, A. (2019). Riconoscere dal colore. Pigmenti e coloranti dell'età moderna nell'analisi multibanda dei dipinti: uno strumento visivo per gli storici dell'arte e i conservatori, in *Colore e Colorimetria. Contributi multidisciplinari*, A, 120-127.

Rogge, C., & Lough, K. (2016). Fluorescence Fails: Analysis of UVA-Induced Visible Fluorescence and False color Reflected UVA Images of Tintype Varnishes Do Not Discriminate Between Varnish Materials. *Journal of the American Institute for Conservation*, *55*(2); 138-147. https://doi.org/10.1080/01971360.2016.1155813

Tamburini, D., & Dyer, J. (2019). Fibre optic reflectance spectroscopy and multispectral imaging for the non-invasive investigation of Asian colourants in Chinese textiles from Dunhuang (7th-10th century AD). *Dyes and Pigments*, *162*, 494–511. https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2018.10.054

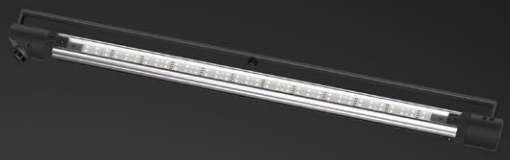
Vervat, M., Vigna, A., Cucci, C., & Picollo, M. (2005). Il restauro del pascolo a Pietramala di Telemaco Signorini: un esempio di diagnostica su dipinti moderni con impiego della ripresa fotografica in transilluminazione, *Lo stato dell'Arte III*: Atti di convegno IGIIC, Palermo, Firenze: Nardini, 84-89.

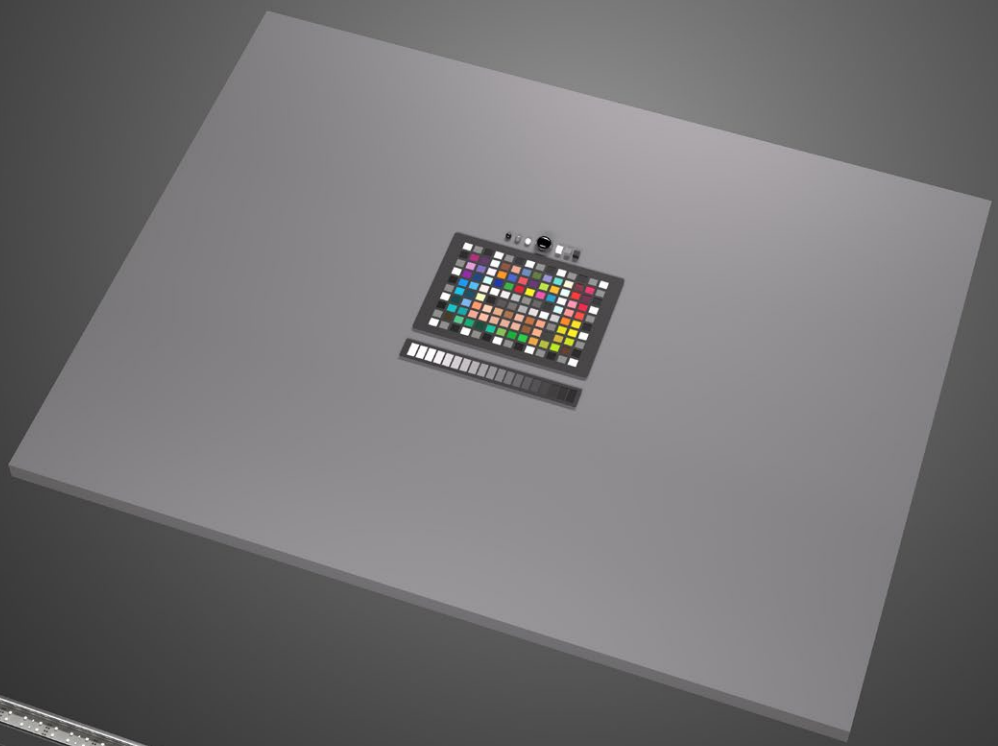
Warda, J., Frey, F., Heller, D., Kushel, D., Vitale, T., & Weaver, G. (2017). *The AIC Guide to Digital Photography and Conservation Documentation* (J. Warda, Ed.; 3rd ed.). American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works.

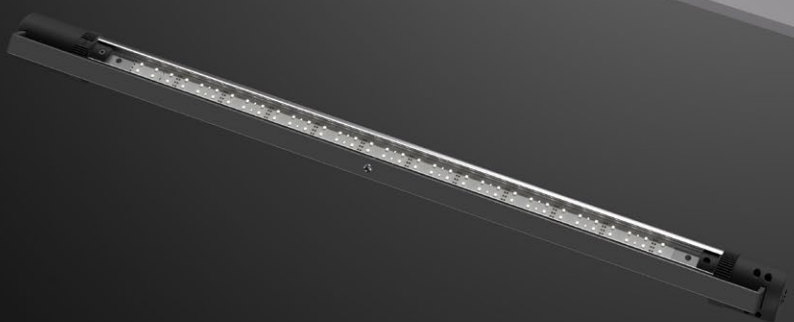
Yu, X., Ren, J., Chen, Q., & Sui, X. (2014). A false color image fusion method based on multi-resolution color transfer in normalization YC_BC_R space. *Optik*, *125*(20), 6010-6016. https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2014.07.059

Simone Barabino, *Resurrection of Lazarus* (IRTFC–VIS image), ca. 1620–1625. Oil on canvas, 185.5 × 144.5 cm, private collection. (Image: Authors / CAEM, University of Lleida).

Simone Barabino, Resurrección de Lázaro *(imagen IRTFC–VIS), ca. 1620–1625. Óleo sobre lienzo, 185,5 × 144,5 cm, colección particular. (Imagen: Autores / CAEM, Universitat de Lleida).*







Multiband LED Fixtures.

Dispositivos LED de iluminación multibanda

STANDARDIZATION OF MULTIBAND RADIATION FOR CONSERVATION DOCUMENTATION: VALIDATION PHASE FOR A MULTICHANNEL LED PROTOTYPE FIXTURE CREATED AT THE METROPOLITAN MUSEUM OF ART (MET MCLED)

NORMALIZACIÓN DE LA RADIACIÓN MULTIBANDA PARA LA DOCUMENTACIÓN DE LA CONSERVACIÓN: FASE DE VALIDACIÓN DE UN PROTOTIPO DE APARATO LED MULTICANAL CREADO EN EL MUSEO METROPOLITANO DE ARTE (MET MCLED)

William Scott Geffert [a*], E. Keats Webb [b], Marina Ruiz Molina [a], Dawn Kriss [a], Kisook Suh [a]
[a] *The Metropolitan Museum of Art, United States*
[b] *Museum Conservation Institute, Smithsonian Institution, United States*

* *scott.geffert@metmuseum.org*

Introduction

Multiband imaging (MBI), defined here as the use of a full spectrum-modified[1] digital camera to capture broadband images (hundreds of nanometers in wavelength) using visible, ultraviolet (UV) and infrared (IR) radiation, has been used by the conservation departments at The Metropolitan Museum of Art (the Met) to document and map

[1] Full spectrum conversion of a camera involves removal of the internal IR cut filter, which is replaced with a clear glass, allowing the camera's sensor to be sensitive to UV, VIS, and IR light (Kolari, 2022).

Introducción

La imagen multibanda (MBI), definida aquí como el conjunto de imágenes que pueden obtenerse con una cámara digital[1] de espectro completo modificada para capturar imágenes de banda ancha (aquellas que poseen cientos de nanómetros de longitud de onda) utilizando radiación visible, ultravioleta (UV) e infrarroja (IR), ha sido utilizada por los departamentos de conservación del

[1] La conversión de espectro completo de una cámara implica la eliminación del filtro de corte IR interno, que se sustituye por un cristal transparente, lo que permite que el sensor de la cámara sea sensible a la luz UV, VIS e IR (Kolari, 2022).

materials incorporated into works of art, furthering an understanding of these works, often in combination with in-depth technical studies (Abramitis, 2023; Basso et al., 2023; DeLeonardis et al., 2021; Geffert & Ng, 2023; Kennedy et al., 2018; Lackner et al., 2024; Ruiz Molina, 2018, 2019; Ruiz Molina & Olson, 2016; Suh, 2018; van Dyke, 2021). Conservators followed guidelines and best practices outlined by Warda et al. (2017) and Dyer et al. (2013) to establish setups and carry out MBI in each of their respective departments to support routine conservation work. Initial equipment surveys across the Museum revealed a wide range of equipment (cameras, radiation sources, filters, etc.) and variations in imaging results. Variations in equipment and workflows result in issues with reproducibility and comparability that have long been challenges for MBI for conservation applications (Dyer et al., 2013; Dyer & Newman, 2020). In an effort to standardize multiband imaging across the Museum and improve capture, a scene-referred workflow has been established (Geffert, 2018; Geffert & Heins, 2023) and efforts have focused on the development of a prototype multichannel LED light (Met MCLED). This case study will focus on the design, development and testing of the lights to improve MBI capture and to serve as a baseline for potential standardization of the specialized images captured with this technique.

The development of the Met MCLED lighting fixture was the result of efforts to implement standardized ISO 19264 scene-referred imaging techniques across the Museums' conservation departments (Geffert & Heins, 2023; ISO 19264-1:2021, 2021). ISO 19264 is an international standard focused on the analysis of the quality of imaging systems specifically for cultural heritage imaging. The initial equipment surveys at the Met described above revealed that departments were utilizing various fluorescent, xenon flash, LED, and tungsten

Museo Metropolitano de Arte (el Met) para documentar y cartografiar materiales en obras de arte, fomentando la comprensión de estas obras, y a menudo realizándolo en combinación con otros estudios técnicos específicos (Abramitis, 2023; Basso *et al.*, 2023; DeLeonardis *et al.*, 2021; Geffert y Ng, 2023; Kennedy *et al.*, 2018; Lackner *et al.*, 2024; Ruiz Molina, 2018, 2019; Ruiz Molina y Olson, 2016; Suh, 2018; van Dyke, 2021). Los conservadores de este proyecto siguieron las directrices y prácticas aconsejadas y descritas por Warda *et al.* (2017) y Dyer *et al.* (2013) para establecer configuraciones precisas y llevar a cabo la MBI en cada uno de sus respectivos departamentos, y así apoyar el trabajo de conservación rutinario. Los estudios iniciales de los equipos en todo el Met revelaron una amplia gama de equipamientos (cámaras, fuentes de radiación, filtros, etc.) así como variaciones en los resultados de las imágenes. Las diferencias entre instrumentos y flujos de trabajo han dado lugar a ciertos problemas de reproducibilidad y comparabilidad que han sido, durante mucho tiempo, un reto para la MBI en aplicaciones de conservación (Dyer *et al.*, 2013; Dyer y Newman, 2020). Con el objetivo de estandarizar las imágenes multibanda en todo el museo y mejorar la captura de imágenes, se ha establecido un flujo de trabajo de referencia, internacionalmente conocido como *Scene-Referred* (Geffert, 2018; Geffert y Heins, 2023), cuyos esfuerzos se han centrado en el desarrollo de un prototipo de luz LED multicanal (Met MCLED). Este caso de estudio se centra en el diseño, desarrollo y prueba de las lámparas para mejorar la captura de la MBI y servir como línea de base para una posible estandarización de las imágenes capturadas con esta técnica.

El desarrollo del sistema Met MCLED fue el resultado de los esfuerzos por implantar las técnicas estandarizadas de obtención de imágenes *Scene-Referred* ISO 19264 en todos los departamentos de conservación del museo (Geffert y Heins, 2023; ISO 19264-1:2021, 2021). La ISO 19264 es una norma internacional centrada en el análisis de la calidad de los sistemas de captura específicos para la obtención de imágenes del patrimonio cultural. Los estudios iniciales de los equipos del Met, descritos anteriormente,

Figure 1 | Diverse radiation sources in a legacy conservation documentation setup.

Figura 1 | Fuentes diversas de radiación en un sistema de conservación de documentación anterior.

radiation sources for visible imaging. These varied in brand, fixture design, output, color temperature, spectral distribution, and light beam patterns. The equipment survey also revealed that hot tungsten sources were common for IR imaging, while for UV imaging, mostly accomplished with fluorescent sources, the equipment varied in terms of fixture design, spectral distribution, and light beam pattern (Figure 1; Table 1). Due to the inconsistencies in radiation, users struggled with achieving results that met cultural heritage photography standards as established in ISO 19264. While the scope of ISO 19264 is for reflective originals under visible radiation, the conservators expressed a desire to improve the quality and consistency of UV and IR radiation as well.

Inconsistent radiation has a negative impact on the quality of conservation documentation, and in extreme circumstances can produce misleading results. Productivity suffers as conservators struggle with problems related to uniformity, color consistency, and repeatability. The time required to utilize and adjust multiple light sources is also undesirable. Staff training is difficult when equipment variables are uncontrolled. The cultural heritage community operates in the margins between larger mainstream technology markets,

revelaron que los departamentos utilizaban fuentes de radiación diversas: lámparas fluorescentes, radiación fluorescente, flash de xenón, LED y tungsteno para la obtención de imágenes visibles. Estas fuentes variaban en marca, diseño, potencia, temperatura de color, distribución espectral y distribución del haz de luz/radiación. El estudio de los equipos también reveló que las fuentes de tungsteno incandescente eran comunes para la obtención de imágenes IR, mientras que para la obtención de imágenes UV, se utilizaban principalmente fuentes fluorescentes, y los equipos variaban en cuanto al diseño de los dispositivos, la distribución espectral y el patrón del haz de luz/radiación (Figura 1; Tabla 1). Debido a las incoherencias en las fuentes de iluminación, los usuarios tuvieron dificultades para obtener resultados que cumplieran las normas de fotografía del patrimonio cultural establecidas en la norma ISO 19264. Aunque dicha norma se refiere a los sistemas reflectantes con iluminación visible, los conservadores expresaron su deseo de mejorar también la calidad y la coherencia de la radiación UV e IR.

La radiación inconsistente durante la fotografía repercute negativamente en la calidad de la documentación conservativa y, en circunstancias extremas, puede producir resultados engañosos. La productividad se resiente cuando los conservadores se enfrentan a problemas relacionados con la uniformidad, la consistencia del color y la repetibilidad. El tiempo necesario para utilizar y ajustar múltiples fuentes de radiación puede ser largo, lo que tampoco es

Table 1 | Legacy Radiation Problems.

· Inconsistent spectral output (UV, VIS, IR).
· Inconsistent fixture design.
· Inconsistent geometry-beam pattern.
· Lack of portability.
· Cost, access, and sustainability.
· Inconsistent daylight viewing quality.
· Poor energy efficiency.

Tabla 1 | Problemas de radiación heredados.

· Salida espectral inconsistente (UV, VIS, IR).
· Diseño inconsistente de los sistemas.
· Geometría del haz inconsistente.
· Falta de portabilidad.
· Coste, acceso y sostenibilidad.
· Calidad de visualización de luz diurna irregular.
· Poca eficiencia energética.

and this often leads to situations where tools are overpriced and not suited to the unique needs of the field. To improve the situation, it was clear that the internal community would benefit from a purpose-built light source that was specifically designed for the MBI conservation documentation taking place across the institution.

The Met imaging team set out to create a practical, affordable light source prototype in consultation with the Met conservation and scientific research teams. Developing the design criteria of the fixture was an example of a truly cross-departmental effort driven by the dedication and contribution of numerous individuals interested in solving problems for the wider community (see Acknowledgments). The goal is not to commercialize it but to share the entire specification with the broader international community, including 3D CAD models, parts lists, and do-it-yourself assembly instructions, with an expected release in 2024.

The Met MCLED reference design is intended to improve the quality and consistency of visible (VIS), ultraviolet (UV) and infrared (IR) radiation in a portable, affordable fixture design to help make MBI documentation techniques more accessible to the wider community. After several rounds of preliminary tests, the initial production

deseable. La formación del personal es difícil cuando las variables del equipo no están estandarizadas. En cierto modo, quienes trabajamos con patrimonio cultural dependemos del dominio de los grandes mercados tecnológicos, y esto a menudo conduce a situaciones en las que las herramientas tienen un precio excesivo y no se adaptan a las necesidades específicas del campo. Para mejorar la situación, resultaba conveniente encontrar un sistema de radiación del que pudiera beneficiarse los conservadores, específicamente diseñado para las aplicaciones conservativas del MBI que se llevan a cabo en el Met.

La división de imagen del Met se propuso crear un prototipo de fuente de radiación práctica y asequible en consulta con los equipos de conservación e investigación científica del museo. El desarrollo de los criterios de diseño de los sistemas de radiación fue un ejemplo de un verdadero esfuerzo interdepartamental impulsado por la dedicación y la contribución de numerosas personas interesadas en resolver problemas para la comunidad en general (véanse los agradecimientos). El objetivo no era comercializarlo, sino compartirlo con la comunidad internacional, incluidos los modelos CAD de impresión 3D, las listas de equipamiento y unas instrucciones de montaje fáciles y accesibles, con un lanzamiento previsto originalmente para 2024.

El diseño del sistema Met MCLED pretende mejorar la calidad y consistencia de la radiación visible (VIS), ultravioleta (UV) e infrarroja (IR) en un diseño portátil y asequible

prototype fixtures were rolled out in the fall of 2022 to internal Met conservation departments. In the spring of 2023, a second iteration of the prototype fixture was highlighted at the American Institute for Conservation 51st Annual Meeting in Jacksonville, Florida (Geffert, 2023). After the conference, sample prototype fixtures were shared with external parties for evaluation and testing. While internal and external field testing is still ongoing, this paper documents the initial phases of design as well as user feedback in the form of user reports and comparison testing and concludes with important validation and design improvements.

Materials and Methods

The first phase of the project was the research and design of the Met MCLED lights, which resulted in a design used to produce a set of 24 prototype fixtures. The second phase of the project, testing and evaluation, involved the delivery of the prototypes to conservation and imaging departments throughout the Met. In addition to internal testing and assessment, extra sets of the Met MCLED lights were created for external evaluation. Testing and evaluation provided important technical feedback in the form of user observations from a wide range of practitioners, which was gathered to refine the design specifications (third phase) for the next iteration of the light (fourth phase). The research, design, and evaluation for this project is an iterative process that is ongoing. This paper aims to capture some of these processes as a resource for the imaging community.

para ayudar a que las técnicas de documentación MBI sean más accesibles para la comunidad en general. Tras varias rondas de pruebas preliminares, el prototipo inicial de producción se presentó en otoño de 2022 a los departamentos internos de conservación de el Met. En la primavera de 2023, se presentó una segunda versión del prototipo en la 51ª Reunión Anual del American Institute for Conservation en Jacksonville, Florida (Geffert, 2023). Después de la conferencia, se compartieron unidades del prototipo con conservadores externos al museo para su evaluación y prueba. Aunque las pruebas de campo internas y externas aún están en curso, el presente capítulo documenta las fases iniciales del diseño, así como los comentarios de los usuarios en forma de informes y pruebas comparativas, y concluye con importantes mejoras de validación y diseño.

Materiales y métodos

La primera fase del proyecto consistió en la investigación y el diseño del sistema de iluminación Met MCLED, que dio lugar a un prototipado utilizado para fabricar un conjunto de 24 unidades. La segunda fase del proyecto, de pruebas y evaluación, consistió en la entrega de los prototipos a los departamentos de conservación e imagen de todo el Met. Además de las experiencias y evaluaciones internas, se crearon conjuntos adicionales de unidades Met MCLED para su evaluación externa. Las pruebas y la evaluación proporcionaron información técnica relevante gracias a las observaciones de una amplia gama de profesionales que testearon los sistemas. Esta información se recopiló para perfeccionar las especificaciones de diseño (tercera fase) y para crear la siguiente versión del prototipo (cuarta fase). La investigación, el diseño y la evaluación de este proyecto constituyen un proceso de refinamiento en curso. Este capítulo pretende recoger algunos de estos procesos como recurso para la comunidad de la imagen.

Design and Execution

LED Specifications

Beginning with simple LED strips on aluminum bars, tests were performed across different conservation imaging scenarios, often comparing results to existing fixtures using sample artworks and technical targets.

As the Museum's Imaging Department was already rolling out a museum-wide protocol to provide an objective basis for imaging performance utilizing the ISO 19264 validation techniques and a daylight (D50) viewing standard, this was the starting point for VIS radiation. Identifying high quality D50 LED components was quite straightforward, with multiple vendor options. Spectral measurements were used to validate manufacturer claims within the Imaging Department (Figure 2). Tests of high CRI full spectrum D50 LEDs yielded improved results across all existing camera platforms (compared to legacy fixtures) and helped establish the initial approximately 24-inch linear fixture design. It is important to note that the D50 LEDs meet ISO 3664 standards for critical comparison viewing (ISO 3664:2009, 2009).

Due to the sensitivity of most silicon-based digital camera sensors and MBI standards, UV radiation sources with a longwave UV output were sought, with a peak output around 365 nm, and no stray visible light, i.e. output beyond 400 nm. UV LED testing began with the purchase of individual 365 nm UV LED emitters from a number of vendors. Several of these vendors claimed *pure* UV and some specialized in UV LEDs claiming UVA, UVB and UVC variants. Capture testing and spectral measurement established that UV LEDs (regardless of claims) emitted different degrees of stray VIS and IR radiation. It was clear that UV bandpass

Diseño y ejecución

Especificaciones de los LED

Las primeras pruebas se realizaron con simples tiras de LED en barras de aluminio, aplicadas en diferentes escenarios de documentación fotográfica en conservación, a menudo comparando los resultados con los sistemas de iluminación ya existentes, y utilizando muestras de obras de arte y referencias de calibración técnica específicas en cada caso.

Como el Departamento de Imagen de el Met ya estaba en proceso de poner en marcha un protocolo para todo el museo con el fin de proporcionar una base objetiva para el tratamiento de fotografías utilizando las técnicas de validación ISO 19264 y un estándar de visualización de luz diurna (D50), este fue el punto de partida para la iluminación VIS. Identificar componentes LED D50 de alta calidad fue bastante sencillo, con múltiples opciones de proveedores. Las mediciones espectrales se utilizaron para validar las afirmaciones de los fabricantes en el Departamento de Imagen (Figura 2). Las pruebas de los LED D50 de espectro completo y alto índice de reproducción cromática (IRC) produjeron mejores resultados en todas las plataformas de cámara existentes (en comparación con los sistemas de iluminación anteriormente utilizados) y ayudaron a establecer un diseño inicial del sistema de iluminación lineal de aproximadamente 24 pulgadas. Es importante señalar que los LED D50 cumplen las normas ISO 3664 para la visualización de comparación crítica (ISO 3664:2009, 2009).

Debido a la sensibilidad de la mayoría de los sensores de las cámaras digitales de silicio y de los estándares la MBI, se buscaron fuentes de radiación UV con una salida UV de onda larga, con un pico de emisión en torno a los 365 nm, y sin luz visible no deseada (es decir, no más allá de los 400 nm). Las pruebas con LED UV comenzaron con la compra de emisores LED UV individuales de 365 nm a varios vendedores. Varios de estos vendedores afirmaban que eran UV *puros* y otros se especializaban en LED UV con variantes UVA, UVB

filtration was going to be necessary, and that the filtration would need to be glass. The most common UV bandpass glass available was costly and testing revealed varying degrees of stray red to IR emission. This glass is commonly available in 8 x 8-inch sheets in different thicknesses, but the cost to custom cut the sheets down to the desired size was prohibitive with extremely long delivery turnaround. Searching for alternate vendors for UV glass helped identify a manufacturer in China that was willing to supply glass to our exact specifications. Xue Chen from the Met imaging team was instrumental in forging this relationship and worked with the vendor to supply at least three rounds of samples for testing: 1.0 mm, 1.5 mm and a special version with an additional infrared filtration layer. After extensive measurement and in situ capture tests, it was determined that the 1.5 mm glass provided the best performance despite some residual VIS and IR radiation. The criterion was the ability to pass the maximum amount of desired UV while blocking the most visible and infrared radiation emitted from the UV LED. Tests included in situ evaluations using cameras from conservation departments across the institution and spectral measurements of glass samples and LED emitters in collaboration with the Department of Scientific Research.

The goal for the IR output was to identify components closest to the near infrared, 700-1000 nm, sensitivity of most silicon-based digital camera sensors. As with the other LEDs, multiple samples were tested and measured. In the case of IR LEDs, the issue was power density. Because the goal was affordability, the creation of a custom printed circuit board was out of scope. Both the VIS and UV LEDs were available in common 0.5-inch adhesive backed LED strips, but finding IR LEDs in this design was difficult. Of the commercially available IR LED strips, 950 nm LED strips were ultimately

y UVC. Independientemente de las afirmaciones, las pruebas de captura y las mediciones espectrales establecieron que los LED UV emitían diferentes grados de radiación VIS e IR dispersa. Estaba claro que el uso de filtros UV iba a ser necesario, y que el filtrado tendría que ser de vidrio. El filtro de vidrio UV más común tenía un precio elevado y las pruebas revelaron diversos grados de emisión dispersa de la banda roja e IR. Este vidrio suele estar disponible en láminas de 8 x 8 pulgadas de diferentes grosores, pero el coste de cortar las láminas al tamaño deseado para los filtros era prohibitivo y el plazo de entrega extremadamente largo. La búsqueda de proveedores alternativos de este vidrio UV ayudó a identificar a un fabricante en China dispuesto a suministrar vidrio según nuestras especificaciones exactas. Xue Chen, del equipo de imagen de Met, contribuyó decisivamente a forjar esta relación y trabajó con el proveedor para suministrar al menos tres series de muestras para las pruebas: 1,0 mm, 1,5 mm y una versión especial con una capa adicional de filtrado de infrarrojos. Tras pruebas de medición exhaustivas y capturas *in situ*, se determinó que el vidrio de 1,5 ofrecía el mejor rendimiento a pesar de identificar cierta radiación VIS e IR residual. El criterio era que debía permitir el paso de la máxima cantidad de radiación UV deseada y, al mismo tiempo, bloquear la mayor parte de la radiación visible e infrarroja emitida por el LED UV. Las pruebas incluyeron evaluaciones *in situ* utilizando las cámaras de los departamentos de conservación de toda la institución y mediciones espectrales de muestras de vidrio y emisores LED en colaboración con el Departamento de Investigación Científica.

El objetivo de las mediciones de las emisiones IR era identificar los componentes más próximos al infrarrojo cercano, entre 700-1000 nm, que es la sensibilidad que poseen la mayoría de los sensores de cámaras digitales basados en silicio. Al igual que se hizo con otros LED, se probaron y midieron varias muestras. En el caso de los LED IR, el problema era la densidad de potencia. Dado que el objetivo era la asequibilidad, la creación de una placa de circuito impreso a medida estaba fuera de alcance. Tanto los LED VIS como los UV estaban disponibles en tiras LED comunes de 0,5 pulgadas con soporte adhesivo, pero fue difícil encontrar

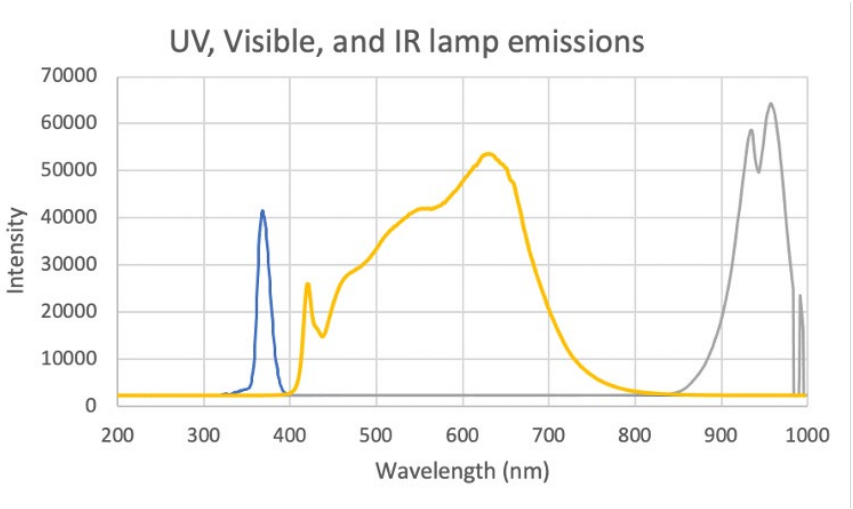


Figure 2 | Met MCLED spectral output for UV (blue), visible (yellow), and IR (grey). Data collected by the Met's Department of Scientific Research with an Ocean Optics QE65 Pro via fiber optic cable approximately 3-6 inches from the light source. (Integration time=100 ms, 1 scan/not averaged. Boxcar width=0). Note: This diagram, which is scaled to represent the relative output of all three channels, does not capture small amounts of VIS and IR radiation passing through the UV filter that may vary based on exposure time.

Figura 2 | Salida espectral del Met MCLED para UV (azul), visible (amarillo) e IR (gris). Datos recogidos por el Departamento de Investigación Científica de el Met con un Ocean Optics QE65 Pro a través de un cable de fibra óptica a aproximadamente 3-6 pulgadas de la fuente de radiación. (Tiempo de integración=100 ms, 1 barrido/no promediado. Boxcar width=0). Nota: Este diagrama, que está escalado para representar la salida relativa de los tres canales, no captura las pequeñas cantidades de radiación VIS e IR que pasan a través del filtro UV y que pueden variar en función del tiempo de exposición.

selected, as their performance was more comparable to legacy tungsten irradiation than 850 nm LED strips and they were available from multiple vendors. Testing with modified digital cameras resulted in long exposures due to a lack of power density. A vendor was identified that provided a very dense strip of doubled up multi-die LEDs with 28.8 watts per meter. Using these LEDs, reasonable exposure times were achieved, but due to a slightly wider strip profile, it would not be possible to fit two strips on a standard heat sink extrusion. Ultimately, the balance between off-the-shelf cost and accessibility influenced the design decisions and a 14 watts per meter IR LED strip was selected.

unidades LED IR para este diseño. De las tiras de LED IR disponibles en el mercado, finalmente se seleccionaron tiras de LED de 950 nm, ya que su rendimiento era más comparable a la irradiación de tungsteno anterior, que las tiras de LED de 850 nm y estaban disponibles en múltiples proveedores. Las pruebas con cámaras digitales modificadas dieron lugar a exposiciones prolongadas debido a la falta de densidad de potencia. Se identificó un proveedor que ofrecía una tira más ancha de LEDs multi-die dobles con 28,8 vatios por metro. Con estos LED se consiguieron tiempos de exposición razonables, pero debido al perfil ligeramente más ancho de la tira, no sería posible encajar dos tiras en una extrusión disipadora de calor estándar. En última instancia, el equilibrio entre el coste y la accesibilidad influyó en las decisiones de diseño y se eligió una tira de LED IR de 14 vatios por metro.

Fixture Design

Early on, the decision was to focus on a compact, approximately 24-inch linear fixture that would easily retrofit onto any existing copy stand or be affixed to a light stand. This was the most common configuration in our conservation departments and improving uniformity was a key goal.

An obvious, yet unexpected challenge arose in the early testing. An initial design assumption was to arrange all the LED strips alternating UV, VIS, and IR rows by affixing them to the flat surface of a simple heat sink. In practice there were multiple challenges to this approach; one was how to affix the UV bandpass glass over the UV LED strips. The second issue was more concerning. When UV LEDs illuminate, the white phosphor-based VIS LEDs fluoresce and self-illuminate, thus negating the value of the UV bandpass glass. One would think that isolating the UV channel with a barn-door-like barrier would eliminate this interference, but when lights are placed in a typical copy stand configuration, the UV radiation from one fixture would illuminate the VIS LEDs of the other fixture. It was Chris Heins on the imaging team who suggested a brilliant triangular arrangement of the LED strips facing away from each other.

An off-the-shelf heat sink was able to support a triangular configuration joined edge to edge using a simple brass strip inserted into an existing profile channel. While the triangular configuration solved the problem, it presented a new design challenge—how to allow for the rotation of lights mounted on a yoke?

Wilson Santiago on the imaging team stepped in to help solve the design challenges with his expertise in CAD design and 3D printing. He drafted and printed multiple rounds of 3D printed prototypes. The design incorporates passive detents to

Diseño de la instalación

Desde el principio, la decisión fue centrarnos en una fuente de radiación lineal compacta de aproximadamente 24 pulgadas que se adaptara fácilmente a cualquier soporte existente o se pudiera fijar a un soporte de iluminación fotográfico. Esta era la configuración más común en nuestros departamentos de conservación, por lo que el objetivo clave era mejorar la uniformidad en todos ellos.

En las primeras pruebas surgió un reto obvio, aunque inesperado. Una hipótesis de diseño inicial era disponer todas las tiras de LED alternando filas de UV, VIS e IR fijándolas a la superficie plana de un disipador de calor sencillo. En la práctica, este planteamiento planteaba varios problemas: uno de ellos era cómo fijar el filtro de paso de banda UV sobre las tiras de LED UV. El segundo problema era más preocupante. Cuando los LED UV se iluminan, los LED VIS basados en fósforo blanco emiten fluorescencia y se auto-iluminan, anulando así el valor del filtro de vidrio que permite el paso de banda UV. A primera vista podría pensarse que aislar el canal UV mediante un sistema de compuertas —a modo de *barndoor*— eliminaría esta interferencia. Sin embargo, cuando las luces se colocaban en la configuración típica de un copystand, la radiación UV de un dispositivo acababa iluminando los LED de luz visible del otro. Fue Chris Heins, del equipo de imagen, quien propuso una brillante solución: una disposición triangular de las tiras LED orientadas en direcciones opuestas.

Un disipador térmico comercial permitió montar esta configuración triangular uniendo los bordes mediante una simple tira de latón insertada en un canal ya existente del perfil. Si bien la disposición triangular resolvía el problema inicial, planteó un nuevo desafío de diseño: ¿cómo permitir la rotación de las luces montadas sobre un soporte en horquilla?

Wilson Santiago, del equipo de imagen, intervino para ayudar a resolver los problemas de diseño con su experiencia en diseño CAD e impresión 3D. Santiago diseñó e imprimió varios e prototipos en 3D. El diseño incorpora

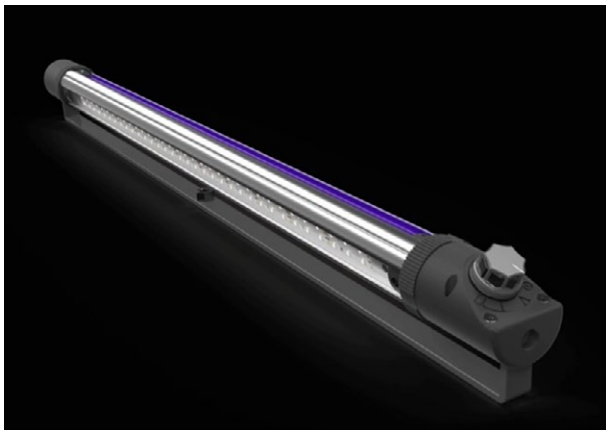


Figure 3 | Prototype Met MCLED.
Figura 3 | Prototipo Met MCLED.

Table 2 | Legacy Radiation Problems.

· Energy-efficient, LED-based.
· Designed using 3D printed parts and low-cost off-the-shelf components.
· Three channels: UV (365 nm with glass bandpass filter), IR (950 nm), and VIS (broad-spectrum high CRI D50 Daylight, ISO 3664-200).
· Compact, low profile 24-inch linear fixture with a standard 5/8-inch female stand mount (yoke).
· Unique rotating design maintains uniformity and geometry and minimizes channel interference.
· 110/220V international power supplies (can run on 12V DC battery sources).

Tabla 2 | Problemas de radiación heredados.

· Eficiencia energética, basada en LED.
· Diseñado con piezas impresas en 3D y componentes estándar de bajo coste.
· Tres canales: UV (365 nm con filtro de vidrio de paso de banda), IR (950 nm) y VIS (luz diurna de amplio espectro, alto CRI D50, ISO 3664-200).
· Luminaria lineal compacta y de bajo perfil de 24 pulgadas con un soporte hembra estándar de 5/8 pulgadas (yugo).
· El exclusivo diseño giratorio mantiene la uniformidad y la geometría y minimiza las interferencias de canal.
· Fuentes de alimentación internacionales de 110/220 V (pueden funcionar con baterías de 12 V CC).

maintain the precise repeatable light angles in a robust, yet compact 3D printable design (Figure 3; Table 2).

Testing and Assessment

The first pair of functioning prototypes were tested across conservation departments individually before determining the design which would ultimately become the first set of 24 pilot prototype fixtures delivered to the Imaging, Paper Conservation, Objects Conservation, Photograph Conservation, and Textile Conservation Departments. Extra sets

retenes pasivos para mantener los ángulos de luz precisos y repetibles en un diseño imprimible en 3D robusto y compacto (Figura 3; Tabla 2).

Pruebas y evaluación

El primer par de prototipos funcionales se probó individualmente en los departamentos de conservación antes de determinar el diseño que acabaría convirtiéndose en el primer conjunto de 24 prototipos piloto entregados a los departamentos de Imagen, Conservación de Papel, Conservación de Objetos, Conservación de Fotografías y Conservación de Textiles. Además se crearon conjuntos

were created for external evaluations. Specific case studies and feedback from selected internal Met users and external users (to date) are included here. The first three reports offer examples of how the Met MCLEDs were used internally within the Museum and the last involves the testing of the lights at the Smithsonian's Museum Conservation Institute (MCI). The authors intend to continue to collaborate with colleagues on further external evaluations.

Internal Testing

Initial testing focused on internal use at The Metropolitan Museum of Art with examples here of applications in the Paper Conservation, Textile Conservation, and Objects Conservation Departments. Descriptions of the cameras and filters utilized are included in Table 3, with testing of optimal filter combinations currently ongoing with the Museum (Mastandrea et al., forthcoming). While the three user reports provide an overview of specific projects, this small sample set does not capture the full breadth and depth of the routine use of the lights within the Museum, which are regularly utilized to map artworks in the aforementioned departments.

adicionales para evaluaciones externas. En este apartado se incluyen estudios de casos concretos y comentarios de usuarios internos de Met y usuarios externos seleccionados (hasta la fecha). Los tres primeros informes ofrecen ejemplos de cómo se utilizaron los Met MCLED internamente dentro del museo y el último se refiere a la prueba de las lámparas en el Instituto de Conservación de Museos (MCI) del Smithsonian. Esta colaboración entre los autores de este artículo y otros colegas de la profesión se mantiene activa en otras evaluaciones externas.

Pruebas internas

Las pruebas iniciales se centraron en el uso interno en el Met, con ejemplos de aplicaciones en los Departamentos de Conservación de Papel, Conservación de Textiles y Conservación de Objetos. En la Tabla 3 se describen las cámaras y los filtros utilizados, y en la actualidad se están probando las combinaciones óptimas de filtros en el mismo museo (Mastandrea *et al*., de próxima publicación). Aunque los tres informes de usuarios proporcionan una visión general de proyectos específicos, este pequeño conjunto de muestras no capta toda la amplitud y profundidad del uso rutinario de las lámparas en el museo, que se utilizan regularmente para documentar obras de arte en los departamentos mencionados.

Table 3 | Equipment in Met Conservation Departments in User Reports / Equipos en los departamentos de conservación de Met en los informes de los usuarios.

Department / Departamento	Camera + Lens / Cámara y objetivo	VIS Filter / Filtro VIS	UVL Filter / Filtros UVL	UVR Filter / Filtro(s) UVR	IR Filter / Filtro IR
Objects Conservation / Conservación de objetos	Canon EOS 5R (modified / modificada**) + CoastalOpt 60mm UV-VIS-IR APO Macro lens / Objetivo CoastalOpt 60mm UV-VIS-IR APO Macro	IDAS UIBAR III	IDAS UIBAR III + Kodak Wratten 2E	XNite BP1 + XNite 330	XNite 830
Paper Conservation / Conservación del papel	Canon EOS 5DSR (modified / modificada*) + CoastalOpt 60mm UV-VIS-IR APO Macro lens / Objetivo CoastalOpt 60mm UV-VIS-IR APO Macro	IDAS UIBAR III	IDAS UIBAR III + Kodak Wratten 2E	XNite BP1 + XNite 330	XNite 830
Textile Conservation / Conservación de textiles	Canon EOS 77D (modified / modificada*) + Canon EF 50mm F/1.4 USM + Canon EF-S 10-22mm f/3.5-4.5 USM lens / Objetivo	XNite CC1	PECA 918 + Kodak Wratten 2E	PECA 900	PECA 910

**Full spectrum camera modification completed by LDP LLC (MaxMax.com) / Modificación de la cámara de espectro completo realizada por LDP LLC (MaxMax.com).*
***Full spectrum converted camera purchased from Kolari (https://kolarivision.com/) / Cámara de espectro completo convertida adquirida en Kolari (https://kolarivision.com/).*

User Report 1

Marina Ruiz Molina, Paper Conservation,
The Metropolitan Museum of Art.
Project: Indian Court Painting Imaging.

The Paper Conservation Department was involved from the early stages in the design of the Met MCLED. MBI is used at the Met to examine the Museum's collections of Indian miniature paintings. The Department was interested in the potential for meaningful comparative studies with collections outside the Museum, and obtaining more objectively measurable images was important for this purpose. In March of 2023, conservator Marina Ruiz Molina traveled to several museums in India with MBI equipment that included a set of Met MCLED lights to evaluate the adequacy of the Met's equipment and capture methodologies for comparative studies of these collections (Figure 4). Paintings created in certain Rajasthani courts during the mid eighteenth century, including holdings at the Mehrangarh Museum Trust Jodhpur, City Palace Museum Udaipur, City Palace Museum Jaipur, and CSMVS Mumbai, were photographed and the resulting images compared with images from the Met's collection (Figures 5 and 6). As a result of these comparative examinations, we were able to establish certain patterns in the use of green colorants that set the groundwork for further elemental analysis at the Met and at the City Palace Museum Udaipur. One of the improvements of the Met MCLED fixtures over the previous halogen setup for infrared reflected photography is that the IR LEDs produce photographs that are evenly illuminated and hotspot-free. These in turn yield more reliable False Color Infrared images (an image processing method that involves channel substitution using infrared reflected and

Informe de usuario 1

Marina Ruiz Molina, Conservación de Papel,
Museo Metropolitano de Arte.
Proyecto: Pintura cortesana india.

El Departamento de Conservación de Papel participó desde las primeras fases en el diseño del Met MCLED. La MBI se utiliza en el Met para examinar las colecciones de pinturas indias en miniatura del museo. El departamento estaba interesado en la posibilidad de realizar estudios comparativos significativos con colecciones ajenas al museo, y para ello era importante obtener imágenes que pudieran medirse más objetivamente. En marzo de 2023, la conservadora Marina Ruiz Molina viajó a varios museos de la India con un equipo de MBI que incluía un conjunto de lámparas Met MCLED para evaluar la idoneidad del equipo del Met y las metodologías de captura para los estudios comparativos de estas colecciones (Figura 4). Se fotografiaron pinturas creadas en algunas cortes de Rajastán a mediados del siglo XVIII, incluidos los fondos del Mehrangarh Museum Trust de Jodhpur, el Museo del Palacio de la Ciudad de Udaipur, el City Palace Museum de Jaipur y el CSMVS de Mumbai, y las imágenes resultantes se compararon con imágenes de la colección de el Met (Figuras 5 y 6). Como resultado de estos exámenes comparativos, se pudieron establecer ciertos patrones en el uso de colorantes verdes que sentaron las bases para posteriores análisis elementales en el Met y en el Museo del Palacio de la Ciudad de Udaipur. Una de las mejoras de los dispositivos Met MCLED con respecto a la configuración halógena anterior para la fotografía infrarroja reflejada es que los LED IR producen fotografías con una iluminación uniforme y sin puntos calientes. Esto, a su vez, produce imágenes infrarrojas de falso color más fiables (un método de procesamiento de imágenes que implica la sustitución de canales utilizando imágenes infrarrojas

Figure 4 | Imaging session with the Met MCLED lights at City Palace Museum Udaipur, India.

Figura 4 | Sesión de formación de imágenes con las luces Met MCLED en el Museo del Palacio de la Ciudad de Udaipur, India.

Figure 5 | *Maharaja Bijay Singh in His Harem.* Ca. 1770. Ink, opaque watercolor, and gold on paper. 34.6 x 27 cm. India. The Metropolitan Museum of Art, Purchase, Friends of Asian Art Gifts, 2002 (2002.38). From left to right, Visible, UV-Induced Visible Luminescence, UV Reflected, False Color UV, IR Reflected, False Color IR.

Figura 5 | *Maharajá Bijay Singh en su harén.* Ca. 1770. Tinta, acuarela opaca y oro sobre papel. 34,6 x 27 cm. India. The Metropolitan Museum of Art, Purchase, Friends of Asian Art Gifts, 2002 (2002.38). De izquierda a derecha: visible, luminiscencia visible inducida por UV, UV reflejado, falso color UV, IR reflejado, falso color IR.

visible light images).[2] In addition, their portability and ease of installation and use were greatly beneficial for this travelling project.

reflejadas y visibles).[2] Además, su portabilidad y facilidad de instalación y uso fueron muy beneficiosas para este proyecto itinerante.

[2] False color infrared channel substitution involves moving the green channel of the VIS image to the blue channel, the red channel to the green, and replacing the red channel with the IR reflected image (Warda et al., 2017).

[2] La sustitución del canal infrarrojo de falso color implica mover el canal verde de la imagen VIS al canal azul, el canal rojo al verde y sustituir el canal rojo por la imagen IR reflejada (Warda et al., 2017).

Figure 6 | Left to right: FCIR detail of *Maharaja Bijay Singh in His Harem* (2002.38); FCIR detail of an eighteenth-century court painting from the Mehrangarh Museum Trust. In both FCIR images, false color responses of green colorants provide insights into the use of two distinct types of green to render different tree species in a very similar manner.

Figura 6 | De izquierda a derecha: Detalle FCIR del *Maharajá Bijay Singh en su harén* (2002.38); detalle FCIR de una pintura de la corte del siglo XVIII del Mehrangarh Museum Trust . En ambas imágenes FCIR, las falsas respuestas cromáticas de los colorantes verdes permiten comprender el uso de dos tipos distintos de verde para representar especies arbóreas diferentes de manera muy similar.

User Report 2

Kisook Suh, Textile Conservation,
The Metropolitan Museum of Art.
Project: *Heroes* Tapestries Imaging.

The Textile Conservation Department has been working on a multi-year conservation campaign of the series of the *Heroes* Tapestries of The Met Cloisters collection since 2018. One of the keen interests is to verify the relations of the fragments that comprise the tapestry hangings in the gallery. It is known that over ninety fragments were disassembled and assembled to make up the current layout of four tapestry hangings when it was acquired in the late 1940s. We learned that with textiles, MBI may visualize certain material characteristics and it could be useful to distinguish material differences including certain dyes. When the campaign started, we could not execute MBI, partly because

Informe de usuario 2

Kisook Suh, Conservación de Textiles,
Museo Metropolitano de Arte.
Proyecto: *Heroes* Tapestries Imaging.

El Departamento de Conservación Textil trabaja desde 2018 en una campaña plurianual de conservación de la serie de los Tapices de *los Héroes* de la colección The Met Cloisters. Uno de los grandes intereses es verificar las relaciones de los fragmentos que componen los tapices colgados en la galería. Se sabe de más de noventa fragmentos fueron desmontados y ensamblados para componer la disposición actual de cuatro tapices colgados cuando se adquirió a finales de la década de 1940. Aprendimos que con los textiles, el MBI puede visualizar ciertas características del material y podría ser útil para distinguir diferencias de materiales, incluidos ciertos tintes. Cuando se inició la campaña, no pudimos ejecutar la MBI, en parte por la incertidumbre sobre el efecto de la exposición a los rayos

Figure 7 | Black box setup on the worktable during conservation treatment. Left: view of the outside of the setup; right: view of the inside of the setup.

Figura 7 | Montaje de la caja negra en la mesa de trabajo durante el tratamiento de conservación. Izquierda: vista exterior del montaje; derecha: vista interior del montaje.

of uncertainty of the effect of UV exposure while imaging but mostly because of the inconvenience of the setup that required changing three different sets of lamps for each shot.

The most important improvement brought by using the Met MCLED fixtures to image textile collections is the increased versatility of the setting, which widens how and when MBI can be used. Oversize textiles, such as tapestries and carpets, require specific settings in imaging. In order to capture large surfaces of such textiles, multiple frames are taken while a camera and lamps are operated deliberately by a rig system, usually at ceiling height. Using different sets of radiation sources during MBI of large textiles adds more complication to a set up that is already challenging, with space, light control, and handling issues.

Thanks to the versatility of switching radiation sources within the same fixture of Met MCLED, the MBI setup was more adaptable, and it was achieved

UV durante la toma de imágenes, pero sobre todo por la incomodidad de la configuración que requería cambiar tres juegos diferentes de lámparas para cada toma.

La mejora más importante que aporta el uso del dispositivo Met MCLED para la obtención de imágenes de colecciones textiles es que ofrece mayor versatilidad de la configuración, que amplía cómo y cuándo puede utilizarse la MBI. Los textiles de gran tamaño, como tapices y alfombras, requieren ajustes específicos en la captura de imágenes. Para capturar las grandes superficies de estos tejidos, se toman múltiples fotogramas mientras una cámara y unas lámparas se manejan deliberadamente mediante un sistema de guías, normalmente a la altura del techo. El uso de distintos conjuntos de fuentes de radiación durante la MBI de textiles de gran tamaño añade más complicaciones a un montaje que ya es difícil, con problemas de espacio, control de la luz y manipulación.

Gracias a la versatilidad de cambiar las fuentes de radiación dentro del mismo dispositivo Met MCLED, la configuración de la MBI fue más adaptable y se consiguió

Figure 8 | *Julius Caesar* (from the *Heroes Tapestries*). Ca. 1400–1410. Wool warp, wool wefts. South Netherlandish. 420.4 × 238 cm. The Metropolitan Museum of Art, Gift of John D. Rockefeller Jr., 1947 (47.101.3). Left to right: Visible and Visible-Induced IR Luminescence (detail) contrasting the restored areas and the original tapestry.

Figura 8 | *Julio César* (de los *Tapices de los Héroes*). Ca. 1400-1410. Urdimbre de lana, trama de lana. Países Bajos meridionales. 420,4 × 238 cm. The Metropolitan Museum of Art, donación de John D. Rockefeller Jr., 1947 (47.101.3). De izquierda a derecha: Luminiscencia IR visible e inducida (detalle) contrastando las zonas restauradas y el tapiz original.

without extra preparatory activities. Moving a tapestry to another space requires a considerable amount of work and it adds stress to the tapestry due to handling and transportation. Instead, we were able to create a black box setup for the tapestry on its workstation. The Met MCLED fixture provided standardized radiation of UV, VIS, and IR without disrupting the conservation work setup (Figures 7 and 8).

sin actividades preparatorias adicionales. Trasladar un tapiz a otro espacio requiere un trabajo considerable y añade estrés a la pieza debido a la manipulación y el transporte. En su lugar, se pudo crear una configuración de caja negra para el tapiz en su estación de trabajo. El dispositivo Met MCLED proporcionó una radiación normalizada de UV, VIS e IR sin perturbar la configuración del trabajo de conservación (Figuras 7 y 8).

User Report 3

Dawn Kriss, Objects Conservation,
The Metropolitan Museum of Art.
Project: Michael C. Rockefeller Wing Renovation Project Imaging.

The Objects Conservation Department has benefited greatly from the streamlined approach offered through the Met MCLED light setup, utilizing them in a number of technical studies. A single set of lights facilitates quicker capture and more even radiation across and within capture sets. In addition to imaging in several dedicated blacked out photo spaces in the Objects Conservation Department and its respective satellite workstations, the portability of the fixtures also allows for more frequent imaging in the galleries, where various approaches to blacking out stray light have been executed.

For the ongoing renovation project occurring in the Michael C. Rockefeller Wing, which involves work with collections from Africa, Oceania and the Ancient Americas, the conservation team has imaged close to twenty three-dimensional pieces with the Met MCLED lights, with current plans to examine and capture many more items. Pieces are imaged when the curators are especially interested in understanding the material technology, if the items have complex restoration or painted surfaces present which require further documentation, and if work with the pieces will involve investigative studies or scientific analysis. This has become a first step in understanding these works, providing a helpful visualization of the materials with differential responses in the varying wavelengths of light. For smaller items (under 24 inches), two lights are sufficient (Figure 9), while for larger works we have found four lights to be necessary to ensure proper radiation.

Informe de usuario 3

Dawn Kriss, Conservación de Objetos,
Museo Metropolitano de Arte.
Proyecto: *Imaging* para el Proyecto de renovación del Ala Michael C. Rockefeller.

El Departamento de Conservación de Objetos se ha beneficiado enormemente del enfoque racionalizado que ofrece la configuración del sistema de iluminación del Met MCLED, utilizándolas en una serie de estudios técnicos. Un único sistema de luces facilita una captura más rápida y una radiación más uniforme en todos y cada uno de los equipos de captura. Además de la captura de imágenes en varios espacios fotográficos sin entrada de luz y completamente oscurecidos tanto en el Departamento de Conservación de Objetos como en sus respectivas estaciones de trabajo satélite, la portabilidad del sistema de iluminación también permite una mayor frecuencia de captura de imágenes en las galerías, donde se han ejecutado varios enfoques para prevenir la luz externa y asegurar espacios oscurecidos.

Para el proyecto de renovación que se está llevando a cabo en el Ala Michael C. Rockefeller, en el que se trabaja con colecciones de África, Oceanía y la América Antigua, el equipo de conservación ha obtenido imágenes de cerca de veinte piezas tridimensionales con el sistema de iluminación Met MCLED, y tiene previsto examinar y capturar muchas más. Se toman imágenes de las piezas cuando los conservadores están especialmente interesados en comprender la tecnología del material, si las piezas presentan restauraciones complejas o superficies pintadas que requieren una mayor documentación, y también si el trabajo con las piezas puede implicar, además, estudios de investigación o análisis científicos. Esta técnica se ha convertido en un primer paso en la comprensión de estas obras, ya que proporciona una visualización de los materiales muy útil, con respuestas diferenciales en las distintas longitudes de onda de la luz. Para las piezas más pequeñas (menos de 24 pulgadas), dos luces son suficientes (Figura 9), mientras que para las obras más grandes hemos comprobado que son necesarias cuatro luces para garantizar una radiación adecuada.

Figure 9 | Remojadas. *"Smiling" Figure.* 7th-8th century. Ceramic. Mexico. 47.5 x 29.9 x 15.9 cm. Metropolitan Museum of Art, The Michael C. Rockefeller Memorial Collection, Bequest of Nelson A. Rockefeller, 1979 (1979.206.1211). From left to right: Visible, UV-Induced Visible Luminescence, UV Reflected, False Color UV, IR Reflected, False Color IR.

Figura 9 | Remojadas. *Figura "Sonriente".* Siglos VII-VIII. Cerámica. México. 47,5 x 29,9 x 15,9 cm. Museo Metropolitano de Arte, The Michael C. Rockefeller Memorial Collection, legado de Nelson A. Rockefeller, 1979 (1979.206.1211). De izquierda a derecha: Visible, luminiscencia visible inducida por UV, UV reflejado, falso color UV, IR reflejado, falso color IR.

External Testing

E. Keats Webb and Sebastian Saavedra, Museum Conservation Institute, Smithsonian Institution.
Project: Comparison to existing radiation with technical targets and sample letterpress paper object.

The Met MCLED lights were tested in the Smithsonian's Museum Conservation Institute (MCI) Imaging Studio and compared to a lighting setup used routinely for MBI at MCI (Figures 10 and 11). This testing aligns with the Imaging Studio research to understand low-cost and low-barrier solutions and work towards improved workflows and best practices for conservation and cultural heritage imaging. The Imaging Studio MBI setup included two Elinchrom 400BX studio strobes with softboxes used for VIS and IR, and two Wildfire VioStorm VS-60 60W 365 nm LED UV lamps for UVL. A historical paper document was imaged with the two setups to assess and compare the Met MCLED lights. Table 4 includes the equipment (camera, lens, and filters) used along with the

Pruebas externas

E. Keats Webb y Sebastian Saavedra, Museum Conservation Institute, Smithsonian Institution.
Proyecto: Comparación con la radiación existente con cartas técnicas y muestras de papel de imprenta.

El sistema de iluminación Met MCLED se probó en el departamento de imagen (Imaging Studio) del Instituto de Conservación del Museo (MCI) del Smithsonian y se comparó con una configuración de iluminación utilizada habitualmente para la MBI en el MCI (Figuras 10 y 11). Estas pruebas están en consonancia con la investigación del Imaging Studio para comprender soluciones de bajo coste y baja complejidad, y trabajar para mejorar los sistemas de trabajo y las mejores prácticas para la conservación y la obtención de imágenes del patrimonio cultural. La configuración MBI de Imaging Studio incluía dos flashes de estudio Elinchrom 400BX con softboxes utilizados para VIS e IR, y dos lámparas UV Wildfire VioStorm VS-60 60W 365 nm LED para UVL. Se tomaron imágenes de un documento histórico en papel con las dos configuraciones para evaluar y comparar las lámparas Met MCLED. La Tabla 4 incluye el equipo (cámara, objetivo y

shutter speeds for each technique and the image sets for the two setups (the ISO and aperture were consistent for all images – ISO 100 and f/8).

Two Met MCLED lights work well for objects of a certain size (small to medium, under 24 inches) that are mostly two-dimensional and can be positioned on a tabletop or copy stand. These lights help with standardization of MBI as there are a range of radiation sources and setups being used. The lights may be less useful for objects that are larger and may not be easily positioned on a tabletop or copy stand. The lights have a small footprint and would be quite portable to do imaging in other labs and locations.

The lights would be best used in a lab where there is full control of the room lighting and the ability to turn off all lights and reduce/eliminate ambient stray radiation. The exposures can be quite long for the modalities using the Met MCLED lights so ambient stray radiation would be an issue when using these lights. There may be a safety consideration when turning the lights on, as the UV or IR LEDs may be inadvertently oriented towards the user. UV safety gear was worn for the acquisition of the full set of images.

filtros) utilizado junto con las velocidades de obturación para cada técnica y los conjuntos de imágenes para las dos configuraciones (la ISO y la apertura fueron constantes para todas las imágenes: ISO 100 y f/8).

Dos de las luces del Met MCLED funcionan bien para objetos de cierto tamaño (de pequeño a mediano, menos de 24 pulgadas) que son en su mayoría bidimensionales y pueden colocarse sobre una mesa o un atril. Estas luces ayudan a estandarizar el MBI, ya que se utilizan diversas fuentes de radiación y configuraciones. Las luces pueden ser menos útiles para objetos que son más grandes y que no pueden colocarse fácilmente sobre una mesa o un soporte. Las luces ocupan poco espacio y serían bastante portátiles para realizar imágenes en otros laboratorios y lugares.

Este sistema de iluminación se utilizaría mejor en un laboratorio en el que exista un control total de la iluminación de la sala y la posibilidad de apagar todas las luces y reducir/eliminar la luz ambiental no deseada. Las exposiciones pueden ser bastante largas para las modalidades que utilizan Met MCLED, por lo que la luz ambiental sería un problema al utilizar estas luces. Puede haber una consideración de seguridad al encender las luces, ya que los LED UV o IR pueden orientarse hacia el usuario de

Table 4 | Imaging Modalities, Cameras, Filters, and Corresponding Shutter Speeds.

Tabla 4 | Modalidades de imagen, cámaras, filtros y velocidades de obturación correspondientes.

Imaging Modality / Imágenes Modalidad	Camera and lens / Cámara y objetivo	Filter(s) / Filtro(s)	Shutter speed (sec) / Velocidad de obturación (seg)	
			Elinchrom + VioStorm	Met MCLED Lights / Luces Met MCLED
VIS	Canon 5D Mark II (unmodified / sin modificar) + CoastalOpt 60 mm UV-VIS-IR APO Macro lens / Macro	No filter / Sin filtro	1/100	0.5
UVL	Canon 5D Mark II (unmodified / sin modificar) + CoastalOpt 60mm UV-VIS-IR APO Macro lens / Macro	Kodak Wratten 2E and/y Peca 916	No filter: 0.25 Filters: 0.3	No filter: 15 Filters: 20
UVR	Canon 5D Mark II (monochrome modification by / modificación monocroma por MaxMax LDP LLC) + CoastalOpt 60 mm UV-VIS-IR APO Macro lens / Macro	Baader U-Filter (60 nm HBW/320-380 nm)	1/50	1.6
IR	Canon 5D Mark II (monochrome modification by / modificación monocroma por MaxMax LDP LLC) + CoastalOpt 60 mm UV-VIS-IR APO Macro lens / Macro	Peca 910 (87C)	1/100	6

The lights were tested with only a horizontal setup with a two-dimensional object with VIS, UVL, UVR and IR images acquired. The results from the two setups were assessed and compared visually.

The Met MCLED lights provided more even radiation for the flat paper document that is smaller than the length of the lights. This is most noticeable with the UVL and UVR images. The combination of the studio strobes and VioStorm UV sources meant that the strobes were positioned in a similar position as the Met MCLED lights, but the VioStorm UV lamps were positioned at an angle (Figure 10). From the results, VioStorm UV lamps were not positioned so that the object was evenly irradiated (which should have been adjusted at the time of capture), so the improved even radiation with the Met MCLED lights is more noticeable. The setup with the Met MCLED lights is straightforward to ensure that the Met MCLED lights are positioned to irradiate an object evenly (Figure 11).

In comparing the images from the two setups, no noticeable visual difference was observed with the VIS images, but there were differences noted for the IR and UVL images. There is more surface dimensionality noticeable with the IR image taken with the Met MCLED light (Figure 12 top) as compared to the IR image taken with studio strobes (Figure 12 bottom).

UVL images were acquired with and without filters. There is a slight visual color difference between the UVL images acquired with filters, but the features in the paper object are being recorded very similarly between the two images (Figure 13). There is more noticeable difference between the UVL images taken without filters with the image taken using the VioStorm recording quite

forma involuntaria. Para la adquisición del conjunto completo de imágenes se utilizó un equipo de protección individual contra luz UV.

Las luces se probaron únicamente con una configuración horizontal con un objeto bidimensional con imágenes VIS, UVL, UVR e IR adquiridas. Los resultados de las dos configuraciones se evaluaron y compararon visualmente.

El sistema de iluminación Met MCLED proporciona una radiación más uniforme para el documento de papel plano que es más pequeño que la longitud de las luces. Esto se aprecia sobre todo en las imágenes UVL y UVR. La combinación de las luces estroboscópicas de estudio y las fuentes UV VioStorm significó que las luces estroboscópicas se colocaron en una posición similar a la de las luces Met MCLED, pero las lámparas UV VioStorm se colocaron en ángulo (Figura 10). A partir de los resultados, las lámparas UV VioStorm no se colocaron de modo que el objeto recibiera una irradiación uniforme (que debería haberse ajustado en el momento de la captura), por lo que la mejora de la radiación uniforme con las luces Met MCLED es más notable. La configuración con el sistema Met MCLED es sencilla para garantizar que las luces Met MCLED estén colocadas de forma que irradien un objeto uniformemente (Figura 11).

Al comparar las imágenes de las dos configuraciones, no se observaron diferencias visuales notables en las imágenes VIS, pero sí en las imágenes IR y UVL. Se aprecia una mayor dimensionalidad de la superficie en la imagen IR tomada con el sistemaMet MCLED (Figura 12, arriba) en comparación con la imagen IR tomada con luz estroboscópica de estudio (Figura 12, abajo).

Las imágenes UVL se obtuvieron con y sin filtros. Hay una ligera diferencia visual de color entre las imágenes UVL adquiridas con filtros, pero las características del objeto de papel se registran de manera muy similar entre las dos imágenes (Figura 13). Hay una diferencia más notable entre las imágenes UVL tomadas sin filtros, ya que

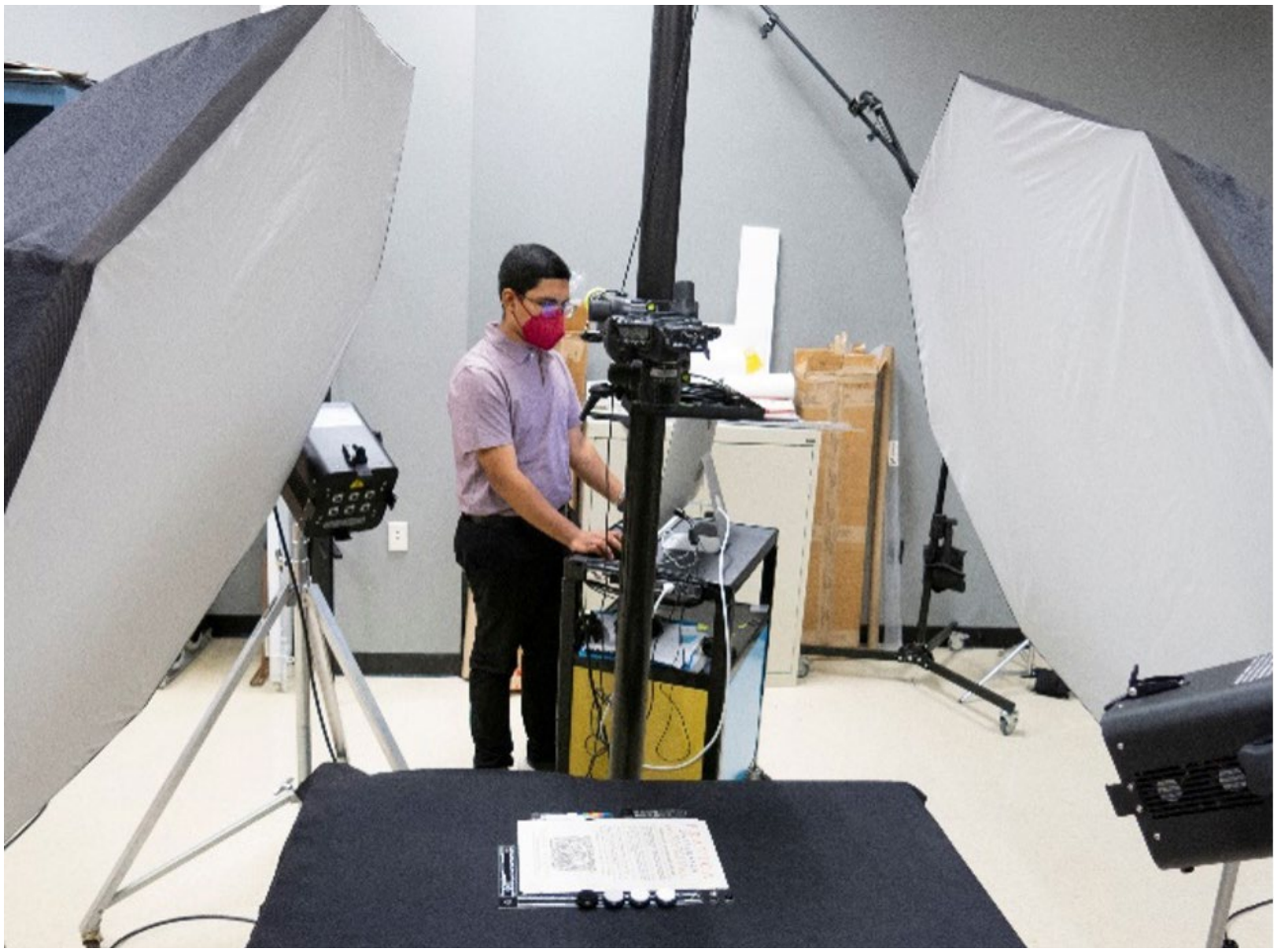


Figure 10 | Multiband imaging setup with MCI lights (Elinchrom studio strobes and VioStorm UV).

Figura 10 | Configuración de imágenes multibanda con luces MCI de imagen multimodal con (luces estroboscópicas de estudio Elinchrom y VioStorm UV).

a bit of ambient radiation. Figure 14 compares the difference of the details from the UVL images taken without filters. The difference in exposure time between the UVL images is significant (1/4 sec for the image acquired with the VioStorm lamps; 15 sec for the image acquired with the Met

la imagen tomada con el VioStorm registra bastante radiación ambiental. La Figura 14 compara la diferencia de los detalles de las imágenes UVL tomadas sin filtros. La diferencia en el tiempo de exposición entre las imágenes UVL es significativa (1/4 seg. para la imagen adquirida con las lámparas VioStorm; 15 seg. para la imagen adquirida con las luces Met MCLED). A pesar de una exposición mucho

Figure 11 | Multimodal imaging setup with Met MCLED lights and overhead lights off.

Figura 11 | Configuración Luces MCLED y luces superiores apagadas.

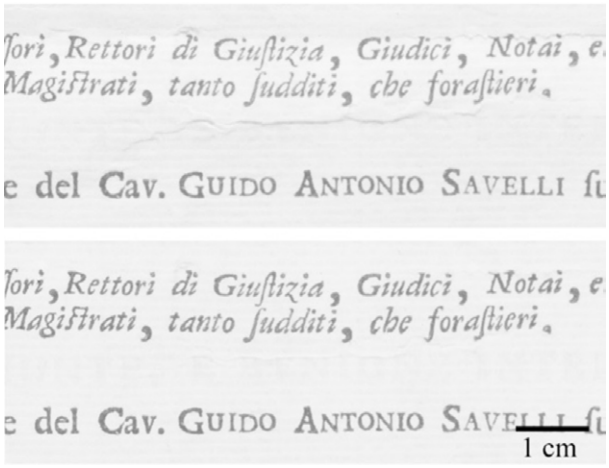


Figure 12 | Detail of historic paper document from MCI education collection. 23 x 36 cm. EDU.2024.5.1. Reflected IR image taken with (top) Met MCLED lights and (bottom) Elinchrom studio strobes.

Figura 12 | Detalle de documento histórico en papel de la colección de educación del MCI. 23 x 36 cm. EDU.2024.5.1. Imagen IR reflejada tomada con (arriba) iluminación Met MCLED y (abajo) estroboscopios de estudio Elinchrom.

MCLED lights). Despite a much longer exposure, the image acquired with the Met MCLED lights is recording less ambient radiation.

más larga, la imagen adquirida con el sistema de iluminación Met MCLED está registrando menos radiación ambiental.

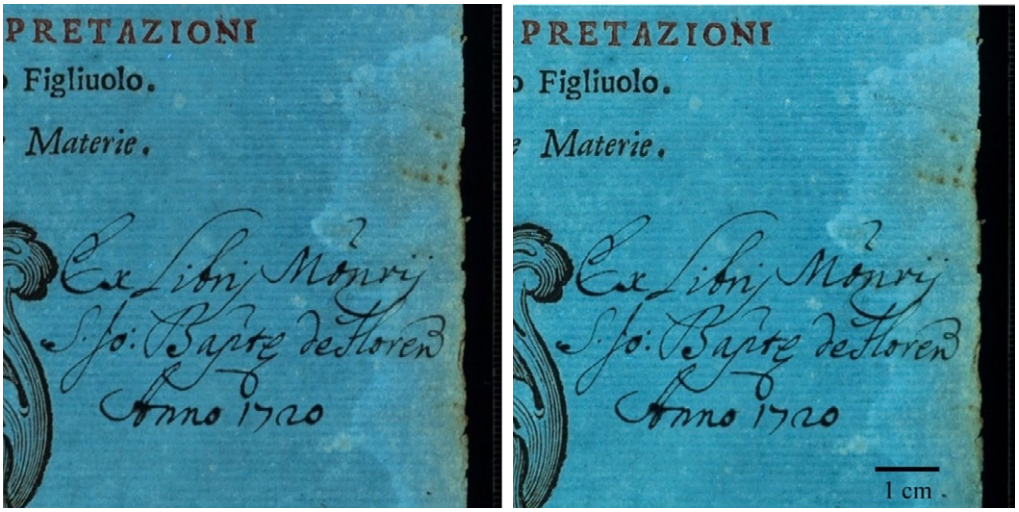


Figure 13 | Detail of historic paper document from MCI education collection. 23 x 36 cm. EDU.2024.5.1. UVL images (with filters on the camera) taken with (left) Met MCLED lights and (right) VioStorm UV lights.

Figura 13 | Detalle de documento histórico en papel de la colección de educación del MCI. 23 x 36 cm. EDU.2024.5.1. Imágenes UVL (con filtros en la cámara) tomadas con (izquierda) iluminación Met MCLED y (derecha) lámparas VioStorm UV.

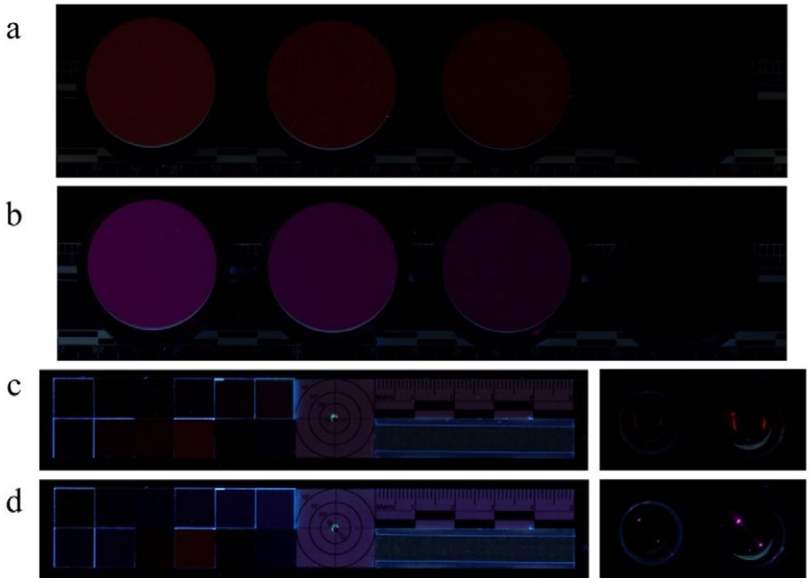


Figure 14 | Detail of targets from UVL images (without filters on cameras): (a) Spectralon targets in UVL image acquired with Met MCLED lights; (b) Spectralon targets in UVL image acquired with VioStorm UV lamps; (c) AIC PhD target (left) and spheres (right) in UVL image acquired with Met MCLED lights; (d) AIC PhD target (left) and spheres (right) in UVL image acquired with VioStorm UV lamps.

Figura 14 | Detalle de las tarjetas de referencia de las imágenes UVL (sin filtros en las cámaras): (a) Referencias Spectralon en imagen UVL adquirida con iluminación Met MCLED; (b) Referencias Spectralon en imagen UVL adquirida con lámparas VioStorm UV; (c) Tarjeta AIC PhD (izquierda) y esferas (derecha) en imagen UVL adquirida con Met MCLED; (d) Tarjeta AIC PhD (izquierda) y esferas (derecha) en imagen UVL adquirida con lámparas VioStorm UV.

A single, portable lighting setup for UV, VIS, and IR is a significant advantage. This reduces the amount of equipment needed and makes setup and acquisition quick as it was easy and fast to switch between the radiation sources. When using multiple radiation sources for MBI imaging, more time is needed for setup and to switch between sources for different modalities.

Discussion

A goal of the prototype fixture validation phase has been to gather valuable feedback from a wide range of practitioners beyond the examples highlighted in section 3 to refine the design specifications. Table 5 summarizes the user reported improvements as compared to legacy radiation setups. As of this writing, the prototype fixtures have been in practical use for almost a year. The following is a summary of feedback along with the considerations to design changes.

User Observations and Design Considerations

During the course of this project, one of the most difficult challenges has been to keep the scope in sight. Striking the right balance between core capabilities and a practical, accessible, and affordable fixture design has always been a top priority. In this section technical feedback is paired with design consideration notes (in bullet points).

Long UV Exposures

- When irradiating larger objects (greater than approximately 24 inches) users report long exposure times (sometimes over 30 seconds) sometimes necessitating higher than desired ISO settings. A common solution is to double

Una única configuración de iluminación portátil para UV, VIS e IR es una ventaja significativa. Esto reduce la cantidad de equipo necesario y agiliza la configuración y la adquisición, ya que resulta fácil y rápido cambiar entre las fuentes de radiación. Cuando se utilizan múltiples fuentes de radiación para la obtención de imágenes MBI, se necesita más tiempo para la configuración y para cambiar entre las diferentes modalidades.

Debate

Uno de los objetivos de la fase de validación del prototipo ha sido recabar valiosos comentarios de una amplia gama de profesionales, más allá de los ejemplos destacados en el apartado 3, para perfeccionar las especificaciones del diseño. En la Tabla 5 se resumen las mejoras comunicadas por los usuarios en comparación con las configuraciones de radiación anteriores. En el momento de la redacción de este artículo, el prototipo lleva casi un año utilizándose en la práctica. A continuación se presenta un resumen de los comentarios y las consideraciones sobre los cambios de diseño.

Observaciones de los usuarios y consideraciones sobre el diseño

A lo largo de este proyecto, uno de los retos más difíciles ha sido no perder de vista el alcance. Lograr un equilibrio adecuado entre las capacidades básicas y un diseño práctico, accesible y asequible ha sido siempre una prioridad absoluta. En esta sección, los comentarios técnicos van acompañados de notas sobre el diseño (listados abajo).

Exposiciones prolongadas a la luz UV

- Cuando se irradian objetos más grandes (de más de 24 pulgadas aproximadamente), los usuarios reportan largos tiempos de exposición (a veces más de 30 segundos) que a menudo requieren

Table 5 | User Reported Improvements Over Legacy Radiation.

Uniformity	Users report improved uniformity. In the past, users struggled with uneven radiation, especially across UV, IR, and VIS.
Consistency	All users report greater consistency across projects and individual operators within departments.
Quality and Repeatability	Cross-departmental users have benefitted from using consistent equipment. Coupled with ISO 19264 scene-referred techniques, users are able to leverage objective methods to configure and document imaging with improved accuracy.
Convenience and Productivity	The simple fixture design has made multiband imaging more accessible in labs, in the field and in galleries.
Accessibility	Conservation departments often share fixtures for special projects such as oversized artworks.

Tabla 5 | Mejoras comunicadas por los usuarios con respecto a los equipos de radiación anteriores.

Uniformidad	Los usuarios afirman haber mejorado la uniformidad. En el pasado, los usuarios tenían problemas con la radiación desigual, especialmente en UV, IR y VIS.
Coherencia	Todos los usuarios informan de una mayor coherencia entre proyectos y operadores individuales dentro de los departamentos.
Calidad y repetibilidad	Los usuarios de distintos departamentos se han beneficiado del uso de equipos coherentes. Junto con las técnicas de Scene-Referred ISO 19264, los usuarios pueden aprovechar los métodos objetivos para configurar y documentar las imágenes con mayor precisión.
Comodidad y productividad	El sencillo diseño del soporte ha hecho más accesible la obtención de imágenes multibanda en laboratorios, sobre el terreno y en galerías.
Accesibilidad	Los departamentos de conservación suelen compartir las instalaciones para proyectos especiales, como obras de arte de gran tamaño.

up the fixtures (2x light output). It's important to note that the LED components are supplied in 16-foot reels (enough to build four fixtures).

- There are no plans to change the overall fixture design to add more LEDs because it would require an all new larger, heavier, less portable design. Additionally, the current design benefits from almost completely off-the shelf-components; adding more LEDs would require more custom elements.

Improve Labeling

- Prototype fixtures did not include markings and in darkened environments it is difficult to know what settings are being used especially because the IR channel is not visually distinguishable from the "Off" position.

ajustes ISO más altos de lo deseado. Una solución común es duplicar los dispositivos (2 veces la emisión). Es importante tener en cuenta que los componentes LED se suministran en bobinas de 16 pies (suficientes para construir cuatro aparatos por bobina).

- No está previsto cambiar el diseño general de la iluminación para añadir más LED, ya que requeriría un nuevo diseño más grande, más pesado y menos portátil. Además, el diseño actual se beneficia casi por completo de componentes estándar; añadir más LED requeriría más elementos personalizados.

Mejorar el etiquetado

- Los prototipos no incluían marcas y en entornos oscuros es difícil saber qué ajustes se están utilizando, especialmente porque el canal IR no se distingue visualmente de la posición "Off".

- Through community conversations a suggestion was made by Jeffrey Warda, conservator at the Guggenheim Museum, to incorporate a red or white LED pilot light when the IR channel is active. It has been agreed that for IR reflectance and luminescence imaging techniques, red or white stray lights will be blocked from the camera through the filters.

Passive Power-Off Feature

- Users report there have been instances when the lights have been left on for extended periods of time when in IR mode because the radiation they emit is completely invisible to the human eye. In addition to a pilot light to indicate the IR channel is powered on, users suggested a passive power-off functionality (of all channels).

- In the revised design an additional momentary switch will power off the lights, regardless of the selected channel. The initial default power time before automatic power down will be 5 minutes. After 5 minutes the lights will automatically power down. A single push will restart the sequence. The inconvenience of taking the extra step of pressing the momentary switch to activate the lights is outweighed by the additional safety. It is still recommended to unplug the fixtures when not in use.

Future RGB Fixture

- Users in this trial phase of the Met MCLED fixtures have had a generally positive experience. They unanimously agree that it would be useful to create an RGB version with red, green, and blue LED channels to

- A través de conversaciones con la comunidad, Jeffrey Warda, conservador del Museo Guggenheim de Nueva York, sugirió incorporar una luz piloto LED roja o blanca cuando el canal IR esté activo. Se ha acordado que para las técnicas de imagen de reflectancia y luminiscencia IR, las luces de piloto rojas o blancas de la cámara se bloquearán a través de los filtros.

Función de apagado pasivo

- Los usuarios informan de que ha habido casos en los que las luces se han dejado encendidas durante largos periodos de tiempo cuando estaban en modo IR porque la radiación que emiten es completamente invisible para el ojo humano. Además de una luz piloto para indicar que el canal IR está encendido, los usuarios sugirieron una funcionalidad de apagado pasivo (de todos los canales).

- En el diseño revisado, un interruptor momentáneo adicional apagará las luces, independientemente del canal seleccionado. El tiempo de encendido inicial por defecto antes del apagado automático será de 5 minutos. Transcurridos 5 minutos, las luces se apagarán automáticamente. Una simple pulsación reiniciará la secuencia. El inconveniente de dar el paso adicional de pulsar el interruptor momentáneo para activar las luces se ve compensado por la seguridad adicional. No obstante, se recomienda desenchufar las luces cuando no se utilicen.

Futura iluminación RGB

- Los usuarios de esta fase de prueba del sistema de iluminación Met MCLED han tenido en general una experiencia positiva. Coinciden unánimemente en que sería útil crear una versión RGB con canales LED rojo, verde y azul para obtener mejores

obtain better results in certain MBI techniques, such as Visible-Induced Infrared Luminescence and Visible-Induced Visible Luminescence.

- Early pilot fixtures will be repurposed to pilot RGB fixtures.

Lens Shades to Prevent Camera Lens Flare

- The prototype lights, while compact, throw a wide beam angle of light and this causes camera flare. While cards and/or lens shades can mitigate flare, users asked if shades or barndoors could be designed.

- One of our goals is to collect feedback on the design of future accessories. Barndoors and other accessories will be considered in future phases.

Design Improvements

Adopted design changes based on the user observations and design considerations discussed in the previous section are listed in Table 6, and Figure 15 provides a drawing of the preliminary design changes for the light fixture.

The effort to assemble 24 individual fixtures was a valuable learning experience. A team of volunteer conservators and conservation fellows gathered for build sessions, during which complicated steps that required drilling, trimming and manual fitting of several elements came to the forefront. Most of these extra steps were due to small errors in 3D printed parts related to the change from PLA "desktop" printing to commercial ABS tolerances. It was also discovered that the rotation end stops (which were identical for all end cap models) interfered with correct symmetrical

resultados en determinadas técnicas MBI, como la luminiscencia infrarroja inducida por luz visible y la luminiscencia visible inducida por luz visible.

- Los primeros sistemas de iluminación piloto se convertirán en un piloto de iluminación RGB.

Viseras para evitar los destellos del objetivo de la cámara

- Las luces prototipo, aunque compactas, emiten un haz de luz de gran ángulo, lo que provoca destellos en la cámara. Los usuarios preguntaron si se podían diseñar aletas (*barndoors*) para mitigar los destellos.

- Uno de nuestros objetivos es recoger opiniones sobre el diseño de futuros accesorios. En futuras fases se estudiará la posibilidad de crear aletas y otros accesorios.

Mejoras de diseño

Los cambios de diseño adoptados a partir de las observaciones de los usuarios y las consideraciones de diseño expuestas en la sección anterior se enumeran en la Tabla 6, y la Figura 15 muestra un dibujo de los cambios de diseño preliminares para los sistemas de iluminación.

El esfuerzo de ensamblar 24 dispositivos individuales fue una valiosa experiencia de aprendizaje. Un equipo de conservadores voluntarios y becarios de conservación se reunieron para las sesiones de construcción de estos sistemas, durante las cuales se pusieron de manifiesto pasos complicados que requerían taladrar, recortar y ajustar manualmente varios elementos. La mayoría de estos pasos adicionales se debieron a pequeños errores en las piezas impresas en 3D relacionados con el cambio de la impresión en PLA "de escritorio" por el ABS comercial que ofrece una mayor precisión. También se descubrió que los topes finales de rotación (que eran idénticos para todos los modelos de

Table 6 | Summary of Current Design Changes.

LED specifications	No change.
General fixture design	Changed end cap part designs to greatly simplify the fabrication and assembly of the yoke mounting support.
	Revised end cap designs and channel markings to address differences in left and right fixtures.
Light shaping	Added mounting points for future lens shades on revised end cap parts.
IR channel	Added visible pilot light (red LED) to indicate IR radiation is active.
Power / user interface	Added passive power off timer (5 minutes). A single press will restart the timer sequence. The four-position channel selector switch retains the "Off" position.
Power / channel selector switch	Added clear "Off / IR / UV / VIS" channel selector switch markings.

Tabla 6 | Resumen de los cambios de diseño actuales.

Especificaciones LED	Sin cambios.
Diseño general de la fijación	Cambios en el diseño de las tapas para simplificar la fabricación y el montaje del soporte de montaje del yugo.
	Se han revisado los diseños de las tapas y las marcas de los canales para tener en cuenta las diferencias entre las fijaciones izquierda y derecha.
Modelado de la luz	Se han añadido puntos de montaje para futuros parasoles de lentes en las piezas revisadas de la tapa.
Canal IR	Se ha añadido un piloto visible (LED rojo) para indicar que la radiación IR está activa.
Potencia / interfaz de usuario	Se ha añadido un temporizador de apagado pasivo (5 minutos). Una sola pulsación reiniciará la secuencia del temporizador. El selector de canal de cuatro posiciones conserva la posición "Off".
Conmutador de potencia/selector de canal	Se han añadido marcas claras en el selector de canal "Apagado / IR / UV / VIS".

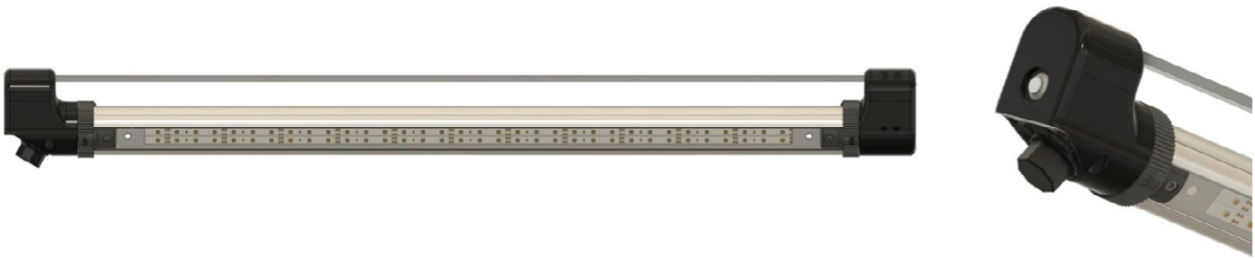


Figure 15 | Drawing of preliminary design changes for MET MCLED light fixture. 3D printed end caps simplify yoke construction (left). Revised power switch markings, IR pilot light and button to activate the power off timer (right).

Figura 15 | Dibujo de los cambios preliminares en el diseño del sistema de iluminación Met MCLED. Las tapas de los extremos impresas en 3D simplifican la construcción del soporte de horquilla (izquierda). Marcas del interruptor de encendido revisadas, luz piloto IR y botón para activar el temporizador de apagado (derecha)..

positioning of left and right fixtures. The channel markers in the end caps were also problematic during assembly.

tapas finales) interferían con el correcto posicionamiento simétrico de los embellecedores izquierdo y derecho. Los marcadores de canal de las tapas también resultaban problemáticos durante el montaje.

Because it is a goal to share the specifications and assembly information broadly to make the technology accessible, the designs have been updated to minimize tasks such as drilling and trimming components. The goal is to simplify the assembly using commonly available tools. While users will benefit from updated designs, it is important to acknowledge the hours of behind-the-scenes work required to improve the user experience.

Summary and Next Steps

To date internal and external users report improved uniformity and greater consistency in MBI with Met MCLED especially when coupled with ISO 19264 Lightroom-based capture methods for visible imaging. The standardized IR and UV radiation has provided a more consistent baseline than ever across the institution. The external testing and refinement of the design is a critical next step to ensure the specifications are well vetted within the community. Ultimately, the goal is to share the complete component lists, 3D printable parts, assembly notes and ISO 19264 Scene-Referred Workflow documentation with the wider community. With a well-defined, broadly available reference specification, the focus of future work can shift to exploring improvements in camera filter and target specifications, and other relevant aspects of technical imaging documentation practice such as proper metadata and file management. The reference specification may also become a part of ISO standardization efforts.

Acknowledgments

The authors would like to acknowledge the collective nature of this project. The conceptual and testing phases received the contribution of many colleagues within the Met community and

Dado que el objetivo es compartir ampliamente las especificaciones y la información de montaje para que la tecnología sea accesible, los diseños se han actualizado para minimizar tareas como taladrar y recortar componentes. El objetivo es simplificar el montaje utilizando herramientas de uso común. Aunque los usuarios se beneficiarán de los diseños actualizados, es importante reconocer las horas de trabajo entre bastidores necesarias para mejorar la experiencia del usuario.

Resumen y próximos pasos

Hasta la fecha, los usuarios internos y externos reportan una mayor uniformidad y consistencia en el MBI con Met MCLED, especialmente cuando se combina con métodos de captura basados en la norma ISO 19264 Lightroom para imágenes visibles. La radiación IR y UV estandarizada ha proporcionado una línea de base más consistente que nunca en toda la institución. Las pruebas externas y el perfeccionamiento del diseño constituyen el siguiente paso fundamental para garantizar que las especificaciones sean aceptadas por la comunidad. En última instancia, el objetivo es compartir con toda la comunidad las listas completas de componentes, las piezas para impresión en 3D, las notas de montaje y la documentación del flujo de trabajo *Scene-Referred* ISO 19264. Con una especificación de referencia bien definida y ampliamente disponible, el trabajo futuro podrá centrarse en explorar mejoras en las especificaciones de filtros de cámara y objetivos, así como en otros aspectos relevantes de la práctica de documentación técnica de imágenes, como metadatos adecuados y gestión de archivos. La especificación referencias también puede formar parte de los esfuerzos de normalización de la ISO.

Agradecimientos

Los autores desean reconocer el carácter colectivo de este proyecto. Las fases conceptual y de pruebas contaron con la contribución de muchos colegas dentro

outside of it. They are members of the Imaging Department such as Barbara Bridgers, former Head of Imaging who provided initial support for this project; Wilson Santiago, 3D CAD and 3D printing; Chris Heins, triangular rotating concept & workflow; Xue Chen, UV glass research and evaluation; members of the Met Conservation and Scientific Research Departments, such Anna Serotta, Objects Conservation; Evan Reed, Paintings Conservation; Katherine Sanderson, Photographs Conservation; De Abramitis, Objects Conservation, Alice Fornari, Objects Conservation, and Ashira Loike, former member of Objects Conservation; Marco Leona, Head of Scientific Research; Eric Breitung, Scientific Research; Fellows in Conservation Departments at the time of the production in 2022, such as Ahmed Tarek, Andrew W. Mellon Fellow in Objects Conservation, and Namrata Patel, Indian Conservation Fellow in Paper Conservation; as well as colleagues from other institutions, including Jeffrey Warda, The Guggenheim Museum; Susan Farnand, RIT Munsell Color Science Lab; Joanne Dyer, The British Museum; and Adam Neese, Museum of Modern Art. Sebastian Saavedra, Smithsonian Latino Museum Studies Program undergraduate intern, helped with the testing at the Smithsonian's Museum Conservation Institute.

y fuera de la comunidad Met. Se trata de miembros del Departamento de Imagen, como Barbara Bridgers, antigua Jefa de Imagen que prestó su apoyo inicial a este proyecto; Wilson Santiago, CAD 3D e impresión 3D; Chris Heins, concepto y flujo de trabajo de la rotación triangular; Xue Chen, investigación y evaluación del filtro de vidrio UV; miembros de los Departamentos de Conservación e Investigación Científica del Met, como Anna Serotta, Conservación de Objetos; Evan Reed, Conservación de Pinturas; Katherine Sanderson, Conservación de Fotografías; De Abramitis, Conservación de Objetos, Alice Fornari, Conservación de Objetos, y Ashira Loike, antigua miembro de Conservación de Objetos; Marco Leona, Jefe de Investigación Científica; Eric Breitung, Investigación Científica; becarios de los Departamentos de Conservación en el momento de la producción en 2022, como Ahmed Tarek, becario de la Andrew W. Mellon Fellow en Conservació de Objetosn, y Namrata Patel, Indian Conservation Fellow en Conservación de Papel; así como colegas de otras instituciones, como Jeffrey Warda, The Guggenheim Museum; Susan Farnand, RIT Munsell Color Science Lab; Joanne Dyer, The British Museum; y Adam Neese, Museum of Modern Art. Sebastián Saavedra, estudiante en prácticas del Programa Latino de Estudios Museísticos del Smithsonian, quien colaboró en la realización de las pruebas en el Instituto de Conservación de Museos del Smithsonian.

References | Bibliografía

Abramitis, D.H. (2023, March 24). *Discovering Decoration on Greek and Roman Marble Sculpture at the Met* [Symposium presentation]. Chroma: Ancient Sculpture in Color, Metropolitan Museum of Art, New York, NY. https://engage.metmuseum.org/events/education/met-speaks/symposia/fy23/symposium-chroma-ancient-sculpture-in-color-day-1/

Basso, E., Carò, F., & Abramitis. D. H. (2023). Polychromy in Ancient Greek Sculpture: New Scientific Research on an Attic Funerary Stele at the Metropolitan Museum of Art. *Applied Sciences*, *13*, 3102. https://www.mdpi.com/2076-3417/13/5/3102

DeLeonardis, L., Kriss, D., Howe, E., Levinson, J., & Rizzo, A. (2021, April 22-26). *Blue on Clay: Indigo as Colorant in Andean Post-Fired Ceramic Paints* [Conference presentation]. 86th Annual Meeting of the Society for American Archaeology, virtual conference.

Dyer, J., & Newman, N. (2020). Multispectral Imaging Techniques Applied to the Study of Romano-Egyptian Funerary Portraits at the British Museum. In M. Svoboda & C. R. Cartwright (Eds.), *Mummy Portraits of Roman Egypt: Emerging Research from the APPEAR Project* (1st ed.). Getty Publications. https://doi.org/10.2307/jj.6142266.11/

Dyer, J., Verri, G., & Cupitt, J. (2013). *Multispectral Imaging in Reflectance and Photo-induced Luminescence modes: A User Manual*. The British Museum.

Geffert, S. (2018). Establishing a Roadmap for Scene-Referred Raw Imaging Workflow. *Archiving Conference*, *15*(1), 105–109. https://doi.org/10.2352/issn.2168-3204.2018.1.0.23

Geffert, S. (2023, May 19). *Standardization of Multiband Radiation for Conservation Documentation* [Conference presentation]. American Institute for Conservation (AIC) 51st Annual Meeting, Jacksonville, FL.

Geffert, S., & Heins, C. (2023). *Scene Referred Color Managed Image Capture Workflow* (v 1.0, May 2023). The Metropolitan Museum of Art.

Geffert, S., & Ng, J. (2023, March 24). *3D Imaging the Sphinx: Challenges, Solutions, and Opportunities* [Symposium presentation]. Chroma: Ancient Sculpture in Color, Metropolitan Museum of Art, New York, NY. https://engage.metmuseum.org/events/education/met-speaks/symposia/fy23/symposium-chroma-ancient-sculpture-in-color-day-1/

International Organization for Standardization. (2009). *ISO 3664:2009 Graphic technology and photography – Viewing conditions*. https://www.iso.org/standard/43234.html

International Organization for Standardization. (2021). *ISO 19264-1:2021 Photography — Archiving systems — Imaging systems quality analysis — Part 1: Reflective originals*. https://www.iso.org/standard/79172.html

Kennedy, N.A., Smieska, L., Centeno, S.A., & Ruiz Molina, M. (2018). A Hidden Photography by Julia Margaret Cameron. *Metropolitan Museum Journal*, *53*, 162-171. https://doi.org/10.1086/701748

Kolari. (2022). *Full Spectrum Conversion* https://kolarivision.com/full_spectrum_conversion/

Lackner, R. M., Fozi, S., & Suh, K. (in press). *Julius Caesar* from the Heroes Tapestries at The Met Cloisters: Dye Analysis and Molecular Insights. *Metropolitan Museum Journal*, *59*. https://doi.org/10.1086/734024

Mastandrea, W., Grant, A., Greenberg, R., McFarlin, K., Kriss, D., Heins, C., & Serotta, A. (2024, November 18-21). [Forthcoming]. *Letting the Light In: A Comparative Assessment of Visible Bandpass Filters Used in Multiband Imaging for Art Conservation* [Presentation]. *12th International Round Table on Polychromy in Ancient Sculpture and Architecture*, Getty Villa and the Getty Center, Los Angeles, CA.

Ruiz Molina, M. (2018, October 2). *Painting with Coffee and Cola: The Surprising Colors of Thornton Dial*. The Metropolitan Museum of Art. https://www.metmuseum.org/articles/thornton-dial-materials-analysis-conservation

Ruiz Molina, M. (2019, March 13). *The Creative Process of Manaku and the Pahari Painters: Layers of Memory*. The Metropolitan Museum of Art. https://www.metmuseum.org/articles/seeing-the-divine-creative-process-manaku-pahari-painting

Ruiz Molina, M., & Olson, C. (2016). Drawing, Photography, and the Design of Tiffany Studios' *Te Deum Laudamus* Mosaic Triptych. *Metropolitan Museum Journal*, 51, 162-181. https://doi.org/10.1086/691113

Suh, K. (2018). Application of Multispectral/multiband Imaging in the Practice of Textile Conservation: Documentation, Investigation, and Communication. In *Textile Specialty Group Postprints, American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works 46th Annual Meeting* (pp. 83–96). AIC.

Van Dyke, Y. (2021). A Technical Study of a 17th-Century Manuscript of Muḥammad Bin Sulaymān al-Jazūlī's Dalā'il al-Khayrāt. *Journal of Islamic Manuscripts*, *12*(3-4), 342-371. https://doi.org/10.1163/1878464X-01203007

Warda, J., Frey, F., Heller, D., Kushel, D., Vitale, T., & Weaver, G. (2017). *The AIC Guide to Digital Photography and Conservation Documentation* (J. Warda, Ed.; 3rd ed.). American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works.

GLOSSARY OF TERMS

GLOSARIO TERMINOLÓGICO

Multiband Imaging with Silicon-Based Sensors

This glossary brings together a selection of terms compiled by the editors of the volume with the aim of facilitating the understanding of key aspects related to the acquisition, processing, and interpretation of multiband images using silicon-based sensors. Its purpose is to provide readers with a clear and functional terminological framework that supports and enhances the reading of the individual chapters.

Not all the terms included here are necessarily cited explicitly in the main text. However, they have been selected because they represent concepts of common and cross-disciplinary use within the field of technical and scientific imaging, whose understanding is essential for the correct interpretation of both the contents of this volume and other related texts and studies. In this sense, the glossary constitutes a basic reference corpus, intended to establish a shared foundation of concepts and definitions that are routinely applied in multiband imaging practice.

Imagen multibanda con sensores al silicio

Este glosario reúne una selección de términos realizada por los editores del volumen con el objetivo de facilitar la comprensión de los aspectos fundamentales relacionados con la obtención, el procesado y la interpretación de imágenes multibanda mediante sensores basados en silicio. Su finalidad es ofrecer al lector un marco terminológico claro y funcional que acompañe y refuerce la lectura de los distintos capítulos.

No todos los términos aquí recogidos aparecen necesariamente citados de forma explícita en el texto principal. Sin embargo, se ha considerado oportuno incluirlos por tratarse de conceptos de uso habitual y transversal en el ámbito de la imagen técnica y científica, cuya comprensión resulta clave para interpretar correctamente tanto los contenidos de este volumen como otros textos y estudios afines. En este sentido, el glosario configura un corpus básico de referencia, orientado a proporcionar una base común de conceptos y definiciones empleadas de manera recurrente en el trabajo con imágenes multibanda.

In order to facilitate consultation, page references have been included where appropriate to indicate where specific terms are developed or applied within the volume, allowing readers to more quickly locate the contexts in which they are used.

Absorption

pp. 25, 39, 40, 79, 109, 162, 341-347, 390, 393, 437, 442-454

Physical process by which a material takes up incident electromagnetic radiation, transferring the radiation's energy to internal degrees of freedom (such as electronic, vibrational, or rotational states). This reduces the intensity of transmitted or reflected radiation and may lead to secondary processes such as heating, fluorescence, or phosphorescence.

Apochromatic Lens (APO)

pp. 53, 54, 152, 208-215, 245, 334, 523, 531

Lens optically corrected to minimize chromatic aberration across a broad spectral range, including ultraviolet and infrared wavelengths, allowing consistent focus, scale, and spatial registration in multiband imaging.

Artifact (Imaging)

Visual feature introduced by the imaging system, illumination setup, sensor behavior, optics, or processing workflow that does not correspond to the material reality of the object.

Attenuation

pp. 200, 213

Decrease in the intensity of radiation as it passes through a material, caused by processes such as absorption, scattering, or partial transmission. It quantifies how much the material diminishes the radiation without specifying the exact mechanism.

Con el fin de facilitar su consulta, en aquellos casos en los que ha sido pertinente se han indicado las páginas del volumen en las que determinados términos aparecen desarrollados o aplicados, permitiendo al lector localizar con mayor rapidez los contextos en los que se emplean.

Aberración cromática

pp. 208, 245

Distorsión óptica causada por la dependencia de la refracción con la longitud de onda, que produce desplazamientos de foco o franjas de color, especialmente crítica en imagen ultravioleta e infrarroja.

Absorción

pp. 25, 39, 40, 79, 109, 162, 341-347, 390, 393, 437, 442-454

Proceso físico mediante el cual un material absorbe radiación electromagnética incidente, transfiriendo la energía de dicha radiación a estadios de libertad internos (como estados electrónicos, vibracionales o rotacionales). Esto reduce la intensidad de la radiación que se transmite o se refleja y puede generar procesos secundarios, como calentamiento, fluorescencia o fosforescencia.

Ancho de banda

Anchura espectral de la radiación electromagnética que es transmitida por un filtro, emitida por una fuente o detectada por un sensor. Suele expresarse en unidades de longitud de onda (nm) o de frecuencia (Hz) y define el intervalo del espectro en el que la radiación es efectivamente activa.

Apocromático (objetivo) (APO)

pp. 53, 54, 152, 208–215, 245, 334, 523, 531

Lente corregida ópticamente para minimizar la aberración cromática a lo largo de un amplio rango espectral, que incluye las regiones ultravioleta e infrarroja, permitiendo mantener un enfoque, una escala y un registro espacial consistentes en la imagen multibanda.

Band-pass Filter
pp. 22, 36, 37, 51, 156
Optical device that selectively transmits electromagnetic radiation within a defined wavelength (or frequency) range while blocking radiation outside this range. It is commonly used in spectroscopy, imaging, and optical communications to isolate specific spectral regions.

Bandwidth
Spectral width of electromagnetic radiation that is transmitted by a filter, emitted by a source, or detected by a sensor. It is typically expressed in units of wavelength (nm) or frequency (Hz) and defines the range of the spectrum over which the radiation is effectively active.

Broadband Capture
pp. 62, 65, 68, 69, 200-203, 212, 218
Image acquisition integrating a wide range of wavelengths within a given spectral region (UVA, VIS, or NIR), commonly used as a survey or first-level diagnostic approach.

Calibration / Reference Target
pp. 39-43, 52, 55-57, 160-164, 174-175, 183-185, 187, 203, 207, 221-222, 230-235, 239
Reference object with known optical or radiometric properties used to standardize exposure, tonal response, or spectral consistency.

CCD Sensor (Charge-Coupled Device)
pp. 18,62, 75, 77, 116-121, 159, 199, 204, 245, 250, 436, 488
Silicon-based image sensor that converts light into electronic signals with high uniformity and low noise. Historically, CCDs have been widely used in scientific imaging, astronomy, and spectroscopy due to their excellent image quality and sensitivity.

Artefacto / Artificio (imagen)
Característica visual introducida por el sistema de adquisición de imágenes, la configuración de iluminación, el comportamiento del sensor, la óptica o el flujo de procesamiento, que no corresponde a la realidad material del objeto.

Atenuación
pp. 200, 213
Disminución de la intensidad de la radiación al atravesar un material, causada por procesos como absorción, dispersión o transmisión parcial. Cuantifica cuánto reduce el material la radiación sin especificar el mecanismo exacto.

Balance de blancos
pp. 43, 154, 161-164, 207, 226, 233, 319, 390, 414, 465
Ajuste que asegura la reproducción tonal neutra bajo una iluminación específica.

Banda espectral
pp. 35, 46, 67, 76, 102, 123, 152, 180, 181, 248, 256, 311, 319, 320, 441, 488
Intervalo definido de longitudes de onda dentro del espectro electromagnético.

Carta / Tarjeta de calibración
pp. 39-43, 52, 55-57, 160-164, 174-175, 183-185, 187, 203, 207, 221-222, 230-235, 239
Objeto de referencia con propiedades ópticas o radiométricas conocidas, utilizado para estandarizar la exposición, la respuesta tonal o la consistencia espectral.

Calibración radiométrica
Corrección que garantiza una respuesta del sensor proporcional a la intensidad de la radiación incidente.

CMOS Sensor (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor)

pp. 18,62, 75, 77, 116-121, 159, 199, 204, 245, 250, 436, 488

Silicon-based image sensor technology that converts light into electronic signals. It features fast readout speeds, low power consumption, and the ability to capture live images, making it widely used in multiband imaging, spectroscopy, and other optical detection systems.

Chromatic Aberration

pp. 208, 245

Optical distortion caused by wavelength-dependent refraction, resulting in focus shifts or color fringes, particularly critical in UV and IR imaging.

Color Channel

pp. 80, 484

One of the sensor's spectral sensitivity components, typically corresponding to red, green, or blue filters in an RGB array.

Color Management

Systematic control of color and tonal reproduction across capture, processing, and output devices to ensure consistency and interpretability.

Copy Stand

pp. 198, 294, 521, 531

Rigid camera support structure ensuring stable, orthogonal alignment and repeatable imaging geometry.

Dark Current

Electronic signal generated within an image sensor due to thermal excitation, even when no light is present. It contributes to background noise and can affect the sensitivity and accuracy of measurements in spectroscopy and imaging systems.

Cámara de espectro completo

pp. 23, 24, 46, 48, 52, 56, 65, 119, 128, 150, 151, 203, 205, 206, 212, 218, 226, 228, 229, 235, 237

Cámara digital modificada para registrar radiación ultravioleta, visible e infrarroja cercana mediante la eliminación del filtro interno de corte infrarrojo (IR-cut).

Canal de color

pp. 80, 484

Uno de los componentes de sensibilidad espectral del sensor, que normalmente corresponde a los filtros rojo, verde o azul en una matriz RGB.

Captura de banda ancha

pp. 62,65,68,69, 200-203, 212, 218

Adquisición de imágenes que integra un amplio rango de longitudes de onda dentro de una región espectral determinada (UVA, VIS o NIR), utilizada comúnmente como método de estudio o diagnóstico de primer nivel.

Captura de banda estrecha

Adquisición de imágenes que aísla longitudes de onda específicas mediante filtros de paso de banda estrecha.

Conjunto de filtros (*filter stack*)

Combinación de varios filtros ópticos utilizados simultáneamente para modelar la transmisión espectral o bloquear longitudes de onda no deseadas.

Consistencia del flujo de trabajo

pp. 25, 166-170, 180, 181, 185, 202, 204, 208, 209, 212, 217, 234, 294, 462, 514, 541, 542

Mantenimiento de parámetros de captura idénticos a lo largo de distintas sesiones de adquisición de imágenes.

Corrección de campo plano (*flat-field correction*)

pp. 164, 187, 212

Método de procesamiento utilizado para compensar una iluminación desigual o una respuesta no uniforme del sensor.

Depth of Field
pp. 212, 414
Range of object distances that appear acceptably sharp in an image, influenced by aperture, focal length, and sensor size.

Diffuse Reflection
Scattering of incident electromagnetic radiation in many directions due to interaction with a rough or matte surface. Unlike specular reflection, the reflected intensity is spread over a wide range of angles, which is important in spectroscopy, remote sensing, and material analysis.

Digital Noise
pp. 204, 414
Random or structured signal variations unrelated to scene information, arising from sensor, electronics, or processing.

Dynamic Range
Range between the darkest and brightest tonal values that can be simultaneously recorded without loss of detail.

Electromagnetic Spectrum
pp. 7, 16, 17, 25, 89, 245, 268, 269, 272, 282, 412, 415, 437, 450, 455
Continuous range of all electromagnetic radiation, organized by wavelength or frequency. It includes, in order of increasing wavelength (or decreasing frequency), regions such as X-rays, ultraviolet, visible, and infrared waves, each with distinct physical properties and applications in spectroscopy and imaging.

Corriente oscura
Señal electrónica generada dentro de un sensor de imagen debido a la excitación térmica, incluso en ausencia de luz. Contribuye al ruido de fondo y puede afectar a la sensibilidad y precisión de las mediciones en sistemas de espectroscopía e imagen.

Densidad óptica
Medida logarítmica de la atenuación que un material ejerce sobre la radiación transmitida.

Desplazamiento de enfoque
Cambio del plano focal al obtener imágenes a diferentes longitudes de onda debido a la dispersión cromática.

Desplazamiento espectral
Desplazamiento aparente de la respuesta en longitud de onda debido a factores ópticos o del sensor.

Destello de lente
p. 539
Artefacto causado por luz parásita y reflexiones internas dentro de un sistema óptico.

Diferenciación de materiales
Capacidad de distinguir materiales en función de diferencias en su respuesta espectral.

Dispersión superficial
pp. 249, 271, 377
Reflexión difusa causada por la rugosidad de la superficie o por su microtopografía.

Distorsión geométrica
Desviación de las relaciones espaciales reales causada por el diseño del objetivo o por la alineación óptica.

Eficiencia cuántica
Relación entre el número de fotones incidentes y los electrones generados por el sensor.

Emission

pp. 29,35, 45, 46, 70, 74, 75, 79, 80, 100, 146, 155, 161, 175, 220-223, 228, 271, 341-347, 351, 352, 413, 414, 425, 440, 519

Process by which a material releases electromagnetic radiation after being excited, typically due to electronic, vibrational, or rotational transitions. Emission is fundamental in spectroscopy, fluorescence, luminescence, and other optical measurement techniques.

Exposure

pp. 40-43, 54, 108, 161, 146, 176, 177, 189, 206, 207, 214, 220, 226, 28, 232, 233

Total amount of radiation recorded by the sensor, controlled by aperture, shutter speed, and sensor gain (ISO).

False Color Imaging

pp. 8, 11, 45, 56, 65, 70, 74, 80, 81, 107, 112, 126, 127, 141, 143, 164, 165, 177, 182, 208, 247, 249, 258, 294, 295, 299, 363, 389, 398, 483-511, 524-526, 530

Composite imaging technique in which data from non-visible regions of the electromagnetic spectrum (e.g., infrared, ultraviolet) are mapped to the red, green, and blue (RGB) channels. This enhances the visualization and comparative interpretation of spectral features in applications such as remote sensing, multispectral imaging, and material analysis.

Filter Stack

Combination of multiple optical filters used simultaneously to shape spectral transmission or block unwanted wavelengths.

Flat-Field Correction

pp. 164, 187, 212

Processing method used to compensate for uneven illumination or non-uniform sensor response.

Emisión

pp. 29,35, 45, 46, 70, 74, 75, 79, 80, 100, 146, 155, 161, 175, 220-223, 228, 271, 341-347, 351, 352, 413, 414, 425, 440, 519

Proceso mediante el cual un material libera radiación electromagnética tras ser excitado, normalmente debido a transiciones electrónicas, vibracionales o rotacionales. La emisión es fundamental en espectroscopía, fluorescencia, luminiscencia y otras técnicas de medición óptica.

Error de registro

Desalineación entre imágenes adquiridas en diferentes bandas espectrales.

Espectro electromagnético

pp. 7, 16, 17, 25, 89, 245, 268, 269, 272, 282, 412, 415, 437, 450, 455

Gama continua de toda la radiación electromagnética, organizada por longitud de onda o frecuencia. Incluye, en orden de longitud de onda creciente (o frecuencia decreciente), regiones como los rayos X, el ultravioleta, el visible y el infrarrojo, cada una con propiedades físicas y aplicaciones específicas en espectroscopía y sistemas de imagen.

Estandarización de metadatos

Registro coherente de los parámetros técnicos para garantizar la comparabilidad y la reproducibilidad.

Estandarización

pp. 10, 36, 61, 126, 160, 167, 170-174, 185, 190, 226, 265-283, 513-542

Establecimiento de una terminología, protocolos de medición y procedimientos de imagen coherentes para garantizar la reproducibilidad, comparabilidad y fiabilidad de los datos entre experimentos, instrumentos y laboratorios.

Fluorescence
pp. 74, 78, 98-104, 162, 178, 440
Rapid emission of light by a material that occurs almost simultaneously with its excitation. The luminescence stops almost immediately (typically within nanoseconds) after the excitation source is removed. Fluorescence is widely used in spectroscopy, imaging, and analytical chemistry to study molecular and material properties.

Focus Shift
Change in focal plane when imaging at different wavelengths due to chromatic dispersion.

Full-Spectrum Camera
pp. 23, 24, 46, 48, 52, 56, 65, 119, 128, 150, 151, 203, 205, 206, 212, 218, 226, 228, 229, 235, 237
Digital camera modified to record ultraviolet, visible, and near-infrared radiation by removing the internal IR-cut filter.

Gain
Electronic amplification applied to the sensor signal, increasing brightness but also noise.

Geometric Distortion
Deviation from true spatial relationships caused by lens design or optical alignment.

Halation
Halo-like artifact caused by internal scattering or reflections within optical or sensor layers.

Hot Spot / Hotspot
pp. 53, 54, 152
Localized area of increased brightness caused by internal lens reflections or illumination geometry, particularly common in infrared imaging.

Exposición
pp. 40-43, 54, 108, 161, 146, 176, 177, 189, 206, 207, 214, 220, 226, 28, 232, 233
Cantidad total de radiación registrada por el sensor, controlada por la apertura, el tiempo de obturación y la ganancia del sensor (ISO).

Filtro de paso de banda
pp. 22, 36, 37, 51, 156
Dispositivo óptico que transmite selectivamente radiación electromagnética dentro de un intervalo definido de longitudes de onda (o frecuencias), bloqueando la radiación fuera de dicho intervalo. Se utiliza comúnmente en espectroscopía, técnicas de imagen y aplicaciones ópticas para aislar regiones espectrales específicas.

Fluorescencia
pp. 74, 78, 98-104, 162, 178, 440
Emisión rápida de luz por un material que ocurre casi simultáneamente con su excitación. La luminiscencia cesa prácticamente de inmediato (normalmente en nanosegundos) tras retirarse la fuente de excitación. La fluorescencia se utiliza ampliamente en espectroscopía, sistemas de imagen y química analítica para estudiar propiedades moleculares y de los materiales.

Fotogrametría
pp. 143, 165, 178-186, 200, 311-327
Técnica que reconstruye la geometría tridimensional a partir de imágenes superpuestas.

Función de Transferencia de Modulación (MTF)
pp. 207-209
Métrica que describe la capacidad de un objetivo para reproducir el contraste a diferentes frecuencias espaciales.

Ganancia
Amplificación electrónica aplicada a la señal del sensor que incrementa el brillo, pero también el ruido.

Hyperspectral Imaging (HSI)
pp. 67-71, 143, 177, 435-456
Imaging technique that acquires images across many contiguous narrow spectral bands over a wide spectral range, providing detailed spectral information for each pixel. It offers much higher spectral resolution than conventional multiband or multispectral imaging, enabling precise material identification and analysis in applications such as remote sensing, spectroscopy, and biomedical imaging.

Illumination Geometry
Spatial arrangement and angle of light sources relative to the object surface.

Incident Radiation
pp. 95, 111, 336, 412, 437
Electromagnetic radiation that reaches a surface before any interaction, such as reflection, absorption, or transmission. It serves as the input energy in optical measurements, spectroscopy, and imaging experiments.

Infrared (IR)
pp. 15-240
Refers to the region of the electromagnetic spectrum with wavelengths longer than visible red light, typically ranging from about 700 nm to 1 mm. In heritage imaging and many scientific applications, emphasis is often placed on the near-infrared (NIR) region, which is useful for material analysis and detecting features not visible to the human eye.

Infrared Reflectography (IRR)
pp. 67, 70-75, 143,144, 178, 486
Imaging technique that captures infrared radiation (generally in the 1000-2500 nm range) reflected from an object, revealing subsurface features such as underdrawings, hidden layers, or modifications. It is widely used in heritage science, art analysis, and material characterization.

Geometría de iluminación
Disposición espacial y ángulo de las fuentes de luz con respecto a la superficie del objeto.

Gestión del color
Control sistemático de la reproducción del color y de los tonos a lo largo de los dispositivos de captura, procesamiento y salida, con el fin de garantizar coherencia e interpretabilidad.

Halación
Artefacto con apariencia de halo causado por la dispersión interna o por reflexiones dentro de los elementos ópticos o de las capas del sensor.

Iluminación variable
Modificación controlada de la dirección o de la longitud de onda de la iluminación.

Iluminación zonal
Distribución de iluminación no uniforme sobre la superficie del objeto.

Imagen en falso color
pp. 8, 11, 45, 56, 65, 70, 74, 80, 81, 107, 112, 126, 127, 141, 143, 164, 165, 177, 182, 208, 247, 249, 258, 294, 295, 299, 363, 389, 398, 483-511, 524-526, 530
Técnica de composición de imágenes en la que datos procedentes de regiones no visibles del espectro electromagnético (por ejemplo, infrarrojo o ultravioleta) se asignan a los canales rojo, verde y azul (RGB). Esto mejora la visualización y la interpretación comparativa de características espectrales en aplicaciones como teledetección, imagen multiespectral y análisis de materiales.

Imagen en luz visible (VIS)
Adquisición de imágenes utilizando radiación electromagnética reflejada dentro del rango espectral visible para el ojo humano, aproximadamente entre 400 y 700 nm.

Infrared Transmission Imaging (IRT)
pp. 70, 73, 77, 113, 124, 127, 141-144, 294-304, 361-381, 488-507
Imaging modality based on infrared radiation transmitted through an object, revealing internal structures.

ISO Sensitivity
pp. 151, 187, 188, 207, 318, 414, 531, 536, 537
Sensor gain setting influencing exposure level and noise characteristics.

Lens Flare
p. 539
Artifact caused by stray light and internal reflections within a lens system.

Live View
pp. 204-208, 223, 464
Real-time display of sensor output used for focusing and composition, essential in UV and IR imaging.

Longwave Ultraviolet (UVA)
pp. 213, 216, 218-224, 227, 229-232, 390, 412, 518
Ultraviolet radiation closest to the visible spectrum, commonly used for induced luminescence and reflectance imaging.

Luminescence
pp. 15-240
Emission of light from a material that is not caused by heat. It results from processes such as electronic or chemical excitation and includes phenomena like fluorescence, phosphorescence, and chemiluminescence. Luminescence is widely used in spectroscopy, imaging, and analytical applications.

Material Differentiation
Ability to distinguish materials based on differences in spectral response.

Imagen hiperespectral (HSI)
pp. 67-71, 143, 177, 435-456
Técnica de obtención de imágenes que adquiere datos en numerosas bandas espectrales estrechas y contiguas a lo largo de un amplio rango espectral, proporcionando información espectral detallada para cada píxel. Ofrece una resolución espectral mucho mayor que la imagen multibanda o multiespectral convencional, lo que permite una identificación y un análisis preciso de materiales en aplicaciones como teledetección, espectroscopía e imagen biomédica.

Imagen multibanda (MBI)
Enfoque de obtención de imágenes que adquiere datos de forma secuencial en múltiples bandas espectrales, integrando distintas modalidades de imagen dentro de un marco unificado. Esto permite el análisis comparativo de materiales, superficies o características que responden de manera diferente a lo largo del espectro, mejorando la interpretación en aplicaciones como teledetección, ciencia del patrimonio y análisis de materiales.

Imagen ortogonal
p. 127
Alineación de la cámara perpendicular a la superficie del objeto para minimizar la distorsión.

Imagen por rayos X / Radiografía (XR)
pp. 361-381, 391, 398, 400, 405
Técnica de obtención de imágenes de alta energía que utiliza rayos X (longitudes de onda aproximadamente entre 0,01 y 10 nm) para visualizar la estructura interna de los objetos. En aplicaciones de patrimonio y científicas, se emplea para comparaciones contextuales o para revelar características no visibles con métodos de imagen de menor energía.

Material Mapping
Spatial correlation of spectral information to the distribution of materials within an object.

Metadata Standardization
Consistent recording of technical parameters to ensure comparability and reproducibility.

Modulation Transfer Function (MTF)
pp. 207-209
Metric describing a lens's ability to reproduce contrast at different spatial frequencies.

Multiband Imaging (MBI)
pp. 15-240
Imaging approach that sequentially acquires data across multiple spectral bands, integrating different imaging modalities within a unified framework. This allows comparative analysis of materials, surfaces, or features that respond differently across spectral regions, enhancing interpretation in applications such as remote sensing, heritage science, and material analysis.

Narrowband Capture
Image acquisition isolating specific wavelengths using narrow band-pass filters.

Near-Infrared (NIR)
pp. 18, 25, 35, 42, 56, 57, 72, 75,77, 118, 248, 249, 412
Infrared region immediately adjacent to the visible spectrum, commonly exploited in heritage imaging.

Noise Reduction
Processing techniques applied to suppress unwanted signal variations.

Optical Density
Logarithmic measure of a material's attenuation of transmitted radiation.

Imagen por transformación de la reflectancia (RTI)
pp. 67, 143, 144, 178-181, 186, 200, 253
Técnica computacional que revela el relieve superficial mediante la combinación de imágenes adquiridas con distintos ángulos de iluminación.

Imagen por transmisión infrarroja (IRT)
pp. 70, 73, 77, 113, 124, 127, 141-144, 294-304, 361-381, 488-507
Modalidad de imagen basada en la radiación infrarroja transmitida a través de un objeto, que permite revelar estructuras internas.

Imagen por transmisión total (*through-transmission imaging*)
Técnica de obtención de imágenes basada en la radiación que atraviesa completamente un objeto.

Imagen técnica
pp. 65, 66, 102, 122, 152, 199-235, 354, 362, 413, 541
Obtención de imágenes con fines analíticos y diagnósticos, en lugar de reproducción estética.

Infrarrojo (IR)
Región del espectro electromagnético con longitudes de onda mayores que la luz roja visible, que abarca aproximadamente desde 700 nm hasta 1 mm. En la imagen del patrimonio y en muchas aplicaciones científicas, el énfasis se pone a menudo en la región del infrarrojo cercano (NIR), que resulta útil para el análisis de materiales y la detección de características no visibles al ojo humano.

Infrarrojo cercano (NIR)
pp. 18, 25, 35, 42, 56, 57, 72, 75,77, 118, 248, 249, 412
Región del infrarrojo inmediatamente adyacente al espectro visible, comúnmente explotada en la imagen del patrimonio.

Linealidad del sensor
Relación proporcional entre la radiación incidente y la señal de salida del sensor.

Orthogonal Imaging
p. 127
Camera alignment perpendicular to the object surface to minimize distortion.

Overexposure
Loss of image detail due to sensor saturation.

Photogrammetry
pp. 143, 165, 178-186, 200, 311-327
Technique reconstructing three-dimensional geometry from overlapping images.

Pixel Pitch
Physical size of individual sensor pixels, influencing resolution and noise performance.

Polarization
p. 437
Orientation of electromagnetic wave oscillation affecting reflectance behavior.

Post-Processing
pp. 121, 123, 152, 154, 160, 168,169, 253, 294, 308
Image manipulation performed after acquisition, including tonal adjustment and alignment.

Quantum Efficiency
Ratio of incident photons converted into electrons by the sensor.

Radiance
Amount of electromagnetic energy emitted, reflected, or transmitted by a surface per unit area per unit solid angle. It quantifies the directional brightness of a source or surface and is a fundamental measure in radiometry, remote sensing, and spectroscopy.

Longitud de onda
pp. 23, 29, 36.38, 57, 68-78, 82, 108, 121, 141, 150, 152-154, 160, 182, 187, 189, 199, 208, 220, 225, 237, 245, 251, 335, 344, 347, 348, 398, 400, 412, 442, 513
Distancia espacial entre picos (o valles) sucesivos de una onda, que define su posición espectral dentro del espectro electromagnético.

Luminiscencia
pp. 15-240
Emisión de luz por un material que no es causada por el calor. Resulta de procesos como la excitación electrónica o química e incluye fenómenos como la fluorescencia, la fosforescencia y la quimioluminiscencia. La luminiscencia se utiliza ampliamente en espectroscopía, sistemas de imagen y aplicaciones analíticas.

Luminiscencia infrarroja inducida por luz visible (VIL / V-IL) (VIL / V-IL)
pp. 30,32,44, 45, 49, 70, 74, 78-80, 111, 112, 125, 141-144, 147, 149, 155, 157, 159-163, 174-177, 181-182, 200-201, 213, 216, 219-233...
Emisión de radiación infrarroja inducida por excitación en el espectro visible.

Luminiscencia infrarroja inducida por ultravioleta (UV-IL / UVIL)
pp. 70, 74, 78, 79, 141, 142, 216, 217
Emisión de radiación infrarroja inducida por la excitación con radiación ultravioleta.

Luminiscencia visible inducida por ultravioleta (UVL / UV-VL)
pp. 25, 31, 32, 43-49, 51, 52, 55, 67, 70, 74, 78-80, 102, 104, 105, 114, 121, 125, 141, 143, 144, 146, 148, 154-158, 162, 163, 175, 178-185, 189, 200, 214, 216, 224, 231-233, 239 ...
Emisión de luz visible por un material cuando es excitado mediante radiación ultravioleta (UV). Este fenómeno se utiliza en espectroscopía, caracterización de materiales e imagen del patrimonio para revelar materiales que adquieren este comportamiento al ser irradiados con UV.

Radiometric Calibration
Correction ensuring proportional sensor response to incident radiation intensity.

RAW File
pp. 165, 176, 205, 207, 338, 365, 390, 491
Unprocessed image data recorded directly from the sensor.

Reflectance
pp. 16, 41, 42, 44, 46, 56, 67-77, 123, 141, 154, 161, 174-178, 182, 200, 202, 217, 221, 222, 225, 228, 231, 234, 243-260, 318, 331-356, 390, 436, 439, 441, 442, 450-453, 485, 488, 489, 494, 538
Fraction of incident radiation reflected by a surface.

Reflectance Transformation Imaging (RTI)
pp. 67, 143, 144, 178-181, 186, 200, 253
Computational technique revealing surface relief by combining images acquired under varying illumination angles.

Registration Error
Misalignment between images acquired in different spectral bands.

Residual Signal
Unwanted signal remaining after correction or processing.

Saturation
pp. 20, 493
Condition in which sensor pixels reach maximum charge capacity.

Sensor Linearity
Proportional relationship between incident radiation and sensor output.

Luz parásita
pp. 39, 164, 226, 229, 529, 531, 538
Radiación no deseada que alcanza el sensor a través de trayectorias ópticas no previstas.

Mapeo de materiales
Correlación espacial de la información espectral con la distribución de los materiales dentro de un objeto.

Nivel de ruido cero
Nivel de señal más bajo detectable por encima del ruido de fondo.

Apocromático (objetivo) (APO)
pp. 53, 54, 152, 208–215, 245, 334, 523, 531
Lente corregida ópticamente para minimizar la aberración cromática a lo largo de un amplio rango espectral, que incluye las regiones ultravioleta e infrarroja, permitiendo mantener un enfoque, una escala y un registro espacial consistentes en la imagen multibanda.

Paso de píxel *(pixel pitch)*
Tamaño físico de los píxeles individuales del sensor, que influye en la resolución y en el rendimiento frente al ruido.

Polarización
p. 437
Orientación de la oscilación de una onda electromagnética que afecta al comportamiento de la reflectancia.

Posprocesado
pp. 121, 123, 152, 154, 160, 168,169, 253, 294, 308
Manipulación de la imagen realizada después de la adquisición, que incluye ajustes tonales y alineación.

Profundidad de campo
pp. 212, 414
Intervalo de distancias del objeto que aparecen aceptablemente nítidas en una imagen, influido por la apertura, la distancia focal y el tamaño del sensor.

Silicon-Based Sensor
pp. 22, 24, 46, 121
Photosensitive device that converts light into electronic signals by exploiting silicon's spectral sensitivity, typically spanning wavelengths from about 200 to 1000 nm. These sensors include technologies such as CCDs and CMOS, and are widely used in imaging, spectroscopy, and optical detection systems.

Signal-to-Noise Ratio (SNR)
Ratio of the magnitude of the desired signal to the magnitude of background noise in a measurement. A higher SNR indicates clearer, more reliable data, and it is a critical parameter in spectroscopy, imaging, and other analytical techniques.

Specular Reflection
pp. 105, 182, 442
Mirror-like reflection from smooth surfaces.

Spectral Band
pp. 35, 46, 67, 76, 102, 123, 152, 180, 181, 248, 256, 311, 319, 320, 441, 488
Defined wavelength interval within the electromagnetic spectrum.

Spectral Response
pp. 18, 42, 315
Sensitivity of a sensor or material as a function of wavelength.

Spectral Shift
Apparent displacement of wavelength response due to optical or sensor factors.

Standardization
pp. 10, 36, 61, 126, 160, 167, 170-174, 185, 190, 226, 265-283, 513-542
Establishing consistent terminology, measurement protocols, and imaging procedures to

Punto caliente / destello (*hot spot*)
pp. 53, 54, 152
Área localizada de mayor brillo causada por reflexiones internas en la lente o por la geometría de la iluminación, especialmente común en imagen infrarroja.

Radiación incidente
pp. 95, 111, 336, 412, 437
Radiación electromagnética que alcanza una superficie antes de cualquier interacción como reflexión, absorción o transmisión. Constituye la energía de entrada en mediciones ópticas, espectroscopía y experimentos de imagen.

Radiancia
Cantidad de energía electromagnética emitida, reflejada o transmitida por una superficie por unidad de área y por unidad de ángulo sólido. Cuantifica el brillo direccional de una fuente o superficie y es una magnitud fundamental en radiometría, teledetección y espectroscopía.

Rango dinámico
Intervalo entre los valores tonales más oscuros y más claros que pueden registrarse simultáneamente sin pérdida de detalle.

RAW
pp. 165, 176, 205, 207, 338, 365, 390, 491
Archivo de datos de imagen sin procesar registrados directamente por el sensor.

Reducción de ruido
Técnicas de procesamiento aplicadas para suprimir variaciones no deseadas de la señal.

Referencia blanca
Superficie u objeto de referencia con reflectancia neutra conocida, utilizado para controlar la exposición, el balance de blancos y apoyar la interpretación comparativa entre diferentes modalidades espectrales en imagen técnica.

ensure reproducibility, comparability, and reliability of data across experiments, instruments, and laboratories.

Stray Light
pp. 39, 164, 226, 229, 529, 531, 538
Unwanted radiation reaching the sensor via unintended optical paths.

Surface Scattering
pp. 249, 271, 377
Diffuse reflection caused by surface roughness or microtopography.

Surface Topography
pp. 249-260
Three-dimensional surface characteristics revealed through imaging.

Technical Imaging
pp. 65, 66, 102, 122, 152, 199-235, 354, 362, 413, 541
Imaging performed for analytical and diagnostic purposes rather than aesthetic reproduction.

Thermal Noise
Sensor noise generated by temperature-dependent electronic activity.

Through-Transmission Imaging
Imaging based on radiation passing entirely through an object.

Tonality
pp. 418, 419, 449
Distribution of light and dark values within an image.

Reflectancia
pp. 16, 41, 42, 44, 46, 56, 67-77, 123, 141, 154, 161, 174-178, 182, 200, 202, 217, 221, 222, 225, 228, 231, 234, 243-260, 318, 331-356, 390, 436, 439, 441, 442, 450-453, 485, 488, 489, 494, 538
Fracción de la radiación incidente que es reflejada por una superficie.

Reflectancia ultravioleta (UVR / RUVA)
pp. 31, 33, 35, 49, 55, 56, 70-76, 104-107, 141-144, 200-213, 219, 224, 227, 231, 232, 294...
Técnica de imagen basada en la radiación ultravioleta reflejada por una superficie.

Reflectografía infrarroja (IRR)
pp. 67, 70-75, 143,144, 178, 486
Técnica de obtención de imágenes que capta la radiación infrarroja (generalmente en el intervalo de 1000–2500 nm) reflejada por un objeto, revelando características subsuperficiales tales como dibujos subyacentes, estratos ocultas o modificaciones. Se utiliza ampliamente en ciencia del patrimonio, análisis artístico y caracterización de materiales.

Reflexión difusa
Dispersión de la radiación electromagnética incidente en múltiples direcciones como resultado de su interacción con una superficie rugosa o mate. A diferencia de la reflexión especular, la intensidad reflejada se distribuye en un amplio rango de ángulos, lo cual es relevante en espectroscopía, teledetección y análisis de materiales.

Reflexión especular
pp. 105, 182, 442
Reflexión de tipo espejo producida por superficies lisas.

Relación señal-ruido (SNR)
Relación entre la magnitud de la señal deseada y la magnitud del ruido de fondo en una medición. Un SNR más alto indica datos más claros y fiables, y es un parámetro

Transmission
pp. 8, 18, 34-40, 52, 76, 103, 106, 113, 134, 156, 157, 160, 181, 187, 189, 199, 200, 213-216, 336, 337, 347, 437, 483-508
Passage of radiation through a material.

Ultraviolet (UV)
pp. 61-88
Region of the electromagnetic spectrum with wavelengths shorter than visible light, typically ranging from about 10 nm to 400 nm.

UV-Induced Infrared Luminescence (UV-IL)
pp. 70, 74, 78, 79, 141, 142, 216, 217
Infrared emission induced by ultraviolet excitation.

UV-Induced Visible Luminescence (UVL / UV-VL)
pp. 25, 31, 32, 43-49, 51, 52, 55, 67, 70, 74, 78-80, 102, 104, 105, 114, 121, 125, 141, 143, 144, 146, 148, 154-158, 162, 163, 175, 178-185, 189, 200, 214, 216, 224, 231-233, 239 ...
Emission of visible light from a material when it is excited by ultraviolet (UV) radiation. This phenomenon is used in spectroscopy, material characterization, and heritage imaging to reveal features that fluoresce under UV illumination.

UV Reflectance (UVR / RUVA)
pp. 31, 33, 35, 49, 55, 56, 70-76, 104-107, 141-144, 200-213, 219, 224, 227, 231, 232, 294...
Imaging based on ultraviolet radiation reflected from a surface.

Variable Illumination
Controlled modification of illumination direction or wavelength.

crítico en espectroscopía, sistemas de imagen y otras técnicas analíticas.

Respuesta espectral
pp. 18, 42, 315
Sensibilidad de un sensor o de un material en función de la longitud de onda.

Ruido digital
pp. 204, 414
Variaciones aleatorias o estructuradas de la señal no relacionadas con la información de la escena, originadas en el sensor, la electrónica o el procesamiento.

Ruido térmico
Ruido del sensor generado por la actividad electrónica dependiente de la temperatura.

Saturación
pp. 20, 493
Condición en la que los píxeles del sensor alcanzan su capacidad máxima de carga.

Sensibilidad ISO
pp. 151, 187, 188, 207, 318, 414, 531, 536, 537
Ajuste de ganancia del sensor que influye en el nivel de exposición y en las características del ruido.

Sensor basado en silicio
pp. 22, 24, 46, 121
Dispositivo fotosensible que convierte la luz en señales electrónicas aprovechando la sensibilidad espectral del silicio, que normalmente abarca longitudes de onda aproximadas de 200 a 1000.

Sensor CCD (Dispositivo de Carga Acoplada)
pp. 18,62, 75, 77, 116-121, 159, 199, 204, 245, 250, 436, 488
Tecnología de sensor de imagen basado en silicio que convierte la luz en señales electrónicas con alta uniformidad y bajo ruido. Históricamente, los CCD han sido ampliamente utilizados en imagen científica, astronomía

Visible-Induced Infrared Luminescence (VIL/V-IL)

pp. 30,32,44, 45, 49, 70, 74, 78-80, 111, 112, 125, 141-144, 147, 149, 155, 157, 159-163, 174-177, 181-182, 200-201, 213, 216, 219-233...

Infrared emission induced by excitation in the visible spectrum.

Visible Light Imaging (VIS)

pp. 7-240...

Acquisition of images using electromagnetic radiation within the human-visible spectral range, approximately 400–700 nm.

Vignetting

p. 218

Darkening of image corners caused by optical limitations.

Wavelength

pp. 23, 29, 36.38, 57, 68-78, 82, 108, 121, 141, 150, 152-154, 160, 182, 187, 189, 199, 208, 220, 225, 237, 245, 251, 335, 344, 347, 348, 398, 400, 412, 442, 513

Spatial distance between successive peaks (or troughs) of a wave, defining its spectral position within the electromagnetic spectrum.

White Balance

pp. 43, 154, 161-164, 207, 226, 233, 319, 390, 414, 465

Adjustment ensuring neutral tonal reproduction under specific illumination.

White Reference

Reference surface or target with known neutral reflectance used to support exposure control, white balance, and comparative interpretation across different spectral modalities in technical imaging.

y espectroscopía debido a su excelente calidad de imagen y sensibilidad.

Sensor CMOS (Semiconductor Complementario de Óxido Metálico)

pp. 18,62, 75, 77, 116-121, 159, 199, 204, 245, 250, 436, 488

Tecnología de sensor de imagen basada en silicio que convierte la luz en señales electrónicas. Se caracteriza por altas velocidades de lectura, bajo consumo energético y capacidad de captura de imágenes en tiempo real, lo que la hace ampliamente utilizada en sistemas de imagen multibanda, espectroscopía y otros sistemas de detección óptica.

Señal residual

Señal no deseada que permanece después de la corrección o el procesamiento.

Sobreexposición

Pérdida de detalle en la imagen debido a la saturación del sensor.

Soporte de reproducción

pp. 198, 294, 521, 531

Estructura rígida de soporte para la cámara que garantiza una alineación estable y ortogonal, así como una geometría de imagen reproducible.

Tonalidad

pp. 418, 419, 449

Distribución de los valores claros y oscuros dentro de una imagen.

Topografía superficial

pp. 249-260

Características tridimensionales de una superficie reveladas mediante técnicas de imagen.

Workflow Consistency
pp. 25, 166-170, 180, 181, 185, 202, 204, 208, 209, 212, 217, 234, 294, 462, 514, 541, 542
Maintenance of identical capture parameters across imaging sessions.

X-Ray Imaging (XR)
pp. 361-381, 391, 398, 400, 405
High-energy imaging technique that uses X-rays (wavelengths roughly 0.01–10 nm) to visualize the internal structure of objects. In heritage and scientific applications, it is often used for contextual comparison or to reveal features not visible with lower-energy imaging methods.

Zonal Illumination
Non-uniform lighting distribution across the object surface.

Zero-Noise Floor
Lowest detectable signal level above background noise.

Transmisión
pp. 8, 18, 34-40, 52, 76, 103, 106, 113, 134, 156, 157, 160, 181, 187, 189, 199, 200, 213-216, 336, 337, 347, 437, 483-508
Paso de la radiación a través de un material.

Ultravioleta (UV)
Región del espectro electromagnético con longitudes de onda más cortas que la luz visible, que abarca aproximadamente desde 10 nm hasta 400 nm.

Ultravioleta de onda larga (UVA)
pp. 213, 216, 218-224, 227, 229-232, 390, 412, 518
Radiación ultravioleta más próxima al espectro visible, comúnmente utilizada para imágenes de luminiscencia inducida y de reflectancia.

Viñeteado
p. 218
Oscurecimiento progresivo de las esquinas de la imagen causado por limitaciones ópticas del sistema.

Vista en directo (*Live View*)
pp. 204-208, 223, 464
Visualización en tiempo real de la señal del sensor utilizada para el enfoque y la composición, esencial en imagen ultravioleta e infrarroja.