

El uso de la imagen digital en la caracterización de obras pictóricas

Luis Javier Sánchez-Aparicio

Resumen— Es, en las últimas décadas, donde gracias a los desarrollos experimentados por las técnicas de captura y ensalce de imagen digital, así como por los métodos matemáticos de clusterización, los científicos, conservadores y restauradores han podido ir un paso más allá en la caracterización y entendimiento de obras pictóricas. Técnicas, que explotan los fenómenos de interacción entre la materia y la radiación (poder de penetración o fenómenos de fluorescencia) para poder analizar la obra a diferentes niveles: caracterización de pigmentos orgánicos e inorgánicos, evaluación de repintes, presencia de barnices o dibujos preparatorios entre otros aspectos. Bajo este paraguas de posibilidades, la presente publicación pretende ofrecer una visión general de funcionamiento y potencialidades que ofrece el análisis digital de la imagen en el diagnóstico de obras pictóricas, bien sean estas sobre lienzo o sobre estrato rocosos (pinturas rupestres).

Palabras Claves— Análisis digital de la imagen, Arte rupestre, Caracterización de pigmentos, Clusterización.

1. INTRODUCCIÓN

El correcto análisis de obras pictóricas, bien sean estas en lienzo, mural o incluso sobre soporte pétreo natural (arte rupestre), requiere de forma ineludible un análisis exhaustivo a diferentes niveles. Análisis donde la caracterización de pigmentos, repintes, presencia de barnices o la determinación de los propios trazos existentes constituye un paso ineludible. Es, en esta última década, donde los avances en captura y procesado de imagen digital han permitido facilitar dichas tareas, ofreciendo tanto a investigadores como conservadores y restauradores, una herramienta de gran flexibilidad y alta robustez capaz no solo de caracterizar los diferentes pigmentos presentes en la obra, sino también características no visibles tales como dibujos preparatorios [1-4].

Bajo el paraguas de necesidades inherentes a la caracterización de obras pictóricas, el presente artículo pretende ofrecer una visión general del método de análisis digital de la imagen capturada en diferentes espectros (desde el ultravioleta hasta el infrarrojo), por diferentes métodos (reflectografía y fluorescencia), así como de los métodos de cartografiado (métodos de clusterización) empleados en la actualidad para el diagnóstico de obras pictóricas.

2. EL VALOR RADIOMÉTRICO DE LA IMAGEN DIGITAL

2.1. La interacción entre la materia y la energía

La radiación capturada por los sensores fotográficos, bien sean estos cámaras convencionales o no, depende en gran medida de la interacción de la luz radiante (visible, ultravioleta o infrarroja entre otras) con la superficie del material [5]. Interacción que, en el caso de obras pictóricas, permite caracterizar los materiales presentes en las diferentes capas pictóricas (pigmentos, bases de preparación, repintes o dibujos preparatorios) a través de la reflectan-

cia emitida en dicha interacción (Fig. 1a).

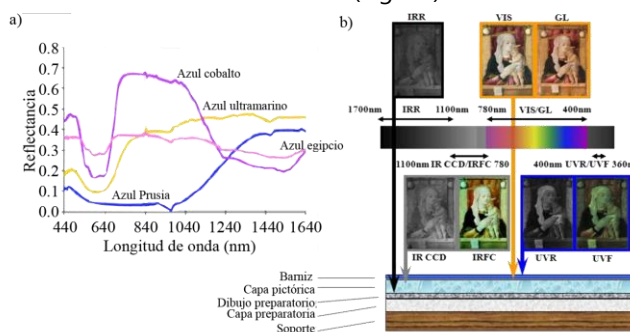


Fig. 1. Representación gráfica general de los principios del análisis digital de la imagen para la caracterización de pinturas: a) respuesta espectral de pigmentos y; b) poder de penetración de la radiación incidente. El término IRR hace referencia a una imagen obtenida por reflectografía infrarroja, VIS a una imagen visible; GL a una imagen capturada con iluminación rasante; IR CCD a imágenes capturadas con sensores de infrarrojo; IRFC a imágenes en falso color en la región del infrarrojo; UVR a imágenes procedentes de la reflectancia ultravioleta y, UVF a imágenes procedentes de la fluorescencia ultravioleta. Adaptada de www.webexhibits.org/pigments/intro/look.html

Bajo la premisa anteriormente expuesta, autores como Cosentino [6] y Daveri *et al.* [4], en obras pictóricas sobre lienzo, o Cortón Noya [2], Rogerio-Canderera *et al.* [7] y Torres-Martínez *et al.* [1] en sus estudios sobre pinturas rupestres, dejan entrever la potencialidad de ciertas zonas del espectro para el análisis de obras pictóricas (Fig. 1b): (i) el espectro visible (VIS) para la detección de trazos rupestres y pigmentos de manera generalizada; (ii) el infrarrojo (IR) para la detección de dibujos preparatorios, trazos ocultos o la detección de pigmentos por fluorescencia como el amarillo cadmio y; (iii) la región ultravioleta (UV) para el análisis de colonizaciones biológicas, repintes o bases preparatorias a base de tempera o aceite de linaza.

2.2. Técnicas fotográficas para el análisis digital de obras pictóricas

Bajo el amparo de los espectros anteriormente definidos, se hace necesario recurrir al empleo de un conjunto de técnicas fotográficas capaces de suministrar esa información, siendo las más generales [2]: (i) la reflectografía visible; (ii) la reflectografía visible con luz polarizada; (iii) la reflectografía IR y UV y; (iv) la fluorescencia IR y UV.

En términos generales, todas estas técnicas suelen emplear cámaras réflex convencionales, a excepción de los métodos de reflectografía en el IR lejano (1000-1700 nm) que requiere del uso de cámaras del tipo InGaAs [6].

En lo que respecta a la primera y segunda de las técnicas, el sensor fotográfico resulta ser idéntico: una cámara convencional capaz de capturar en el espectro visible. La principal característica de la segunda, reside en el empleo de fuentes de luz y filtros polarizados [2]. Equipamientos que promueven una captura de imagen sin reflejos ni sombras, mejorando así los resultados de la clasificación de los pigmentos [2].

Para la segunda de las técnicas, la fotografía por reflectografía, se hace requisito indispensable el uso de filtros capaces de bloquear la radiación visible y permitir el paso de la radiación deseada, bien sea esta IR o UV. Estos filtros, pueden quedar instalados en la propia lente o incluso en el sensor de la cámara [1, 2].

Para la reflectografía y fluorescencia UV se hace necesario el uso de lámparas de luz oscura (lámparas equipadas con filtros de Wood) sin olvidar, tampoco, el uso de filtros UV que permitan filtrar la radiación procedente del visible. Bajo estas condiciones de estudio, materiales tales como los barnices, materia orgánica o incluso la presencia de repintes pueden provocar fenómenos de fluorescencia [2-4]. Dichos fenómenos en general, se caracterizan por una escasa reflectancia lo que obliga al uso de grandes tiempos de exposición en las cámaras y con ello al uso de trípodes.

3. EVALUACIÓN DE OBRAS PICTÓRICAS SOBRE LIENZO

3.1. Cartografiado de la obra

Una de las aplicaciones más directas del análisis digital de la imagen pasa por el cartografiado de la obra artística. Proceso que tiene como objetivo agrupar cada pixel de la imagen multibanda (entendiéndose como el conjunto de imágenes digitales capturadas en los diferentes espectros tratados) en una clase de acuerdo a la similitud entre este y el resto de miembros de esa clase [5]. Dicho proceso, puede ser efectuado a través de un Análisis de Componentes Principales (PCA) [2, 4] o a través de procedimientos de clusterización basados en el enfoque K-medias [1] o el algoritmo Spectral Angle Mapper [3], dando lugar a una nueva imagen que permitirá analizar el porcentaje presente de cada clase, así como su distribución espacial en la obra. Ejemplos de la potencialidad de este cartografiado pueden encontrarse en los trabajos realizados por Daveri *et al.* [4] a través del uso de una imagen multibanda compuesta por espectros que oscilan desde los 2700 nm a los 5000 nm y Daniel *et al.* [3] con estudios en regiones desde los 400 nm a los 1000 nm (Fig. 2).

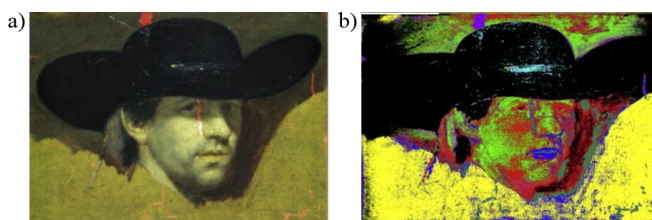


Fig. 2. Resultados del cartografiado de la obra "Retrato de un hombre con sombrero": a) falso color con la banda del infrarrojo cercano y; b) clusterización de píxeles en 7 clases: azul correspondiente al rojo bermellón; negro correspondiente a pigmentos negro carbón, rojo y verde correspondiente a una mezcla bermellón-blanco plomo, amarillo correspondiente la capa de preparación y violeta-verde oscuro correspondiente a las áreas restauradas. Adaptada de [3].

3.2. Caracterización composicional

Al igual que ocurre en otras técnicas de caracterización composicional tales como la espectroscopía Raman, el análisis de la imagen digital no solo permite el mapeado preciso de los pigmentos presentes en la obra pictórica, sino también una caracterización de estos a través de su contraste con bases de datos. Bajo esta premisa, autores como Daniel *et al.* [3] identifican composicionalmente los pigmentos de dos obras de Goya "Retrato de hombre con sombrero" y "Retrato de Francisco Bayeu", tales como el rojo bermellón, rojo ocre o el blanco plomo, a partir del contraste de la respuesta capturada en diferentes longitudes de onda (desde los 400 nm a los 1000 nm) con una base de datos con más de 150 pigmentos históricos [3]. Resultados, que son contrastado con los provistos por la aplicación de la difracción de rayos X y la espectroscopía Raman. Corroborando no solo la viabilidad del método, sino también, la necesidad de este (los autores remarcan el condicionamiento de los espectros Raman debido a la presencia de capas protectoras así como los resultados del espectro de difracción como consecuencia del alto porcentaje de plomo presente) [3].

Por otro lado, Daveri *et al.* [4] evalúa la potencialidad de la imagen hiperespectral (con rangos entre 2700 y 5000 nm) en la caracterización de las obras pictóricas de "Santi Giovanni Battista e Piero" de Jacopo Vincoli y el "Trittico di S. Maria delle Grazie" de Niccolò di Libertadore a través del análisis PCA [4]. Entre las limitaciones encontradas, destaca la dificultad de detectar óxidos, pudiendo ser esta solventada con la incorporación imágenes VIS [4].

En sus estudios sobre pigmentos históricos aplicados con goma arábiga [8], Costantino propone un enfoque alternativo a los tratados anteriormente: el árbol de decisiones. Sistema piramidal que permite de forma escalonada ir deduciendo el tipo de pigmento en función de la respuesta recogida por los diferentes espectros tratados.

4. ANÁLISIS DE PINTURAS RUPESTRES

4.1. La identificación de trazos en pinturas rupestres

En paralelo a los trabajos experimentales anteriormente mostrados, es posible encontrar un amplio grupo de autores que trasladan la potencialidad de esta técnica a las pinturas rupestres [1, 2]. Una de las principales diferencias

a destacar entre los trabajos efectuados sobre pintura en lienzo y los efectuados sobre pinturas rupestre reside en el simple uso, en gran parte de las ocasiones, de la imagen VIS y los métodos de mejora de visualización (principalmente métodos basados en el ensalce de los componentes no correlados entre los canales del visible) como únicos ingredientes para el análisis de los trazos [2, 7] (Fig. 3a). Más allá de estos métodos, encontramos trabajos donde emplean rangos del espectro más amplios, principalmente IR, dada su contribución a la hora de detectar trazos [2], así como métodos de clasificación no-supervisada que tratan de agrupar cada uno de los píxeles de la imagen en un número determinado de clases [1, 2]. Sin embargo, la propia topología del sustrato rocoso tiende a generar sombras que entorpecen los resultados de la clasificación (Fig. 3b) [1].

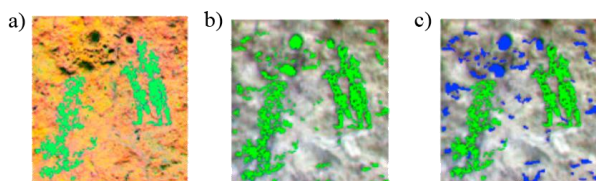


Fig. 3. Identificación de trazos sobre pinturas rupestres: a) imagen VIS ensalzada; b) imagen multispectral clasificada con el algoritmo Fuzzy k-medias y; c) imagen multispectral con información geométrica clasificada con Fuzzy k-medias. En verde los trazos, en azul las anomalías detectadas en el sustrato. Adaptada de [1].

4.2. Hibridación de componentes radiométricos y geométricos

Una de las características más representativas del arte rupestre reside en las propiedades del sustrato sobre el cual se efectúa. Dicho sustrato, el cual suele situarse a menudo en espacios en contacto con el ambiente exterior, tiende a presentar fenómenos de alveolización o agrietamiento [1]. Bajo esta premisa, autores como Torres Martínez *et al.* [1] proponen la hibridación de componentes geométricos, derivados de modelos 3D obtenidos con sistemas láser escáner o fotogramétricos, para su caracterización. Información que, combinada con el resto de datos espectrales, permite la generación de nueva capa: la capa de alteraciones (Fig. 3c), mejorando consigo los resultados a la hora de determinar los trazos.

5. CONCLUSIONES

Gracias a los últimos avances experimentados en el campo de la fotografía, capaces de permitir la captura de datos en diferentes rangos del espectro, es posible establecer un lazo de gran fuerza entre el análisis digital de la imagen y el diagnóstico y conservación de obras pictóricas. Lazo gracias al cual es posible no solo discernir los pigmentos de acuerdo a su radiometría, sino también, permitir la caracterización, a partir de bases de datos, de estos o incluso, llegar a detectar dibujos preparatorios no visible (a través del IR) o zonas de repinte (mediante el uso de radiación UV).

Ahora bien, detrás de ese telón de ventajas capaz de ofrecer el análisis digital de la imagen, las campañas experi-

mentales evaluadas en el presente artículo señalan la dificultad de discernir con cierto grado de certeza partes en las cuales existen altas heterogeneidades (compuestas por la superposición de pigmentos y/o bases preparatorias), hecho que requiere de forma ineludible el uso de un gran número de imágenes así como del desarrollo de bases de datos que engloben las diferentes casuísticas al igual que ocurre con la espectroscopía.

REFERENCIAS

- [1] J. A. Torres-Martínez, L. J. Sánchez-Aparicio, D. Hernández-López, and D. González-Aguilera, "Combining geometrical and radiometrical features in the evaluation of rock art paintings," *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, vol. 5, pp. 10-20, 2017/06/01/ 2017.
- [2] N. C. Noya, Á. L. García, and F. C. Ramírez, "Combining photogrammetry and photographic enhancement techniques for the recording of megalithic art in north-west Iberia," *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, vol. 2, pp. 89-101, 2015/01/01/ 2015.
- [3] F. Daniel, A. Mounier, J. Pérez-Arategui, C. Pardos, N. Prieto-Taboada, S. Fdez-Ortiz de Vallejuelo, *et al.*, "Hyperspectral imaging applied to the analysis of Goya paintings in the Museum of Zaragoza (Spain)," *Microchemical Journal*, vol. 126, pp. 113-120, 2016/05/01/ 2016.
- [4] A. Daveri, S. Piazani, M. Marmion, H. Harju, A. Vidman, M. Azzarelli, *et al.*, "New perspectives in the non-invasive, in situ identification of painting materials: The advanced MWIR hyperspectral imaging," *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, vol. 98, pp. 143-148, 2018/01/01/ 2018.
- [5] S. Del Pozo, L. Sánchez-Aparicio, P. Rodríguez-Gonzálvez, J. Herrero-Pascual, A. Muñoz-Nieto, D. González-Aguilera, *et al.*, "Multispectral Imaging: Fundamentals, Principles and Methods of Damage Assessment in Constructions," *Non-Destructive Techniques for the Evaluation of Structures and Infrastructure*, vol. 11, p. 139, 2016.
- [6] A. Cosentino, "Effects of different binders on technical photography and infrared reflectography of 54 historical pigments," *International Journal of Conservation Science*, vol. 6, 2015.
- [7] M. Á. Rogerio-Candelera, "Digital image analysis based study, recording, and protection of painted rock art. Some Iberian experiences," *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, vol. 2, pp. 68-78, 2015/01/01/ 2015.
- [8] A. Cosentino, "Identification of pigments by multispectral imaging; a flowchart method," *Heritage Science*, vol. 2, p. 8, 2014.



Luis Javier Sánchez Aparicio: Arquitecto Técnico desde 2011 e Ingeniero de la Edificación desde 2014. Cursó el "Máster universitario en Geotecnologías aplicadas a la Ingeniería y Arquitectura" en 2012. Actualmente está cursando el "Máster Universitario de Técnicas del Patrimonio Histórico" en la Universidad Pablo de Olavide. Su actividad tanto profesional como investigadora ha estado siempre ligada a la diagnosis y detección de daños en construcciones históricas a partir de métodos fotogramétricos y láser escáner.