

# La iluminación aplicada en patrimonio cultural

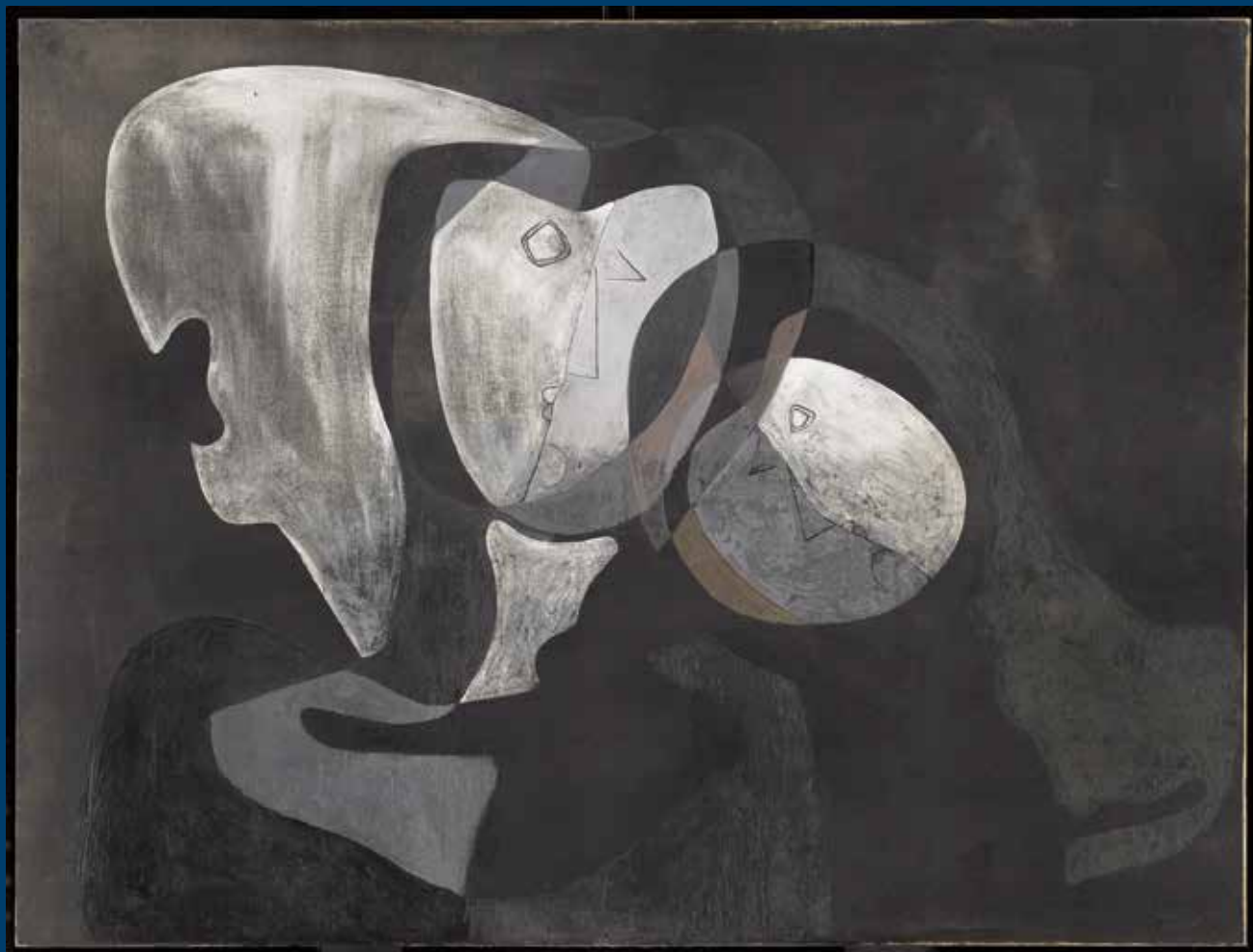
**Antonio Alvarez Fernandez-Balbuena** [1] · **Daniel Vázquez Moliní** [1]

**Bárbara Sánchez Cancela** [1] · **Santiago Mayorga Pinilla** [1]

**Anto J Benitez** [2]

[1] Departamento de Óptica Universidad Complutense de Madrid

[2] Departamento Periodismo Universidad Carlos III de Madrid



▲ Figura 1: Cuadro sin restaurar en 2023, Foto MNCARS.

La restauración y conservación del patrimonio cultural son fundamentales para preservar la identidad y la memoria histórica de las sociedades. Este patrimonio abarca una amplia gama de bienes, desde monumentos y edificios históricos hasta obras de arte y artefactos arqueológicos. La conservación de estos bienes no solo protege su valor estético y educativo, sino que también garantiza que las futuras generaciones puedan aprender y disfrutar de ellos. La luz ha sido siempre un elemento imprescindible para la percepción y conservación del patrimonio cultural, pero gracias a los últimos avances en fuentes de luz, sensores y procesamiento de información se ha convertido en una herramienta que permite conocer, analizar y restaurar obras de arte que hasta la fecha era imposible tener a disposición del público general o de personal especializado. Se muestran tres proyectos en los que las técnicas ópticas empleadas ha hecho posible poner en valor importantes obras de patrimonio cultural.

La ya vieja dicotomía entre iluminar o deteriorar a la que se enfrentaban los responsables del patrimonio cultural ha abierto el campo a otras posibilidades en las que el manejo de la luz, real o virtual, abre las puertas a una nueva forma de conservar y exhibir las obras de arte. La luz puede ser empleada como una herramienta de análisis de estas obras, detectando con ella aspectos que a simple vista no podían ser contemplados o evaluados, desarrollando gemelos digitales sobre los que se puede jugar con luces que pongan

de relieve aspectos desconocidos o no aparentes. El grupo de iluminación y color perteneciente al Departamento de Óptica de la Universidad Complutense de Madrid (<https://www.ucm.es/iluminacionycolor>) desarrolla investigación en patrimonio cultural desde hace 25 años. Como ejemplo de ello se muestran tres líneas de trabajo de este equipo que han puesto de manifiesto como la interacción de los equipos expertos en tecnologías ópticas junto con los restauradores hacen posible la puesta en valor en las obras de arte.



▲ Figura 2: Izquierda restauración de una línea en L, a la derecha restauración de 2 líneas en L y fondo.

### 1.- Restauración Fotónica aplicada a Patrimonio Cultural: Aplicación al cuadro de Dalí "Dos Figuras"

El objetivo es desarrollar y aplicar técnicas de restauración fotónica virtual [iluminación estructurada y controlada espectralmente, imágenes multiespectrales / hiperespectrales de reflectancia, algoritmos de optimización de iluminación] para mejorar la exposición y la apariencia de la pintura Dos Figuras de 1929 de Salvador Dalí, minimizando los efectos de deterioro y fotodaños, sin intervención física directa sobre la obra. <https://www.museoreinasofia.es/coleccion/obra/dues-figuras-dos-figuras>. En este proyecto [ RTI2018-097633-A-I00 ] se planteó una forma reversible de "restauración" visual mediante iluminación controlada, sin contacto alteración física de la obra, adecuada para exhibición con menor riesgo de daño fotoquímico. Para ello se realizó caracterización espectral del cuadro de Dalí mediante reflectancia multiespectral con resolución 4K usando un sistema más económico basado en una matriz de filtros espectrales. A partir de los datos de reflectancia, se diseñaron algoritmos para optimizar la iluminación incidente (perfil espectral adaptado por punto de la superficie) de modo que la percepción visual del cuadro sea lo más fiel posible a su estado original, o al menos más cercana, compensando zonas deterioradas.

Como se ilustra en la figura 2, esta técnica innovadora, permite la recuperación virtual de líneas que aparecían en la pintura original, según datos de una fotografía tomada a principios del siglo XX, y que ahora no se aprecian por el deterioro de la obra. En la figura 2 izquierda se observa una línea blanca en el margen superior derecho que está restaurada con luz, en la figura 2 derecha se observa una restauración de dos líneas dando mayor contraste al fondo.

En las imágenes de la figura 3 se restaura fotónicamente la esquina blanca inferior derecha. El proyecto ha sido presentado en jornadas de conservación y restauración, incluyendo el Museo Nacional Centro de Arte Reina Sofía, con demostraciones de la técnica aplicada al cuadro Dos Figuras de Dalí. La restauración fotónica virtual permite mejorar visualmente obras de arte sin necesidad de intervención directa en su superficie, lo cual reduce riesgos asociados a la manipulación física. Es especialmente útil en piezas con deterioro avanzado

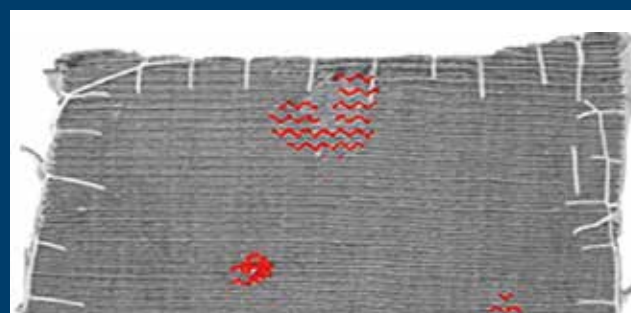


▲ Figura 3: Detalle restauración esquina. Izquierda sin restaurar, derecha restaurado fotónicamente.

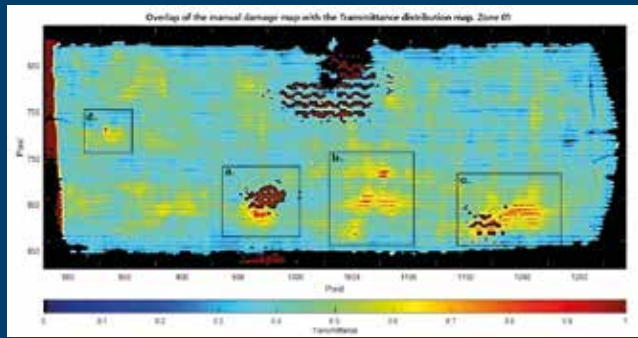
en las que la restauración tradicional es limitada o invasiva. La técnica puede adaptarse a otros contextos de patrimonio cultural con costes relativamente bajos, gracias al uso de filtros espectrales y algoritmos diseñados ad-hoc. Aunque no sustituye la restauración física, puede complementar la conservación preventiva y la mejora en la exhibición de obras deterioradas.

### 2.- Tecnologías ópticas avanzadas aplicadas al análisis y restauración de tapices históricos

En este caso se ha desarrollado un sistema denominado Heri-Tex, que realiza evaluación cuantitativa automática no invasiva de la integridad estructural de los tapices. El sistema combina técnicas ópticas (imágenes multiespectrales, reflectancia, fluorescencia, etc.), algoritmos de procesamiento de imagen y aprendizaje automático para detectar microfisuras, cambios en la reflectancia, zonas degradadas, etc.



▲ Figura 4: Mapa de daños obtenido de forma manual.



▲ Figura 5: Mapa de daños medido con sistema UCM y manual superpuesto. A mayor valor de escala mayor deterioro.

En la figura 5 se observa que aparecen zonas degradadas [valores rojos] en zonas que manualmente no se consiguen detectar. Algunas publicaciones han usado estos resultados para optimizar la iluminación incidente y mejorar la exhibición visual de las obras restauradas o en proceso de conservación. Combina óptica avanzada con técnicas de procesamiento de imagen y aprendizaje automático para ofrecer una herramienta novedosa de conservación preventiva del patrimonio. Facilita la monitorización no invasiva de tapices, lo que permite detectar deterioros incipientes sin necesidad de intervención directa, reduciendo riesgos. Puede ayudar a optimizar las estrategias de iluminación en museos para exhibir las obras con la máxima fidelidad visual posible.

Proyecto financiado por la Agencia Estatal de Investigación dentro del marco Proyectos de Generación de Conocimiento 2022, referencia PID2022-138061OB-I00, "Tecnologías ópticas avanzadas aplicadas al análisis y restauración de tapices históricos".

### 3.- Digitalización Multiespectral 3D del patrimonio cultural

Se ha desarrollado un sistema automatizado de captura de imágenes multiespectrales que permite la obtención de modelos tridimensionales de alta precisión de obras de arte en muy diversos tipos de materiales, formas. Estas imágenes se calibran en color, luminancia y distribución. Posteriormente son procesadas para obtener un 3D junto con texturas de la obra. El sistema hace posible un estudio de las obras más detallado y profundo a la vez que crea un medio para su difusión y análisis por medios digitales. Esta obra se puede analizar virtualmente en las diversas longitudes de onda en visible, ultravioleta e infrarrojo, y con sistemas de iluminación que ayuden a comprender su geometría, textura o colores, por lo que resulta de una utilidad enorme para la correcta comprensión y conservación de las mismas. El sistema ha sido instalado y puesto en marcha en los laboratorios de restauración del Museo Nacional Centro de Arte Reina Sofía donde se ha llevado a cabo la digitalización de numerosas importantes obras de arte. La toma de imágenes se obtiene utilizando un sistema de motores con libertad de movimiento en 3 ejes en el espacio junto a dos cámaras encargadas de tomar estas fotografías, acompañadas de un sistema de iluminación multiespectral compuesto por dos placas, donde cada una tiene tres tiras de LEDs. El sistema de iluminación está compuesto por tres diferentes longitudes de onda: El espectro visible, infrarrojo y ultravioleta. A partir de las fotografías multiespectrales tomadas se recrea la obra en una gigafoto ensamblando múltiples tomas. Para poder obtener un buen resultado es necesario un solapamiento de las imágenes de la obra para alinearlas correctamente mediante el software correspondiente y realizar un cosido de imagen. Al finalizar este proceso se obtienen tres giga-imágenes de la obra en luz visible, infrarroja y ultravioleta.

Se realiza un segundo procesado de imágenes para conseguir un modelo 3D de la obra, figura 3. Para llevar esto a cabo es necesario un proceso de fotogrametría donde un software especializado realiza varias tareas. La primera de ellas es reconocer en las imágenes diferentes puntos de referencia y colocarlos en el espacio, el programa busca cada píxel en cada imagen y todas las otras imágenes y con esto crea una base de datos de características. Una forma vista desde un ángulo de una foto se hace coincidir con otra de otra foto.



▲ Figura 6: Configuración del sistema de toma de fotos para cuadros y láminas con radiación UV.

Para la correcta visualización del modelo 3D de la obra de arte se recrea una escena en un motor de renderizado en tiempo real. Esta escena permite al usuario manipular la visualización de la obra según sus necesidades. La fotogrametría y la posibilidad de manipular libremente las fuentes de luz ofrece a los conservadores-restauradores nuevas perspectivas desde el marco de la mínima intervención para reintegrar las obras de arte. La difusión es otra de las opciones, la publicación de estos modelos con calidad reducida en plataformas online, para que cualquier persona desde cualquier parte pueda ver una obra de arte, así fomentar la democratización del conocimiento. En la figura 7 se puede apreciar la reproducción del modelo digital de la escultura de Joan Rebull titulada mi hijo Jordi. En esta reproducción se puede ver cómo, no solamente la forma característica de esta obra, sino su textura y color pueden ser apreciados con una gran precisión, gracias a la disposición de las fuentes de iluminación seleccionadas. Esto tiene aplicación no solamente para el estudio de dicha obra, sino que también es importante a la hora de comprobar el estado de conservación de la misma.



▲ Figura 7a y 7b: Recreación 3D en visible [izquierda] y UV [derecha] de la escultura titulada "retrato de Jean Cocteau de Jacques Lipchitz, 1920.