

REFLECTANCE TRANSFORMATION IMAGING EN EL ANÁLISIS Y CONSERVACION DE SUPERFICIES DE LOS BIENES CULTURALES.

MANRIQUE TAMAYO, SILVIA; JUAN VALCÁRCEL ANDRÉS

Universitat Politècnica de València, Valencia, España

manriquesil@gmail.com

Introducción

Una de las principales fuentes de información para arqueólogos, historiadores del arte, conservadores y otros investigadores del patrimonio cultural es la superficie de los objetos, ya que es en los patrones de color y textura donde se concentra gran parte del mensaje visual que el artista o autor ha creado y es ahí de donde se deriva mucha de la valoración de los bienes culturales y de donde se pueden extraer datos importantes para interpretar su historia, función, modificaciones o significados (Vernhes y Whitmore 2011, 36).□

En términos generales la textura se define como la descripción de las características topográficas exteriores de una forma; y es, junto con la forma y el color, uno de los elementos visuales básicos que ayudan a la percepción a reconocer los materiales presentes a nuestro alrededor (si son rugosos, porosos, brillantes, lisos, mate, si tienen vetas o gránulos, entre otros). Más significativo es el hecho de que, visualmente, la textura interactúa con la iluminación creando juegos de luces y sombras que permiten al ojo distinguir diferentes grados de profundidad y percibir el mundo en tercera dimensión.

En los bienes culturales el estudio de la textura es importante ya que el conjunto de patrones y sub-patrones topográficos ayuda a los investigadores a conocer más acerca de la obra, del artista, la época o la ideología que produjo el objeto al darle claves para interpretar el mensaje visual, ya sea por los patrones decorativos (las distintas tallas, el alisado, bruñido, empaste, etcétera); o las evidencias del proceso de factura (marcas de herramientas, superposición de capas, altos o bajo relieves, dirección de pincelada). Por otro lado, aun cuando la textura es una propiedad inherente de

toda materia, no es permanente. Los materiales pueden cambiar por el desgaste derivado del uso, los elementos ambientales, el paso del tiempo o por deterioro; la textura original puede ser parcial o completamente reemplazada por abrasiones, craqueladuras, descamaciones, ampollas, arrugas o deformaciones que distorsionan el mensaje visual que el artista había planeado. Dichos cambios en la textura pueden también proveer información valiosa acerca de la historia del objeto y sus funciones, de los materiales que lo componen o del medio ambiente en el que se ha mantenido.

Ya que la textura es parte esencial de la evidencia física que sirve a quienes estudian y conservan el patrimonio para descubrir y prevenir las causas de deterioro, planificar los tratamientos adecuados y evaluar los resultados de las intervenciones, es imperativo contar con las herramientas precisas para documentarla y analizarla. Desafortunadamente, a pesar de que hoy en día las cualidades de color y sus más sutiles variaciones pueden ser capturados y analizados fielmente, el registro cabal de la textura es todavía una tarea compleja ya que lo que el ojo percibe es el resultado de un juego dinámico entre la forma del objeto y la iluminación; lo cual no puede ser capturado verazmente por medio de dibujos o fotografías fijas. Por esta razón la búsqueda de herramientas que aumenten nuestra capacidad para identificar, documentar, estudiar y monitorear las superficies texturales y sus transformaciones son esenciales. Una de estas herramientas es *Reflectance Transformation Imaging* (RTI), que ofrece un nuevo método fotográfico para registrar, transmitir y analizar con precisión la textura de una manera exacta pero también accesible y rápida.

El objetivo de este trabajo es exponer algunos de los beneficios de RTI para la captura y análisis visual de la textura y las aplicaciones potenciales de este método en el campo de la conservación de los bienes culturales. A través de ejemplos específicos se demuestran las ventajas del RTI para la caracterización de las obras, el descubrimiento de nueva información en los patrones texturales, la identificación de técnicas de factura, el diagnóstico del estado conservación y para la

evaluación de los cambios texturales producidos por las medidas de preservación y tratamientos de intervención.

Reflectance Transformation Imaging

RTI, o Imágenes por Modificación de la Reflectancia, es un método de fotografía computacional que hace uso de la toma sistemática de imágenes de un objeto fijo, iluminado desde diferentes ángulos, para así capturar su forma, color y textura y con ello generar un modelo virtual exacto y de alta calidad de la superficie y sus cualidades reflectantes (Malzbender, Gelb y Wolters 2001).



Fig. 1 Detalles extraídos del archivo RTI de una pintura al óleo vista sin filtro (izquierda), con filtro difuso que permite aumentar el contraste entre altos y bajo relieves (centro) y con filtro especular que reduce el color e incrementa la reflectancia de la superficie (derecha). Los filtros de renderizado RTI permiten percibir la textura de la técnica pictórica en empasto del rostro así como la textura cuadrangular del soporte de tela.

Mientras que en pantalla una imagen RTI aparece similar a una fotografía convencional, cada pixel contiene información de la reflectancia del objeto –la capacidad de su superficie para reflejar la luz- por lo que al ser iluminado con una luz virtual el modelo en pantalla reproduce los patrones de color y reflexión del objeto físico, lo que imita fielmente la experiencia de la interacción de la luz con la textura en el mundo real (figs. 1 y 2).

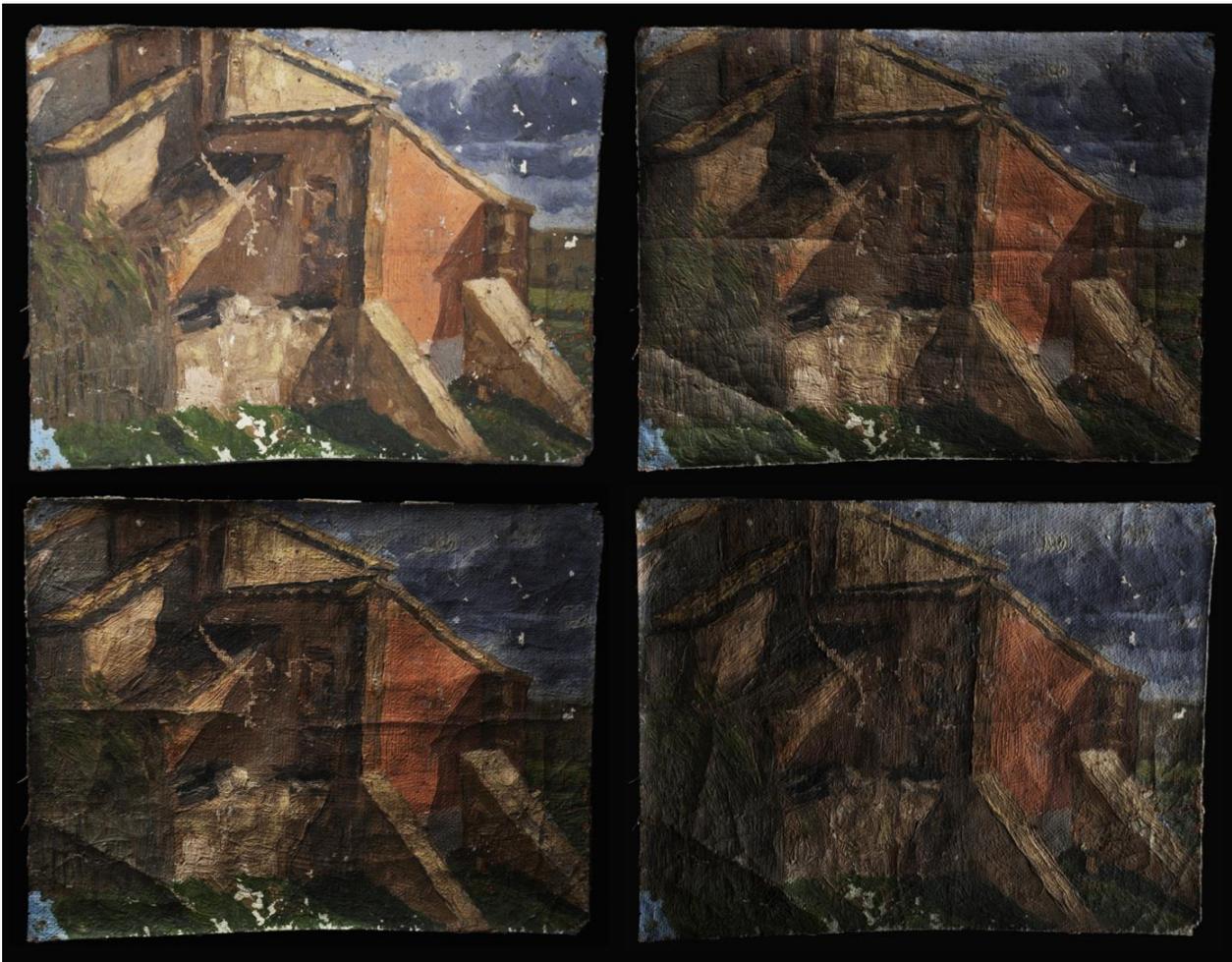


Fig. 2 Cuatro imágenes extraídas del archivo RTI de una pintura al óleo vista sin filtro (izquierda arriba) y con distintos ángulos de iluminación rasante (derecha arriba y fotos inferiores). Con RTI es posible seleccionar un infinito número de iluminaciones oblicuas y rasantes para resaltar distintos rasgos texturales.

El RTI no es solo útil para ver la superficie bajo distintos ángulos de luz sino que toma su nombre de la capacidad para modificar las propiedades reflectantes del modelo digital sin afectar la información topográfica. A través de varios filtros de renderizado es posible aumentar o disminuir la intensidad de brillos de la superficie, acentuar el contraste entre altos- y bajo-relieves o modificar los valores de color para revelar detalles acerca de las irregularidades texturales imposibles de obtener por otros medios fotográficos, espectros de iluminación, o incluso examinando empíricamente el objeto mismo (fig. 3).

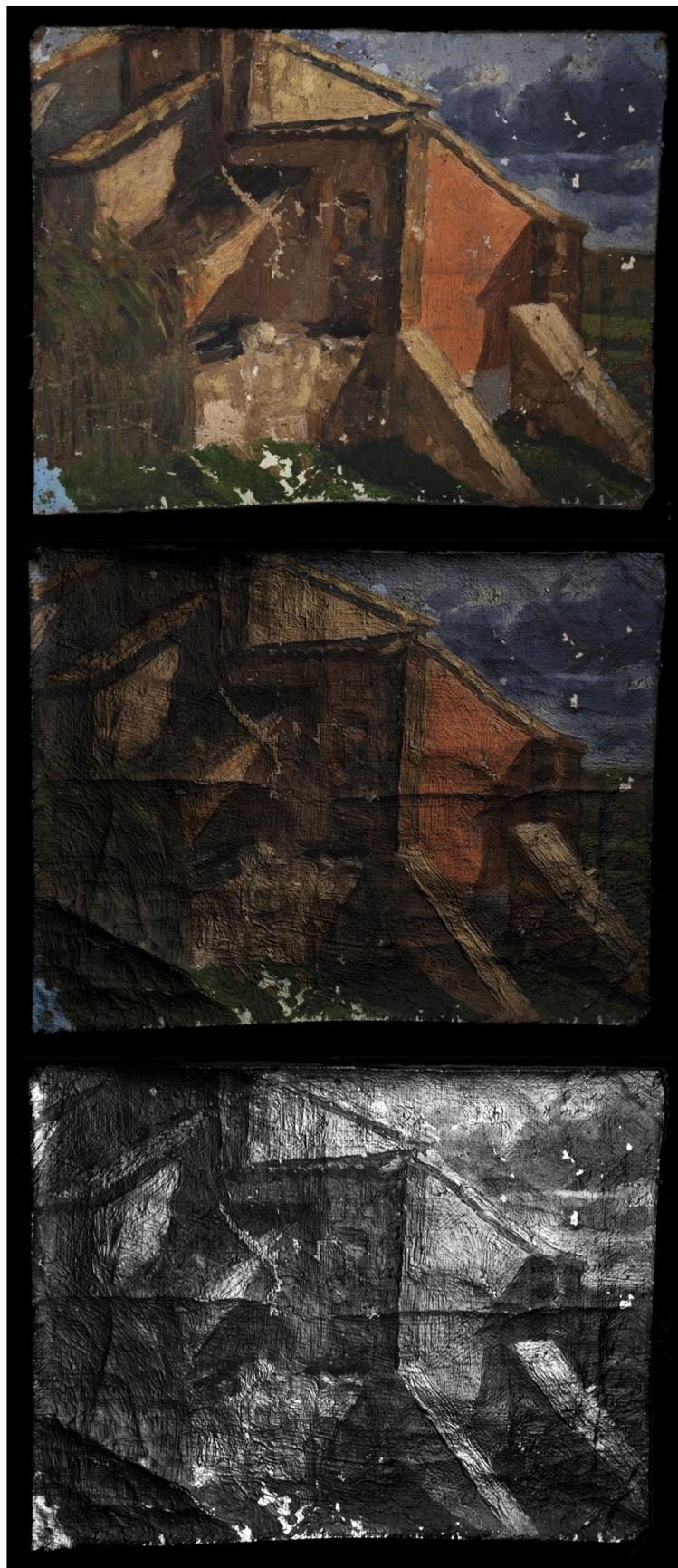


Fig. 3
Pintura al óleo sin filtro (arriba), filtro difuso (centro) y filtro especular (abajo). Todas las imágenes están iluminadas desde la misma dirección.

RTI forma parte de los métodos de fotografía computacional, los cuales se distinguen por ser procedimientos de captura y procesamiento que extraen datos de una secuencia de fotografías digitales para generar una nueva imagen con información relevante que no se encuentra en ninguna de las tomas individuales originales (Schroer 2012, 42). En este sentido, más que una fotografía, la imagen RTI es la presentación final de un mapa matemático de textura. Estos mapas de textura, conocidos originalmente como *Polynomial Texture Maps* (PTM), fueron creados en los laboratorios Hewlett Packard como una aplicación de renderizado para gráficos tridimensionales utilizando fotografías y fuentes de luz convencionales (Zanyl, Schroer y Mudge 2007, 3).

Los PTMs se crean a partir de los patrones de reflexión de luces y sombras que resultan de la interacción de la iluminación con la topografía del objeto. Dichos patrones permiten calcular las normales de superficie, las cuales son vectores imaginarios que marcan el punto medio exacto entre el ángulo del haz de luz incidente y del haz de luz reflejada y son exactamente perpendiculares al punto donde la luz incide (fig. 4).

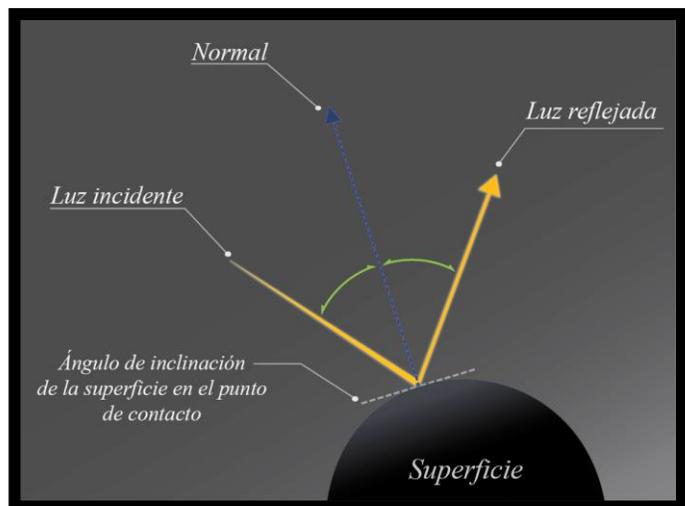


Fig. 4 Normales de superficie.

Cuando un objeto es iluminado desde distintas direcciones los patrones de reflexión de cada segmento de la superficie son capturados en el píxel correspondiente de cada fotografía y, posteriormente, a través de una serie de algoritmos matemáticos hecha por un programa de software llamado *RTIBuilder*, se calculan las normales. Ya que cada normal codificada corresponde a un punto en el objeto, el conjunto de normales ofrece una "descripción" completa y precisa de la topografía (Happa, Mudge y Debattista 2009) (fig. 5).

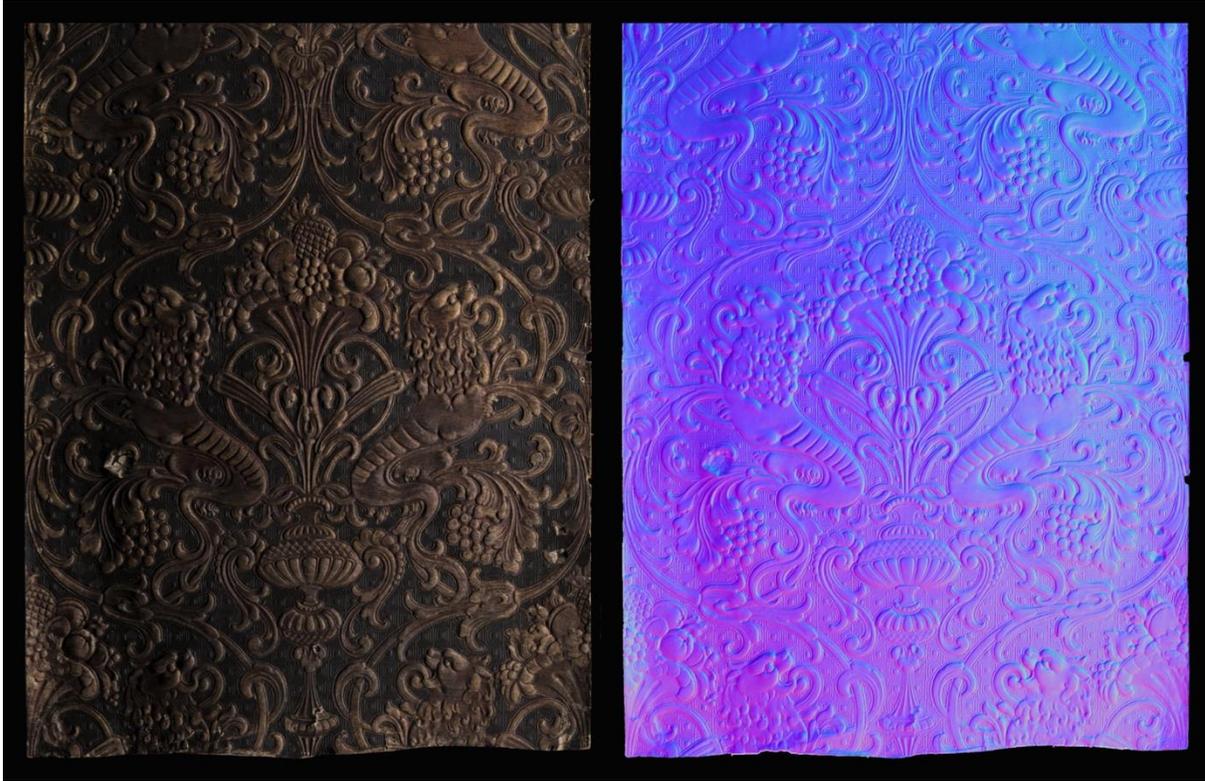


Fig. 5 Detalle de papel tapiz repujado visto en RTI sin filtro (izquierda) y como mapa de textura (derecha). El color del mapa de textura depende de la inclinación de cada normal de superficie. *Imagen usada con permiso del IRPA*

Una vez que se han identificado tanto la configuración topográfica como las propiedades reflectantes es posible crear un mapa digital que reproduzca, pixel por pixel, esa misma reflectancia, forma y color al ser iluminado por la fuente de luz virtual. Cuando se le observa a través del programa de visualización RTI, llamado *RTIViewer*, el mapa de textura aparece como una imagen fotográfica convencional, pero a medida que el usuario mueve la luz en pantalla, el modelo duplica exactamente y en tiempo real la reflexión del objeto y es capaz de proveer al sistema perceptual del cerebro con la información necesaria para verlo en tres dimensiones (*Cultural Heritage Imaging* 2010, 11). Esta cualidad interactiva hace posible amplificar el contraste visual entre los relieves de la superficie a través de la simulación de un número infinito de luces rasantes. Además, el usuario puede seleccionar y destacar rasgos particulares al aumentar o disminuir la reflectividad o incluso

remover los datos de color para ver únicamente la textura sin alterar la información topográfica o modificar el archivo informático.

Proceso RTI

A grandes rasgos la creación de imágenes RTI se lleva a cabo en tres etapas: la captura fotográfica, el procesamiento del mapa de textura y la visualización.

Para calcular cómo la luz se refleja desde una superficie y extraer la información de las normales de superficie es necesario tomar entre 40 y 80 fotografías del objeto fijo, cada una iluminada desde un ángulo distinto. Debido a que para computar el valor de las normales es necesario conocer la posición de la fuente de luz, esta información se registra ya sea utilizando una estructura semiesférica con focos llamada domo de luces o por medio del método *Highlight RTI* (H-RTI), el cual permite registrar la posición de la fuente dentro de cada una de las fotografías y calcular su posición exacta posteriormente.

Desarrollado por investigadores de *Cultural Heritage Imaging* alrededor de 2006, el método H-RTI consiste en iluminar al objeto mediante un flash o una fuente de luz continua sujeta manualmente, en lugar de utilizar una estructura rígida, y en colocar dentro del encuadre dos esferas negras lisas y brillantes. De esta manera, a medida

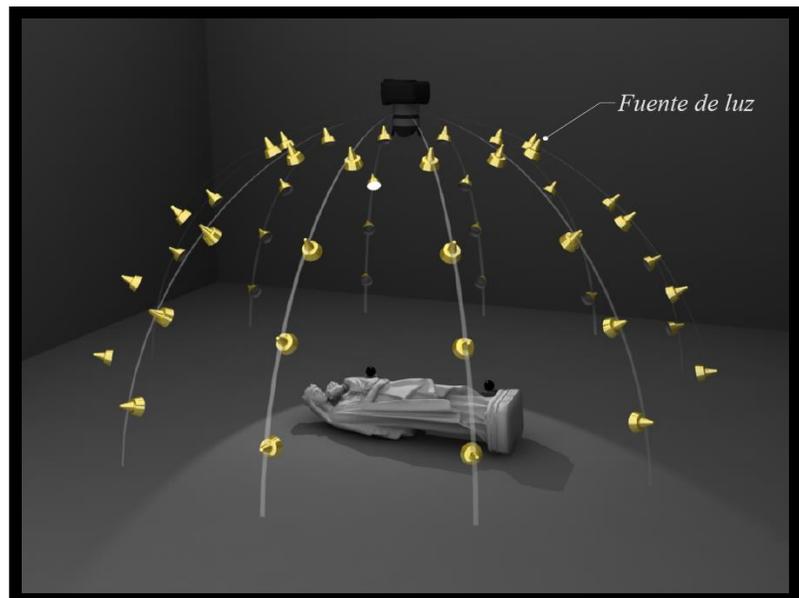


Fig. 6 Simulación de secuencia de captura RTI de una escultura en piedra. Cada foco representa la posición de la fuente de luz utilizada en cada fotografía.

que el flash se mueve alrededor del objeto para fotografiarlo, la posición de la luz utilizada en cada imagen queda registrada como un reflejo especular en las esferas. Para obtener una secuencia completa de datos de reflexión de la superficie la luz se va colocando en diferentes posiciones y ángulos alrededor de la obra, siempre manteniendo la misma distancia en cada uno, de modo que se forme un domo de luces imaginario (fig. 6).

La segunda etapa es el procesamiento de la secuencia de fotografías y la creación del mapa de textura a través del software *RTIBuilder*. Este programa es altamente automatizado y su objetivo es la localización de los brillos especulares presentes en las esferas negras para detectar la posición exacta de la fuente de luz que se utilizó en cada fotografía (el ángulo de luz incidente); así como analizar los niveles de brillo en de cada pixel de la imagen (la luz reflejada) para definir las normales y por ende la topografía del objeto y sus propiedades reflectantes.

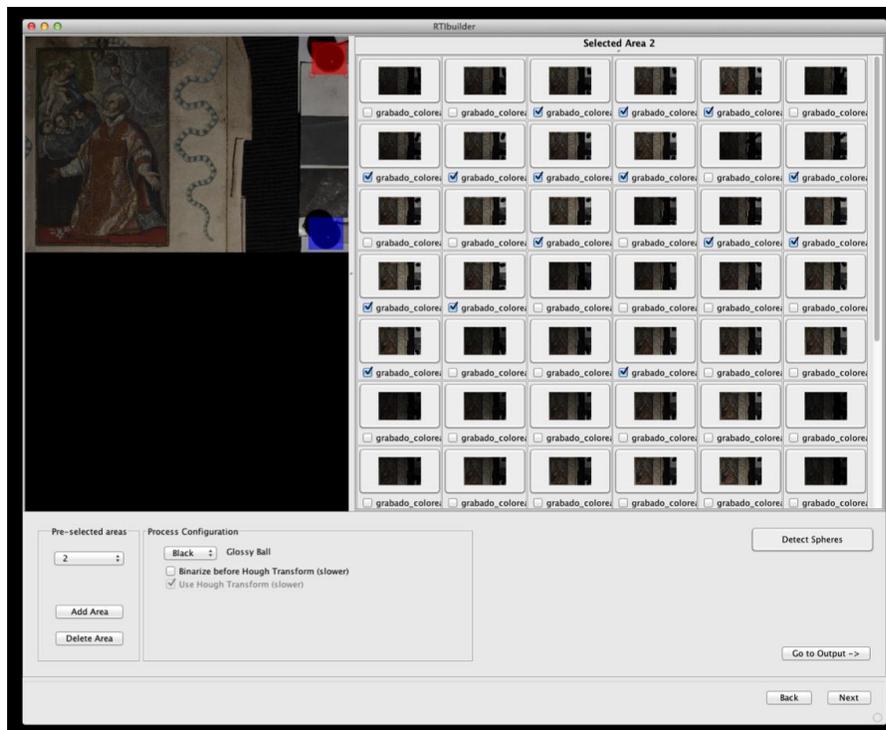


Fig. 7 Interface del programa *RTIBuilder*. El método H-RTI extrae información a partir de la secuencia de fotografías. La dirección de luz incidente se deriva del brillo reflectante de dos esferas negras incluidas en cada imagen (aquí resaltadas en azul y rojo) para calcular la dirección de las normales de superficie.

Con

esta

información se lleva a cabo la configuración matemática del mapa de textura y la condensación de los datos en el archivo RTI final (fig. 7).

La última etapa, la visualización del archivo RTI, se lleva a cabo por medio del software *RTIViewer*, el cual contiene una luz virtual que el usuario puede manipular para iluminar el objeto desde un infinito número de ángulos oblicuos y rasantes. Este programa también contiene varios filtros de renderizado que controlan el brillo de la superficie y los datos de color (*specular enhancement*), aumentan el contraste entre las normales de superficie para enfatizar la diferencia entre los altos- y bajo relieves (*diffuse gain*), acentúan la diferencia entre los colores (*image unsharp masking*), o que permiten ver el mapa de las normales de superficie (*normals visualization*), entre otros. Gracias a estos filtros es posible seleccionar de manera sencilla e intuitiva aquellos ajustes que transmiten la mayor cantidad de información acerca de la textura, independiente de las direcciones de luz empleadas para crear la imagen.

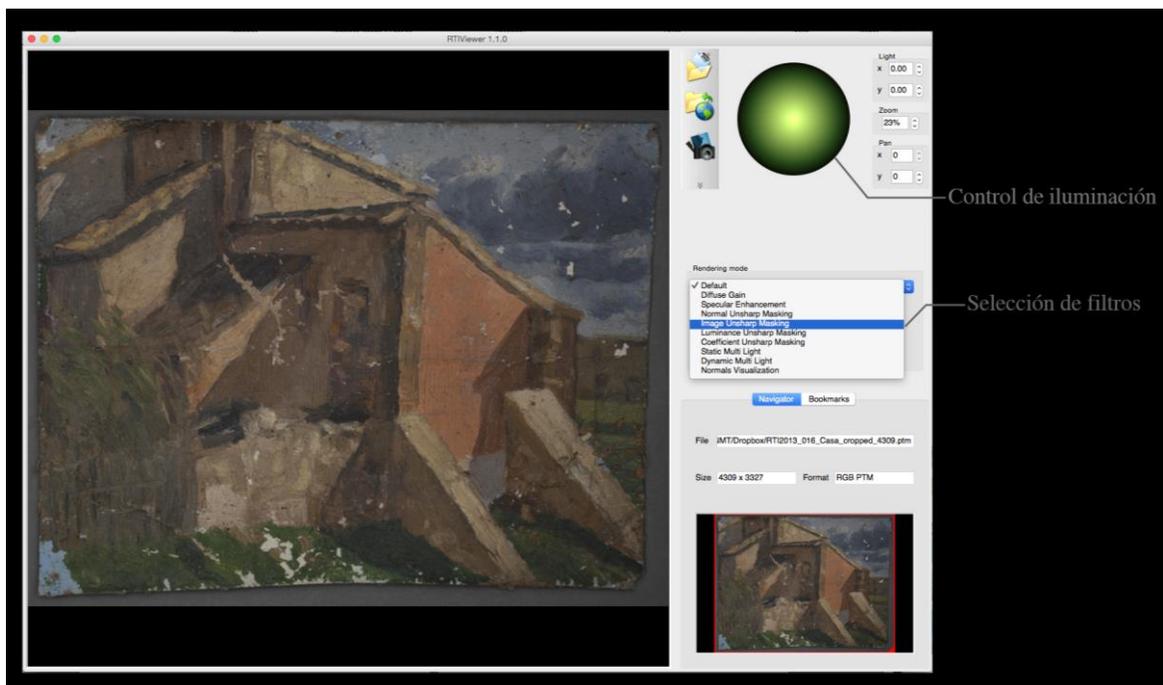


Fig. 7 Interface del *RTIViewer*. En este programa el usuario puede mover la fuente de iluminación virtual hacia cualquier dirección y utilizar varios filtros de renderizado, así como extraer imágenes fijas de la obra en formato JPG.

Todas las funciones del *RTIViewer* son interactivas ya que el propósito del método RTI no es el de crear una imagen única sino el de proporcionar una técnica participativa, dependiente de la vista, en donde la iluminación seleccionada por el usuario sea optimizada para permitirle “*una experiencia exploratoria dinámica y controlable que simule y mejore la examinación directa del objeto*” (Palma, Corsini y Cignoni 2010, 3).

Entre las desventajas del RTI se encuentran la falta de medición de profundidad de los relieves, que la imagen muestra una sola vista del objeto y que la captura de objetos mayores de 1.5m se vuelve cada vez más compleja. No obstante estas limitantes, RTI es un proceso relativamente sencillo, rápido y de bajo costo para implementar, principalmente porque los programas de software son *open-source*; es decir, gratuitos y disponibles en internet para todo el público. Además, requiere únicamente de equipo fotográfico, informático y de iluminación convencionales, lo que hace de este método una opción muy asequible para instituciones de bajos recursos o para investigadores independientes.

El registro de texturas

Para ayudar a la interpretación de las texturas en los bienes culturales se han utilizado múltiples medios, desde dibujos hechos a mano, moldes, improntas y calcos, fotografías con luces rasantes y escaneos 3D. Sin embargo, el inconveniente de algunos de estos métodos, como los moldes e improntas, es que pueden registrar muchos de los detalles tridimensionales de la superficie pero requieren el contacto con la superficie. En casos donde las superficies son frágiles o muy porosas estos métodos son una opción arriesgada, poco viable o incluso poco ética. Por otra parte, la naturaleza bidimensional de los dibujos difícilmente logra representar íntegramente la tridimensionalidad de los objetos y exhiben un nivel de objetividad cuestionable ya que dependen mucho de la habilidad, los objetivos y el juicio editorial del dibujante. Además, aun los dibujos mejor

logrados no son suficientemente detallados como para utilizarlo como fuente de análisis textural. Por estas razones en la actualidad se ha dado prioridad a las técnicas que permiten el registro de las superficies por medios informáticos no-invasivos. De acuerdo con Vernhes y Whitmore esta tarea se ha llevado a cabo principalmente de dos maneras: a través de mediciones espaciales precisas o mediante imágenes que representen con precisión la superficie del objeto (2011, 36).

Entre los métodos de medición espacial más populares está el escaneo 3D. Este tipo de sistemas provee mediciones topográficas de gran exactitud y alta resolución geométrica, sin embargo, no obstante su rendimiento a niveles sub-milimétricos, la apariencia del objeto y su relación con la iluminación, tal como la percibe el observador, no es directamente provista por el análisis¹.

Entre los métodos por imágenes más empleados en los bienes culturales está la fotografía con luz rasante. Desafortunadamente, aunque este medio ha sido empleado mayormente para documentar exámenes científicos no se ha usado frecuentemente como herramienta analítica. La razón principal radica en la complejidad de la textura en sí ya que ésta no es únicamente una cualidad física de la materia sino que también es un fenómeno visual que involucra la percepción y la iluminación. En este sentido, tal como sucede con los dibujos, las fotografías fijas no pueden transmitir fácilmente la idea de tridimensionalidad y no proyectan sino un breve instante del continuo juego de luces y sombras que el ojo percibe.

Las dificultades en la captura de texturas ha sido expuesta previamente por Payne (2012) quien explica que para que una fotografía con luz rasante represente correctamente la tridimensionalidad de un objeto debe poseer un buen contraste tonal entre los relieves, pero ya que

¹ Esto se debe principalmente a que la geometría del objeto se captura con mayor precisión si se remueven las texturas, y en la mayoría de los casos los patrones de color o brillo se documentan fotográficamente por separado y se agregan posteriormente al modelo digital, a modo de envoltura, para otorgarle más realismo (Redman y Mudge 2007, 359). Esto significa que el *aspecto* de la textura y su relación con los cambios de iluminación se representan solo parcialmente (Payne 2012). Una investigación comparativa entre RTI y escaneo en 3D realizada en el 2010 por el *English Heritage Research Department* de Kent, Inglaterra, concluyó que la calidad y densidad de muestra obtenidos por medio del RTI son tan buenas o incluso mejores que las adquiridas por medio del escaneo 3D, por lo que los modelos resultantes poseen mayor detalle y, visualmente, representan mejor las cualidades materiales de los objetos (Karsten y Earl 2010, 21).

los diferentes patrones topográficos pueden ser visibles sólo cuando se les ilumina desde ángulos particulares, es difícil conseguir un contraste suficiente para destacar algunos rasgos sin ocultar otros. Así, debido a que la topografía se percibe de manera distinta dependiendo del ángulo de iluminación, la veracidad de la textura representada en una imagen fija se ve disminuida puesto que la información capturada ha sido seleccionada y editada por el fotógrafo, resultando en una vista parcial de la realidad (*Rochester Institute of Technology* 2008).

Precisamente para superar muchas de las limitaciones de la fotografía con luces rasantes se han desarrollado los métodos de fotografía computacional como el RTI que combinan el conocimiento acerca de la percepción humana con el de la formación de imágenes y de la interacción de la luz con los materiales. A pesar de no proveer mediciones espaciales exactas los métodos por imágenes poseen grandes ventajas para el análisis y la comprensión de los bienes culturales: facilitan el reconocimiento inmediato de grandes cantidades de datos, promueven la percepción de propiedades emergentes imprevistas, destacan problemas en la calidad de los datos y hacen más clara la relación entre las características macro y microscópicas (Frischer y Dakouri-Hild 2008, 5). Como una forma avanzada de fotografía con luces rasantes el RTI combina la misma calidad de color y resolución encontrado en las fotografías digitales pero con los datos de interacción de luz, color y la percepción para proveer imágenes en un formato que se asemeja a la experiencia visual directa.

RTI en el estudio de texturas de los bienes culturales

La cualidad del RTI de presentar información visual exacta de la textura permite al investigador no solo obtener un registro del objeto en formato digital (una captura digital), sino que crea una réplica digital (*digital surrogate*) de éste. A diferencia de la primera, una réplica digital es capaz de representar contenidos del mundo real en un formato digital que facilita el estudio científico y el disfrute personal de la obra sin tener la experiencia física directa del objeto (Mudge, Ashley y

Schroer 2007). Cuando las réplicas digitales RTI se construyen de manera transparente y siguiendo una metodología correcta es posible obtener representaciones auténticas y fiables de las texturas, útiles para inferir información exacta del objeto que permita estudiar o comparar rasgos particulares cuando el objeto no esté presente, haya sufrido transformaciones por envejecimiento, deterioro o intervenciones de restauración; cuando su estado de conservación no permita su manipulación o incluso después de que haya sido destruido.

Las réplicas digitales creadas con RTI pueden ser empleadas en el campo de los bienes culturales en diversas tareas de investigación, preservación o difusión tales como el descubrimiento de nuevos elementos decorativos, identificación de técnicas de factura, diagnósticos de estado de conservación o la evaluación de intervenciones de restauración, entre otros.

Caracterización de técnicas de factura

Entre los campos en los cuales RTI ha sido más utilizado es el de la caracterización de las obras, en donde se ha reconocido su utilidad para resaltar fácil y rápidamente cualidades de factura en diversos bienes, tales como elementos y patrones decorativos, calidad y diversidad de los acabados, inscripciones e impresiones, marcas de agua, huellas de herramientas, uniones, grosor y dirección de pinceladas, orden de aplicación de materiales pictóricos, etcétera.

De las obras analizadas durante esta investigación, un mapa al agua del siglo XVII proveniente del Colegio del Corpus Christi de Valencia (España) es un buen ejemplo de los rasgos de factura ocultos que se pueden evidenciar a través del empleo del RTI. En preparación para su tratamiento de restauración por parte del Instituto Valenciano de Conservación y Restauración (Valencia, España) esta obra fue analizada con RTI para entender mejor la técnica de factura de ésta y otras obras similares de la época. El RTI ayudó a documentar las líneas que demarcan los elementos principales de la escena como los caminos y las calles de un pueblo pequeño. Al reducir

los valores de color y aumentar el brillo del papel la pintura al agua “desaparece” ya que la técnica de acuarela no deja una impresión en el soporte, excepto en donde las formas se habrían delineado con una punta dura (quizá una pluma), dejando una impresión sutil en el papel que es imperceptible a simple vista o incluso bajo lupas de aumento (fig. 8).



Fig. 8 Imagen compuesta mostrando una pintura al agua en RTI sin filtro (izquierda) y con filtro especular (derecha). En el área central derecha se aprecian las marcas horizontales que definen el camino y que fueron hechas con una punta o instrumento duro. El resto del dibujo “desaparece” al reducirse la información de color porque la pintura al agua no ha dejado huella en la textura del papel. *Imagen usada con permiso del IVC+R*

El RTI también puede proveer información relevante para la valorización y autenticación de obras o para el estudio de técnicas pictóricas o decorativas de artistas u obras particulares al ayudar a resaltar grosor, anchura y dirección de las pinceladas mediante el aumento de contraste entre los relieves de las capas de pintura. Esto se puede lograr por medio de ángulos de iluminación rasantes y también a través de máscaras de enfoque que amplifican el contraste entre los colores.

En la pintura al óleo “Casa con contrafuerte” de principios del siglo XX, perteneciente a una colección particular y analizada por el Departamento de Conservación y Restauración de la Universitat Politècnica de València (España), fue posible apreciar la técnica de aplicación de la pintura y texturas logradas por el artista. Las imágenes resultantes permiten apreciar con mayor detalle la dirección y diferencia de grosor de las pinceladas. Esta información podrá ser utilizada para ayudar a identificar la autoría de esta obra anónima (fig. 9).



Fig. 9 Detalle de pintura al óleo extraído del archivo RTI. Rasgos de dirección, grosor o secuencia de las pinceladas se perciben de distinta manera al ser observados sin filtro (arriba izquierda), con filtro difuso (arriba derecha), filtro especular (abajo izquierda) y con el filtro de luminancia que enfatiza el contraste entre colores (abajo derecha).

Fuente de nueva información

RTI ha ayudado a descubrir rasgos texturales que son imperceptibles a simple vista, a través de otros instrumentos de aumento o con fotografías de luz rasante. Durante el estudio de la estela maya de piedra conocida como Estela 2 de la zona arqueológica El Mirador en el Petén (Guatemala), RTI permitió descubrir evidencia de glifos nunca antes vistos.

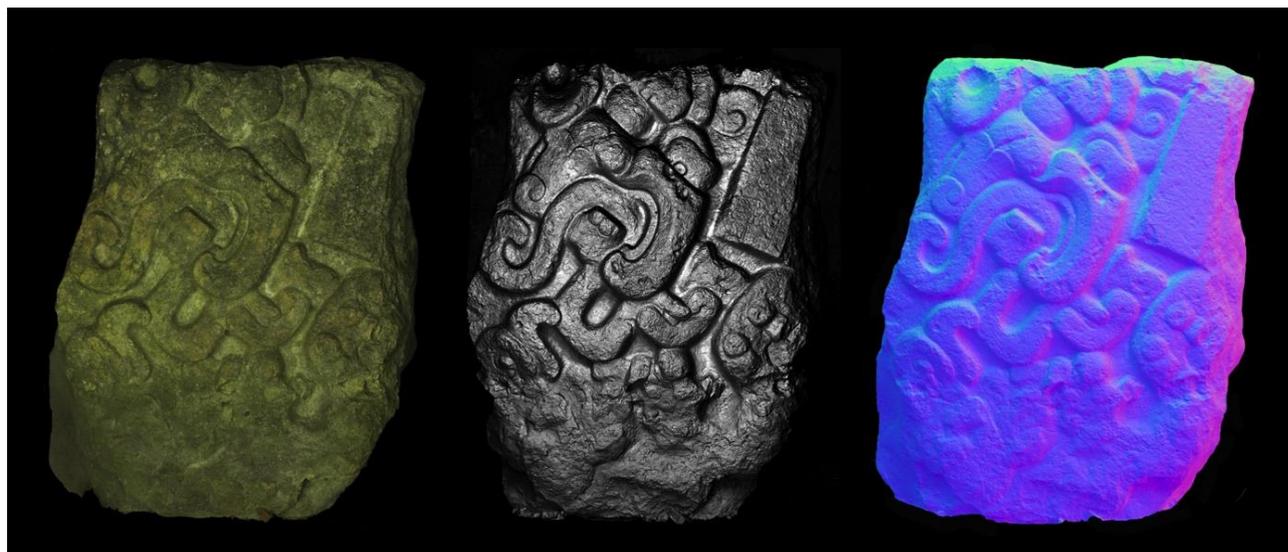


Fig. 10 Imágenes extraídas del archivo RTI de la Estela 2 vista sin filtro (izquierda), con filtro especular (centro) y como mapa de normales (derecha). A pesar de que todas estas imágenes están iluminadas desde las mismas direcciones los diseños tallados se aprecian con más detalle utilizando los filtros RTI. *Imagen usada con permiso del Proyecto Mirador*

La Estela 2 es una pieza muy importante para el entendimiento del periodo Pre-clásico maya del Petén ya que representa uno de los pocos ejemplos de la escritura sobre piedra que se preservan en el área. Desde su descubrimiento en 1962, los glifos en la parte inferior del panel de escritura han sido estudiados minuciosamente y registrados por medio de dibujos y fotografías debido a su importancia y a que la erosión del medio ambiente los ha destruido casi en su totalidad. Sin embargo, a pesar de creerse que todos los demás símbolos habían desaparecido, al analizar la superficie del panel de escritura utilizando imágenes RTI en el verano del 2014 se descubrieron restos de varios

glifos nunca antes identificados. El más significativo fue el detalle de una cabeza humana con tocado, visto de perfil en la parte superior del panel (figs. 11 y 12).

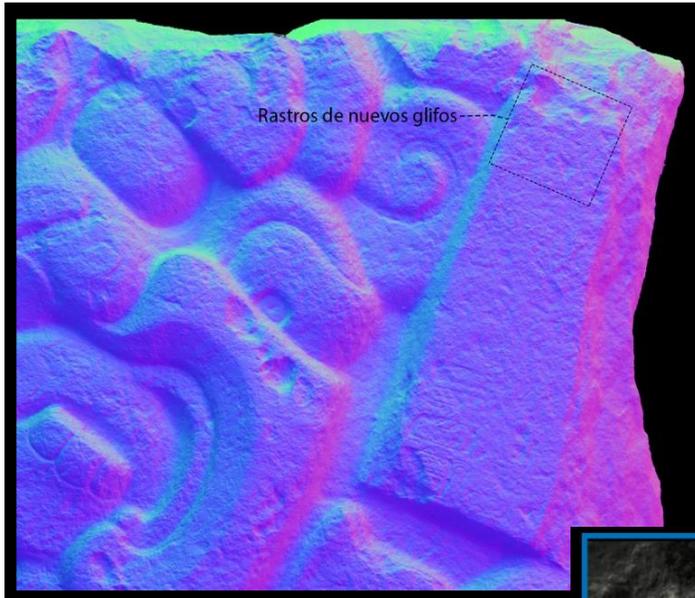


Fig. 11 Panel de escritura de la Estela 2 visto como mapa de normales.

Imagen usada con permiso del Proyecto Mirador



Fig. 12 Detalle de los nuevos restos de escritura encontrados en la parte superior del panel, vistos con filtro especular. El más notable, el rostro en perfil izquierdo en el área inferior izquierda.

Imagen usada con permiso del Proyecto Mirador

Adicionalmente, fue posible detectar nuevos detalles en los glifos que se habían documentado previamente de manera parcial (Hansen 1992) (fig. 13). Este ejemplo muestra la utilidad de la técnica para las tareas de identificación e interpretación de los elementos escritos o decorativos que se

pueden encontrar tanto en este como en otros objetos arqueológicos que han sufrido fuerte abrasión de la superficie.

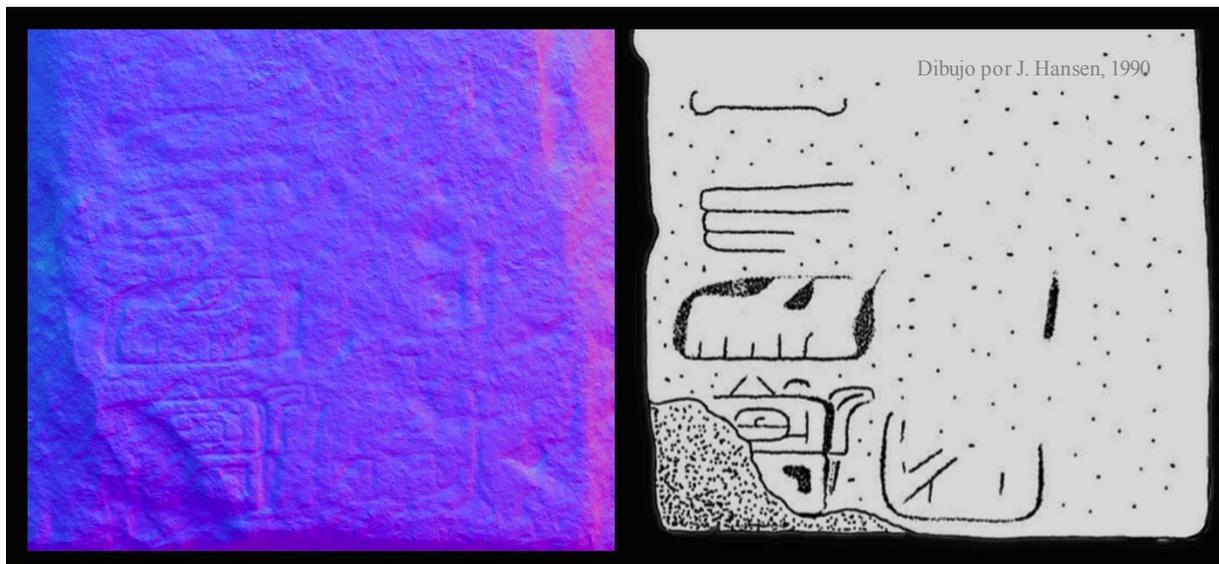


Fig. 13 Comparación de un mapa de textura extraído del archivo RTI (izquierda) con el dibujo más detallado logrado hasta ahora de los glifos en la Estela 2 (derecha). *Imágenes usadas con permiso del Proyecto Mirador*

Cabe señalar que los archivos RTI generados en campo poseen mucha información de la superficie que puede ser explorada en detalle en el laboratorio, sirviendo efectivamente como una réplica digital de los objetos arqueológicos. Los archivos generados durante esta investigación servirán también en el futuro como parte del plan de conservación de las piezas de El Mirador para el monitoreo de los cambios que sufra la superficie o como fuente de información gráfica en el caso de que los relieves lleguen a desaparecer completamente.

Estudio del estado de conservación

Tal vez ninguna aplicación del método RTI en los bienes culturales es tan clara como la de ayudar a diagnosticar su estado de conservación ya que es en la superficie de los objetos donde se manifiestan la mayoría de los hechos físicos que servirán como evidencia para justificar la necesidad

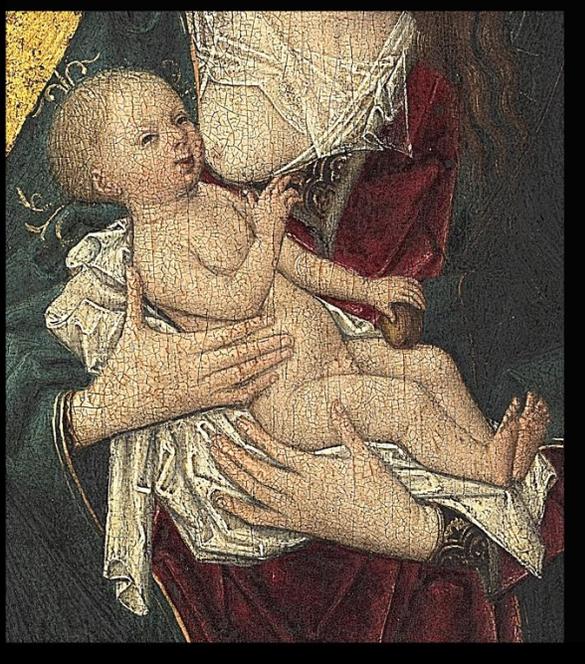
de la intervención y ofrecerán la base para la planificación de los tratamientos (Appelbaum 2007, 30). En la búsqueda de dichas evidencias el método RTI es un instrumento poderoso puesto que los distintos ángulos de iluminación, la amplificación de la imagen y los filtros de renderizado es posible descubrir y documentar muchas de las alteraciones que introducen cambios, aún mínimos, en la textura o el brillo (fig. 14).



Fig. 14 Detalle de pintura sobre tabla vista sin filtro (izquierda arriba), con filtro especular (izquierda abajo) y con filtro de luminancia (abajo derecha).

Lo filtros permiten ver distintos rasgos de la superficie. En este ejemplo con el filtro especular se pueden percibir mejor las líneas verticales de la veta del soporte así como el grosor de las distintas pinceladas; mientras que con el filtro de luminancia se acentúan los patrones de craqueladuras de la capa pictórica.

Imagen usada con permiso del IRPA



El RTI es capaz de enfatizar rasgos particulares pero también puede documentar condiciones generales para ayudar a diagnosticar la naturaleza, tamaño, ubicación, extensión y carácter aparente del daño; qué propiedades visuales o estructuras se han perdido o disminuido; e incluso, cuando se crean imágenes de un objeto periódicamente, se puede saber si su estado está cambiando activamente (Kronkright 2012).

Los daños que podrían ser mejor visualizados con RTI incluyen el agrietamiento de capas pictóricas, descamación, pérdidas, depósitos superficiales, rasguños, picaduras, agujeros, incisiones, corrosión, ampollas, deformación de los soportes, roturas, etcétera. Además, ya que el estado de conservación tiene estrecha relación con la historia del objeto, es posible identificar incongruencias en la textura, color o brillo que indiquen discontinuidad por reconstrucción, repintes o tratamientos previos de restauración.

Entre los ejemplos más notables de la información obtenida a través de RTI está el de la pintura sobre tabla “El Calvario”, intervenida en la Universitat Politècnica de València. Mediante el uso de filtros especulares e iluminación oblicua se hicieron evidentes tanto los trazos de las pinceladas originales como las deformaciones en los paneles de madera, craqueladuras en la capa de pintura, rasguños, orificios y pérdidas de material (fig. 15). Además, fue posible identificar las discontinuidades de textura y brillo que indicaban repintes o áreas donde se había realizado limpieza del barniz en intervenciones anteriores.

En el caso de la pintura al agua del Real Colegio del Corpus de Christi, el uso de filtros difusos y especulares dio lugar a una mejor visualización de los daños, ayudando a documentar claramente el hecho de que en el pasado esta pieza se había enrollado, lo que provocó que el área más expuesta estuviera considerablemente más dañada que el resto (fig. 16).



Fig. 15 Registro del deterioro en una pintura al óleo sobre madera visto sin filtro (izquierda) y con filtro especular (derecha). El filtro especular permite ver las pinceladas originales así como los patrones de craquelado, la deformación del soporte de madera, los faltantes, rasguños, etcétera sin la interferencia visual del color.

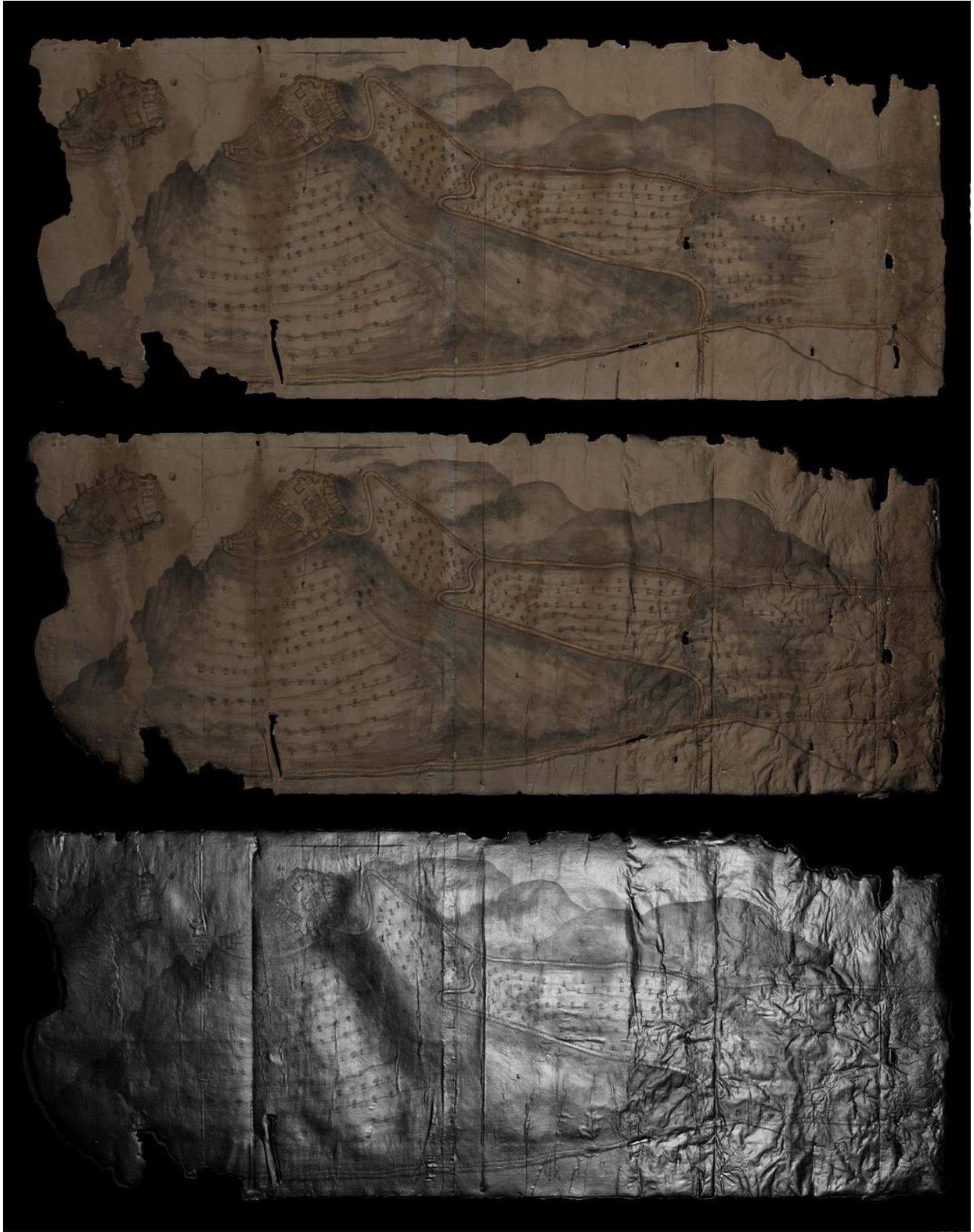


Fig. 16 Registro de deterioro de una pintura al agua sobre papel vista sin filtro (arriba), con filtro difuso (centro) y filtro especular (abajo). Todas las imágenes fueron iluminadas desde la misma dirección. Los filtros RTI permiten percibir mejor la deformación general del papel, las marcas de doblez, las arrugas, la unión de los folios de papel; así como capturar con más detalle el área derecha, donde el deterioro es mayor. *Imagen usada con permiso del IVC+R*

Monitoreo y evaluación de intervenciones

Los tratamientos de conservación directos tienen el propósito de frenar o revertir los efectos del envejecimiento o deterioro en el patrimonio cultural. Debido a que los tratamientos no deberían causar cambios en el carácter original de la obra, los conservadores tienen el reto de desarrollar procesos eficaces que introduzcan las menores variaciones en la apariencia de objetos. Sin embargo, incluso con los tratamientos más cuidadosos existen ciertos riesgos de provocar cambios en las superficies que podrían ir desde lo más sutil hasta el extremo; en donde las consolidaciones, la corrección del plano, las limpiezas o los recubrimientos de protección podrían alterar significativamente los patrones de textura, el brillo y el color de la obra original. Por lo tanto, con el fin de ayudar a monitorear y evaluar cambios causados por los tratamientos de conservación el RTI puede ser utilizado para comparar la superficie en diferentes fases durante el proceso, proporcionando una representación visual exacta de la obra en un entorno de iluminación controlable y reproducible.

En la restauración de la pintura sobre tabla del siglo XVI titulada “San Pablo”, llevada a cabo por el Instituto Valenciano de Conservación y Restauración de Bienes Culturales, el RTI se empleó para monitorear la condición de la superficie durante el proceso de intervención. Esta obra presentaba incontables ampollas causadas por un incendio durante la guerra civil española de 1936. Si bien las mayores deformaciones de las capas pictóricas medían varios centímetros y fueron fácilmente documentadas con fotografías de luz rasante, también había zonas con ampollas de menos de 1 mm de diámetro que no podían ser documentadas adecuadamente por medios convencionales. Debido a la rigidez y fragilidad de las capas de pintura deformada y a la dificultad del proceso de corrección del plano se capturaron imágenes detalladas antes y después del proceso de consolidación con el fin de evaluar la intervención.

Al reproducir las mismas condiciones de iluminación y eliminar la información de color fue posible demostrar que mientras las ampollas más amplias pudieron ser devueltas a su posición

original, las más pequeñas habían sufrido considerable deformación plástica (por haber experimentado mayor distorsión en un área menor) y no podían ser completamente aplanadas. Además, RTI sirvió para visualizar mejor las distorsiones causadas por material atrapado debajo de la capa pictórica o los casos en donde las ampollas se colapsaron y hubo algunas pérdidas inevitables de material pictórico durante el proceso (fig. 17).

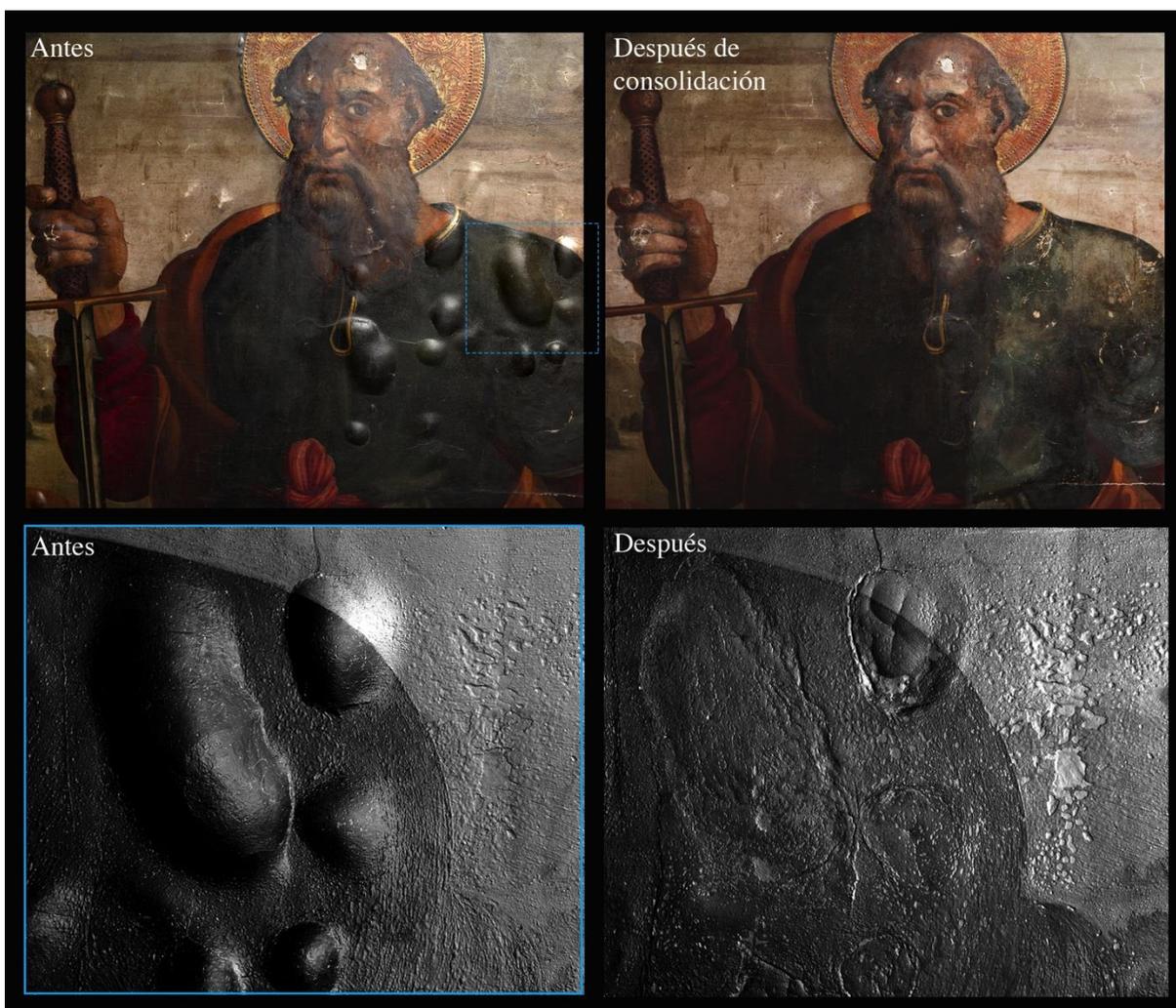


Fig. 17 Imagen parcial (arriba) y detalles del hombro (abajo) de una pintura al óleo sobre tabla vista antes y después del proceso de consolidación de las ampollas en la capa pictórica. RTI auxilia en la evaluación del estado de una superficie durante los procesos de conservación y restauración al permitir iluminar un objeto desde el mismo sitio exacto para llevar a cabo comparaciones más objetivas. *Imagen usada con permiso del IVC+R*

Conclusiones

La textura es una fuente de información valiosa pero a la vez compleja para estudiar. *Reflectance Transformation Imaging* ofrece a arqueólogos, historiadores del arte y conservadores del patrimonio cultural una nueva herramienta para la documentación y análisis detallado y exacto de las superficies texturales. RTI ofrece como resultado no solo una imagen digital fiel sino que da acceso a la visualización completa de la interacción de la luz con la textura, creando una réplica digital exacta y detallada que sirve para dilucidar información nueva de la superficie.

El RTI utiliza equipo fotográfico convencional y programas de software de formato abiertos, por lo que se considera un método de bajo costo y relativamente sencillo de implementar en las tareas cotidianas de examinación, conservación y restauración, lo cual lo pone al alcance tanto de grandes instituciones como de investigadores independientes.

La implementación de un nuevo medio de documentación y de análisis de superficies como el RTI permitirá acceder a información textural no discernible a través de luces rasantes, escáneres 3D o incluso observando directamente los objetos para ayudar a conocer con mayor precisión los materiales y técnicas que conforman las obras, diagnosticar más objetivamente su estado de conservación, monitorear puntualmente las transformaciones que sufre, planear y evaluar mejor los materiales y tratamientos de intervención y servir como instrumento de prevención del deterioro por manipulación directa del objeto y medio efectivo de difusión de información gráfica.

Agradecimientos

Los proyectos RTI fueron posibles gracias a la colaboración de conservadores del Instituto Valenciano de Conservación y Restauración (Valencia, España), Institut Royal du Patrimoine Artistique (Bruselas, Bélgica), y de los arqueólogos del Proyecto Mirador (Zona arqueológica El Mirador, Guatemala).

Bibliografía

- APPELBAUM, B., 2007, *Conservation Treatment Methodology*, Great Britain: Elsevier Ltd., 2007.
- CULTURAL HERITAGE IMAGING, 2010, *Guía para el RTIViewer, versión 1.0.2SP* [en línea]. En Cultural Heritage Imaging. [Consultado: 25 Octubre 2014]. Disponible en: http://culturalheritageimaging.org/What_We_Offer/Downloads/Spanish/index.html
- FRISCHER, B., A. Dakouri-Hild, 2008, *Beyond Illustration: 2D and 3D Digital Technologies as Tools for Discovery in Archaeology*, British Archaeological Reports International Series TKTK. Oxford: Archaeopress, 2008.
- HANSEN, Richard, 1992, “Proyecto Regional de Investigaciones Arqueológicas del Norte de Petén, Guatemala: Temporada 1990.” En *IV Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala, 1990* (editado por J.P. Laporte, H. Escobedo y S. Brady). Guatemala: Museo Nacional de Arqueología y Etnología, 1992.
- HAPPA, Jassim, Mark MUDGE, Kurt DEBATTISTA, et. al., 2009, “Illuminating the Past: State of the Art” en *VAST 2009*, Malta. [Consultado: 1 Octubre 2014]. Disponible en: http://culturalheritageimaging.org/What_We_Do/Publications/vast2009/index.html
- KARSTEN, Angela y EARL, Graeme, 2010, *The Stirling Castle wood recording project. A pilot study to compare traditional and innovative recording techniques for waterlogged wood. Archaeological conservation report.* [en línea]. Archaeological Conservation Report. HMS Stirling Castle, Kent:English Heritage. [Consultado: 7 Marzo 2013]. Research Department Report Series 65-2010. Disponible en: http://eprints.soton.ac.uk/342682/1/065_2010WEB.pdf
- KRONKRIGHT, D., 2012. “Digital Photographic 3D Imaging for Preservation: What’s the Buzz?” En *Georgia O’Keeffe Museum Imaging Project* [en línea]. 23 Agosto 2014. [Consultado: 2 Octubre 2012]. Disponible en: <http://okeeffeimagingproject.wordpress.com/blog/>
- MALZBENDER, T., D. Gelb, H. Wolters, 2001. “Polynomial Texture Maps.” En *Proceedings of the 28th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques*, Los Angeles, California, 2001, pp. 519–528.
- MUDGE, Mark, Jean-Pierre VOUTAZ, Carla SCHROER, et. al. 2005. “Reflection Transformation Imaging and Virtual Representations of Coins from the Hospice of the Grand St. Bernard.” En: *The 6th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage* [en línea]. Pisa, Italy: Eurographics Association. 2005. [Consultado: 13 Octubre 2014]. Disponible en: http://culturalheritageimaging.org/What_We_Do/Publications/vast2005/index.html
- MUDGE, Mark, Michael ASHLEY, Carla SCHROER, 2007. “A Digital future for Cultural Heritage.” En *Proceedings of the XXIst International Symposium* [en línea]. Athens, Greece, 2007. [Consultado: 7 Diciembre 2012]. Disponible en: http://culturalheritageimaging.org/What_We_Do/Publications/cipa2007/index.html

PALMA, Gianpaolo, Massimiliano CORSINI, Paolo CIGNONI, et. al., 2010. “Dynamic Shading Enhancement for Reflectance Transformation Imaging.” En *ACM Journal on Computing y Cultural Heritage (JOCCH)* [en línea]. Septiembre 2010. Vol. 3, no. 2. [Consultado: 1 Octubre 2014]. Disponible en: http://culturalheritageimaging.org/What_We_Do/Publications/acmdl2010/index.html

PAYNE, E. M., 2012. “Imaging Techniques in Conservation.” En *Journal of Conservation & Museum Studies* 10, no. 2, 2012, pp. 17–29.

REDMAN, John, Mark MUDGE, 2007. “Advances in Digital Imaging for Fine Art y Cultural Heritage.” En *NIP23 y Digital Fabrication 2007* [en línea]. Anchorage, Alaska. 2007a. p. 355– 363. [Consultado: 30 Noviembre 2014]. Disponible en: <http://www.imaging.org/IST/store/epub.cfm?abstrid=34920>

ROCHESTER INSTITUTE OF TECHNOLOGY, 2008, “Multi-Channel Visible Spectrum Imaging. Research Projects.” En *Art Spectral Imaging* [en línea]. 2008. [Consultado: 23 Marzo 2015]. Disponible en: <http://www.art-si.org/>

SCHROER, Carla, 2012. “Advanced Imaging Tools for Museum and Library Conservation and Research.” En *Bulletin of the American Society for Information Science and Technology* 38, no. 3, March 2012.

VERNHES, P., P. Whitmore, 2011. “Texture Vision: A View from Art Conservation.” En *Computing with Instinct: Rediscovering Artificial Intelligence*, Berlin:Springer-Verlag, 2011, pp. 35–46.

ZANYL, Eva, Carla SCHROER, Mark MUDGE, et. al., 2007. “Lighting y Byzantine Glass Tesserae.” En *EVA London 2007 Conference Proceedings* [en línea]. London:London College of Communications, Elephant & Castle, SE1. 2007. [Consultado: 23 Octubre 2014]. ISBN 0-9543146-8-9. Disponible en: http://culturalheritageimaging.org/What_We_Do/Publications/eva2007/index.html