

Caracterización de pigmentos históricos a través de técnicas de imagen, en diversas bandas del espectro electromagnético

Miquel Àngel Herrero-Cortell, Marta Raich, Paola Artoni, José Antonio Madrid

Resumen: El presente artículo propone una prueba de concepto para la observación mediante técnicas de imagen multibanda de 63 pigmentos de referencia histórica (usados desde la Antigüedad hasta el siglo XX). La respuesta de estos pigmentos se ha documentado en varios puntos de espectro mediante la construcción de sus imágenes, por reflexión, transmisión, luminiscencia y falso color, desde el visible (VIS) hacia sus dos extremos, ultravioleta (UV) e infrarrojo (IR), completando además el estudio con la imagen radiográfica (RX). Cada pigmento responde de manera diferente en cada una de las técnicas usadas, en función de su comportamiento espectral, lo que genera un patrón de conducta único para cada materia. El conjunto de técnicas utilizadas conforma una metodología que plantea 11 posibles formas de ver, entendiéndolas de manera aislada, si bien es en la lectura transversal y confrontación de todas ellas donde se alcanzan unos resultados más completos, a través de un método inductivo basado en la observación. Se trata de un estudio de carácter novedoso que, aunque cuenta con precedentes aislados, compendia por primera vez en forma de imágenes, el aludido comportamiento espectral de tales pigmentos. Así, los resultados obtenidos pretenden contribuir a la mejorar la lectura e interpretación de los análisis no invasivos por imagen aplicados a obras pictóricas, permitiendo la identificación preliminar de algunos pigmentos.

Palabras clave: pigmentos, imagen multibanda, fotografía, reflectografía, falso color, radiografía

Characterization of historical pigments through imaging techniques, in various bands of the electromagnetic spectrum

Abstract: This paper proposes a proof of concept for the observation using multiband imaging techniques of 63 historical pigments (used from Antiquity to the 20th century). The response of these pigments has been documented at various points of the spectrum by constructing their images, by reflection, transmission, fluorescence, and false color, from the visible (VIS) to its two extremes, ultraviolet (UV) and infrared (IR). The study has been also completed with the radiographic image (RX). Each pigment responds differently in each of the techniques used, depending on its spectral behavior, which generates a unique behavior pattern for each material. The set of techniques used make up a methodology that proposes 11 possible ways of seeing, although it is in their transversal reading and confrontation where more complete results are achieved, through an inductive method based on observation. This is a novel study, which although it has isolated precedents, summarizes for the first time in the form of images, the spectral behavior of such pigments. The results obtained intend, thus, to contribute to the improvement the interpretation of non-invasive imaging techniques applied to pictorial artworks, allowing the preliminary identification of some pigments.

Keywords: pigments, multiband imaging, photography, reflectography, false color, radiography

Caracterização de pigmentos históricos através de técnicas de imagem em várias bandas do espectro electromagnético

Resumo: Este artigo propõe uma prova de conceito para a observação mediante técnicas de imagem multi-banda de 63 pigmentos históricos de referência (utilizados desde a antiguidade até ao século XX). A resposta destes pigmentos tem sido documentada em vários pontos do espectro através da construção das suas imagens, por reflexão, transmissão, luminescência e falsa cor, desde o visível (VIS) até aos seus dois extremos, ultravioleta (UV) e infravermelho (IR), completando o estudo com a imagem radiográfica (RX). Cada pigmento responde de forma diferente em cada uma das técnicas utilizadas, em função do seu comportamento espectral, o que gera um padrão de comportamento único para cada material. O conjunto de técnicas utilizadas constitui uma metodologia que propõe 11 formas possíveis de ver, compreendendo-as isoladamente, embora seja na leitura transversal e no confronto de todas elas que se obtêm resultados mais

completos, através de um método indutivo baseado na observação. Trata-se de um novo estudo que, embora tenha precedentes isolados, resume pela primeira vez sob a forma de imagens, o comportamento espectral acima mencionado destes pigmentos. Assim, os resultados obtidos destinam-se a contribuir para melhorar a leitura e interpretação da análise não invasiva da imagem aplicada a obras pictóricas, permitindo a identificação preliminar de alguns pigmentos.

Palavras-chave: pigmentos, imagem multibandas, fotografia, refletografia, falsa cor, radiografia

Introducción. Multibanda en la aproximación a la identificación pigmentaria en pinturas

En las últimas décadas, gracias a la inclusión de los sistemas de captación digital, el estudio de pinturas mediante metodologías no invasivas ha estado en constante crecimiento. De gran interés son, específicamente las técnicas de imagen en varios puntos del espectro electromagnético. El protocolo de imagen multibanda (o en su término en inglés *multiband technical imaging*, MBTI), es un método ampliamente usado para el examen de obras de arte (Dyer *et al.* 2013; Grifoni *et al.* 2015; Herrero *et al.* 2018; Piccolo *et al.* 2020).

Algunas de las técnicas que conforman MBTI han venido tradicionalmente usándose por conservadores, restauradores, e historiadores del arte, para el estudio de las pinturas, siendo conocidas para ciertas funciones específicas, como pueden ser la de la documentación del dibujo subyacente en el caso de la fotografía infrarroja (IR) y reflectografía (IRR), o la visualización de barnices y repintes mediante luminiscencia ultravioleta (UVL). Otras tienen un carácter más innovador y sólo se han ido incorporando en los últimos años, como la luminiscencia infrarroja (IRL) o las imágenes en falso color (UVFC e IRFC). Aunque las diversas técnicas que conforman MBTI tienen un valor específico como técnicas aisladas, cuando se usan conjuntamente y a través de la confrontación de resultados, posibilitan una lectura transversal que ofrece mucha más información, al poder confrontarse entre ellas. Esto puede ayudar a una mejor comprensión del proceso de ejecución de una pintura, arrojando datos procedimentales y pesquisas materiales, que posibilitan, a menudo un entendimiento mayor de aspectos de carácter conservativo. Además, tal confrontación posibilita la identificación preliminar de ciertos pigmentos (Cosentino *et al.* 2014: 7; Raich *et al.* 2019). Esto es debido al comportamiento específico que algunos materiales usados en la pintura adoptan en la banda visible, ultravioleta e infrarroja. Cabe matizar que se trata siempre de aproximaciones que posteriormente deben apoyarse con otras técnicas analíticas.

Aunque no existe un consenso universal sobre las técnicas que comprende MBTI, a menudo se consideran las imágenes que se obtienen en puntos diversos del espectro electromagnético, entre las que destacan las siguientes, para las que en adelante se utilizarán sus respectivos acrónimos: radiografía (RX); ultravioleta reflejado (UVR); fotografía visible de luminiscencia inducida por ultravioleta (UVL); fotografía visible (VIS); transiluminación (TL); fotografía infrarroja (IR); transirradiación infrarroja (IRT),

luminiscencia infrarroja (IRL); reflectografía infrarroja (IRR); imagen infrarroja de falso color (IRFC); y ultravioleta de falso color (UVFC). Son en esencia las principales técnicas de imagen que se pueden aplicar al estudio y documentación del patrimonio pictórico en bandas diferentes.

La radiografía ha sido probablemente, de entre las técnicas de imagen aplicadas al patrimonio, la que cuenta con una mayor tradición, dada su transversalidad a todas las manufacturas y tipologías de objetos con las que nos podemos encontrar (Díaz 1975; Lang y Middleton 1997; Madrid 2010, 2014). Eso conlleva también una gran cantidad de referencias escritas sobre las conclusiones a las que se puede llegar en su aplicación en el estudio y análisis patrimonial (Vanpaemel 2010). Concretamente, de los relacionados con el examen de pinturas, destacan los estudios de Burroughs, (1928) o Hours-Miedan, (1964). Pero la gran mayoría de ellos solo nos van a referir información de lo que la imagen visible esconde y muy pocos se dedican específicamente a la respuesta de los pigmentos (Poldi, Villa 2006: 177-178) y su relación con la propia obra e incluso poniendo en duda la teoría y la práctica (Garrido y Cabrera 1983: 86).

Otra de las técnicas fundamentales más usadas en el ámbito de la conservación es la llamada de manera genérica y poco precisa 'fotografía ultravioleta'. Cabe precisar, ante todo que la verdadera fotografía UV es la de reflexión (UVR), mientras que lo que se suele denominar fotografía UV es en realidad fotografía visible de luminiscencia inducida por ultravioleta (UVL). La complejidad de obtención de UVR sin reflejos ni destellos, propios de los barnices y aglutinantes, y la menor información que de ella se desprende –en comparación con la luminiscencia VIS inducida por UV (UVL)–, ha hecho de esta técnica un recurso menos usado en ámbito patrimonial (Poldi-Villa 2006:161). Aun así, la imagen UVR es de utilidad, por ejemplo, en el mapeo de pigmentos blancos (Cosentino 2015: 58-61). Por su parte la UVL (habitualmente denominada UVF), ha ocupado un lugar preeminente en nuestro ámbito. Así es muy abundante la literatura que desde los primeros estudios de Rorimer (1931) ha ido sucesivamente creciendo (Aldrovandi, Picollo 1999: 67-84), especialmente en lo concerniente a la visualización de repintes y barnices (Mairinger 2000: 56-65), pero también en lo tocante al fenómeno de luminiscencia propio de los materiales pictóricos (René de la Rie 1982: 1-7; 65-69; 102-108 y 1986: 91-108; y Poldi-Villa 2006: 157-161). En la actualidad se cuenta ya con publicaciones específicamente dedicadas a estas técnicas en las que se desgranar desde fundamentos físicos hasta preceptos teóricos y prácticos, abundando en metodologías, equipamientos, filtros o fuentes de radiación (Picollo *et al.* 2021).

La reflectografía y la fotografía infrarroja constituyen otras dos técnicas que cuentan con mayor tradición en el estudio de pinturas en el rango IR (Poldi-Villa, 2006). En general, se trata de dos técnicas que operan en longitudes diferenciadas del espectro, pese a que a menudo son confundidas, pues ambas comparten un idéntico fundamento de reflexión (Fischer, Kakouli 2006; Garagano, Ludwig, Poldi 2007). Mientras que el término fotografía infrarroja (IR) alude a las imágenes tomadas en una banda cercana del infrarrojo (700-1100nm), la reflectografía opera en longitudes de entre 1100 y 2500nm (Cosentino 2014). En esencia son imágenes muy parecidas y, aunque algunos pigmentos exhiben comportamientos similares en ambas longitudes de onda, otros sufren cambios importantes en su capacidad de reflexión/absorción deviniendo más transparentes o menos (Poldi-Villa 2006; Cosentino 2014).

Desde hace una década, comienza a incorporarse al estudio patrimonial la imagen de luminiscencia infrarroja (IRL), tanto por excitación con luz visible como por radiación UV (Dyer, Verri y Cupitt, 2013). La técnica del IRL es bien conocida para la caracterización de determinados materiales, entre los que destaca el azul egipcio (Bridgman y Gibson 1963; Thoury *et al.* 2011; Verri 2009); los pigmentos a base de cadmio (Accorsi *et al.* 2009; Thoury *et al.* 2011; Cosentino 2016:5-6) e incluso la identificación de pigmentos blancos de titanio a base de rutilo (Keller *et al.* 2019: 201-231). Es por ello que es una de las pocas técnicas cuya función exclusiva es el mapeo de ciertos pigmentos, como sucede también, aunque no de modo exclusivo para las imágenes de falso color.

Las imágenes de falso color vienen utilizándose en el patrimonio como imágenes híbridas compuestas digitalmente obtenidas intercambiando capas RGB entre las regiones IR, UV y VIS para discriminar entre materiales que tienen el mismo color, pero presentan comportamientos espectrales diferentes, en el infrarrojo y el ultravioleta. Si se utilizan conjuntamente (UVFC+IRFC), la información que puede recabarse de ellas es aún más interesante, pues ambas sirven para los propósitos de identificación preliminar de ciertos pigmentos, al tiempo que permiten evidenciar diversos aspectos procedimentales y materiales. Probablemente sea el IRFC la más conocida de estas técnicas y sobre la que más bibliografía existe (Poldi, Villa 2006:127-137) y una de las que más información aportan al análisis multibanda (Herrero-Cortell *et al.* 2018:11; Raich *et al.* 2019). Antiguamente el IRFC se hacía con películas especiales (Moon *et al.* 1992), pero actualmente se trata ya de una imagen híbrida digital. No obstante, existen otros tipos de infrarrojo de falso color (Aguilar-Téllez *et al.* 2014:3-15), puesto que no existe una única metodología para la consecución de este tipo de imágenes, aunque las más frecuentes tienden a substituir en el RGB el canal rojo por el verde; el verde por el azul, y el rojo por la imagen IR en escala de grises (Cosentino 2014; Cosentino 2015; Cosentino 2016; Herrero-Cortell *et al.* 2018; Raich *et al.* 2019). Es habitual la utilización de esta técnica para la identificación preliminar pigmentaria (Cosentino 2014); (Raich 2019; Keller *et al.* 2020:216). Cabe matizar que, de seguir este procedimiento, los diversos sensores, así como

la variedad de filtros infrarrojos con diversos pasos de onda, pueden repercutir notablemente en los resultados, por lo que es aconsejable experimentar con probetas y mock-up con el equipamiento que se vaya a utilizar para sistematizar los resultados y comprender las respuestas cromáticas que se obtienen con un determinado dispositivo y filtro. Las imágenes UV de color falso (UVFC) se han explorado, recientemente, como otro medio posible para observación preliminar de los materiales constituyentes de las obras de arte y, en particular, para la identificación no destructiva y sin contacto de materiales como el de barniz o determinados pigmentos (Warda 2011). Las imágenes UVR registran la absorción y reflexión de los rayos UV sobre un determinado objeto, y en las imágenes de color falso, la imagen de UV reflejada se combina con los dos canales de luz visible de una imagen de luz normal, similar a las imágenes de infrarrojos de falso color estándar. Esta técnica fue desarrollada por primera vez por Aldrovandi *et al.* (2004) para el análisis no destructivo de pigmentos y desde entonces se ha aplicado a pinturas de caballete y murales, sobre papel (Coccolini 2010) y textiles y, recientemente, para la identificación preliminar de materiales resinosos (Rogge & Lough 2016), aunque es habitual la experimentación de esta técnica en la caracterización pigmentaria (Keller *et al.* 2020: 216).

Por último, algunas técnicas, como las de transmisión (TL-IRT), a menudo han sido escasamente atendidas en la literatura, pese a la cantidad y calidad de información que arrojan, de índole conservativa, procedimental y material (Herrero-Cortell *et al.* 2020).

La motivación de este estudio nace de la ausencia de publicaciones previas de carácter compilatorio sobre la apariencia de estratos pigmentarios en diversas bandas, de una manera normalizada. La confrontación de fenómenos de reflexión, transmisión o luminiscencia es precisamente útil en la discriminación pigmentaria. A diferencia de otros trabajos que eventualmente se centran en la apariencia de los pigmentos en una determinada banda o mediante una determinada técnica, este estudio aborda transversalmente el comportamiento y aspecto de tales materias en bandas diversas, y con diversas técnicas de imagen. Al tiempo se consideran algunas variables como su naturaleza (translúcida o cubriente) en otras partes del espectro, o cómo afectan el número de capas a su posible identificación. A lo largo del presente estudio, se expondrá la metodología experimental empleada y irán desglosando los resultados obtenidos mediante cada técnica.

Materiales y Métodos

El objetivo del presente artículo es una aproximación experimental a la observación de 63 pigmentos y lacas históricas mediante técnicas de luminiscencia, reflexión, transmisión y falso color. Se trata de una selección de las materias fundamentales reportadas tanto en la literatura artística y técnica como en análisis de pinturas, y ampliamente usadas entre la Antigüedad y el siglo XX.

La selección es ampliable a otros pigmentos que, por el momento han quedado excluidos por haberse considerado menos relevantes, pero que se incluirán en ulteriores estudios. La mayoría de los pigmentos han sido producidos por la empresa Kremer (a excepción del amarillo de cromoplomo, de Sennelier), o bien elaborados por los propios autores siguiendo recetas históricas y utilizando para ello matrices naturales. Concretamente, las lacas de reseda y cochinilla se elaboraron fijando el tinte en con un mordiente de alumbre de roca, siguiendo recetas históricas (Kirby *et al.* 2014). Otros, como el negro carbón (de vid) o el azafrán, que no precisan de un mordiente, se molieron directamente en aceite, y no se obtuvieron de ningún proveedor de materiales artísticos.

Para la realización del experimental, todos los pigmentos se han aglutinado con aceite de lino rectificado y han sido aplicados sobre un lienzo industrial (100 x 81 cm) preparado a base de cola de conejo y sulfato de calcio, con una carga de blanco titanio. Se eligió el lienzo por ser el soporte muy común y por la versatilidad que presenta, permitiendo además aplicar técnicas de transmisión. El área sobre la que se ha aplicado cada pigmento (8 x 8 cm) se ha dividido en cuatro franjas, sobre las que se han dispuesto hasta cuatro capas de pintura de cada pigmento, aplicadas con un espesor estimado similar (200-300 µm). Esto facilita el poder visualizar efectos de transparencia, opacidad, o saturación, evidentes a través de las distintas técnicas de imagen utilizadas, en función de las propiedades de cada material [Figura 1b]. Cada pigmento fue aplicado con un pincel, para evitar contaminaciones cruzadas. La mezcla de pigmento y aceite se realizó estimativamente en cada caso, buscando unas correctas proporciones reológicas de la pintura, ya que cada pigmento necesita una cantidad diversa de aglutinante

y, además, esta puede variar en función de parámetros como la humedad y temperatura. En nuestro caso, por las condiciones del laboratorio y los largos tiempos requeridos para la realización del experimental (8 meses) no pudieron garantizarse siempre iguales por completo.

Con el fin de valorar la capacidad de estas imágenes de evidenciar un posible dibujo subyacente, tanto en técnicas de reflexión, como de transiluminación y transirradiación, se han trazado distintas líneas con diversos medios y materiales, típicamente utilizados en los diseños preparatorios de diversas épocas. Todo ello con la intención de observar la capacidad cubriente de cada pigmento en el rango visible y, comparativamente su comportamiento en otras bandas del espectro. La línea 1 corresponde a la tinta sepia (Windsor and Newton®); la línea 2 a la tinta metalogálica en solución acuosa al 50%; la línea 3 la misma tinta concentrada; la línea 4 a la sanguina; la línea 5 al grafito; la línea 6 al lápiz Conté; y, por último, la línea 7 al carboncillo [Figura 1a].

De la probeta objeto de estudio, se han realizado las siguientes técnicas de imagen, para las que en adelante se utilizarán sus respectivos acrónimos: radiografía (RX); ultravioleta reflejado (UVR); fotografía visible de luminiscencia inducida por ultravioleta (UVL); fotografía visible (VIS); transiluminación (TL); fotografía infrarroja (IR); transirradiación infrarroja (IRT), luminiscencia infrarroja (IRL); reflectografía infrarroja (IRR); imagen infrarroja de falso color (IRFC); y ultravioleta de falso color (UVFC) [Figura 2].

Los pigmentos utilizados en la prueba de concepto se especifican en la Tabla 1, en la que aparecen en el orden de secuencia, con indicación del fabricante y número de referencia, a excepción de cuatro casos de producción propia:

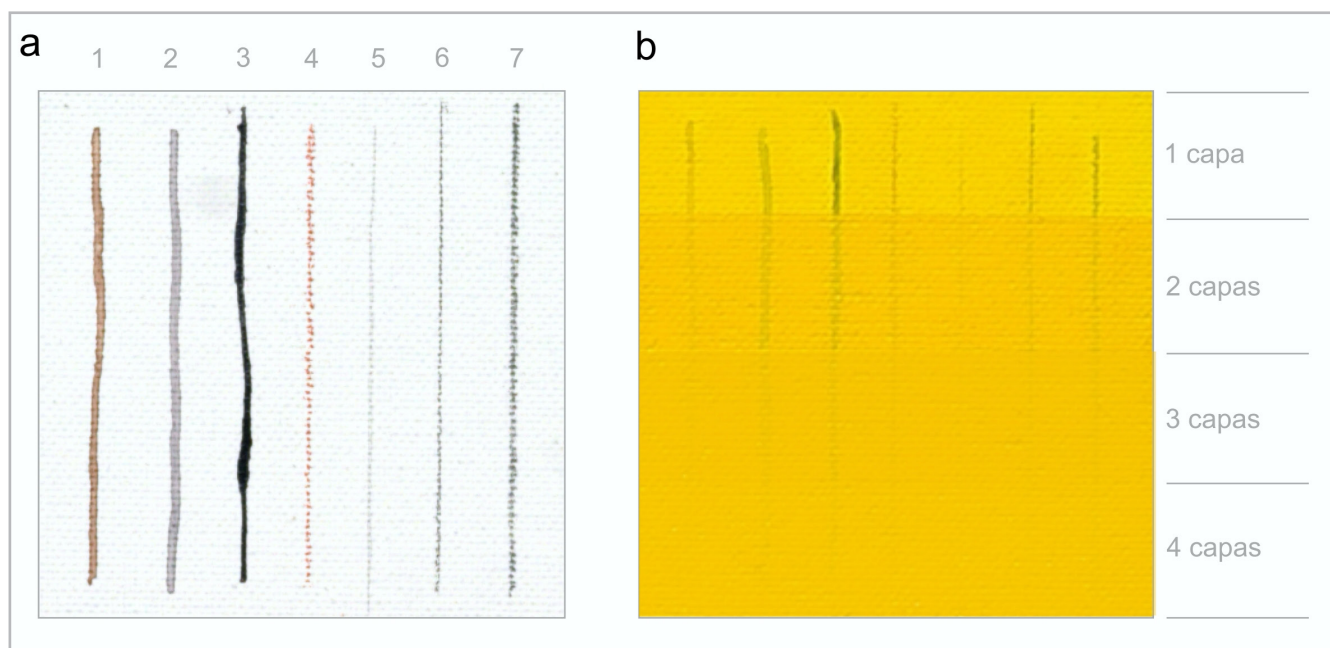


Figura 1. - a) A la izquierda: líneas trazadas en cada cuadrado: 1) tinta Sepia Windsor and Newton; 2) tinta metalogálica 50%; 3) tinta metalogálica, 4) sanguina; 5) grafito, 6) lápiz Conté, 7) carboncillo. b) A la derecha, ejemplo del cuadrante de amarillo de plomo-cromo, que ilustra el esquema de disposición de color para cada uno de los pigmentos, aplicados en 4 capas.

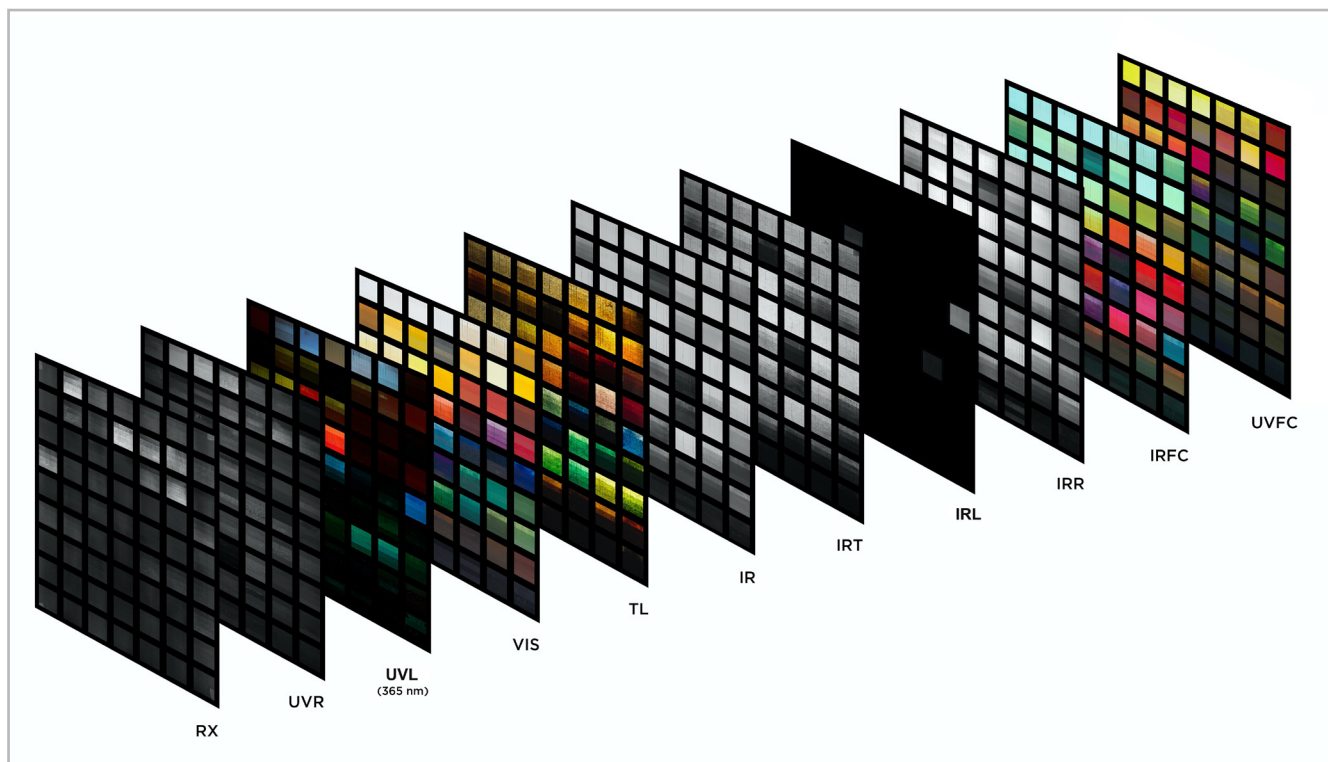


Figura 2.- Secuencia de imágenes multibanda de la tabla de pigmentos objeto de estudio. La extrusión permite observar las diferentes respuestas cromáticas de cada una de las parcelas pigmentarias contenidas

Nº	Pigmento	Fabricante	Referencia	Nº	Pigmento	Fabricante	Referencia
1	Blanco Titanio Rutilo	Kremer	46200	33	Azul de Prusia	Kremer	45202
2	Albayalde (blanco de Plomo)	Kremer	46000	34	Índigo	Kremer	36007
3	Litopón	Kremer	46100	35	Esmalte	Kremer	10000
4	Blanco de zinc	Kremer	46300	36	Azul egipcio	Kremer	10060
5	Creta de Campaña	Kremer	58000	37	Azul cerúleo (cobalto)	Kremer	45730
6	Carbonato de Calcio	Kremer	58100	38	Violeta de cobalto	Kremer	45800
7	Ocre italiano	Kremer	40220	39	Azul de ftalocianina	Kremer	23050
8	Siena natural	Kremer	40400	40	Verdigrís	Kremer	44450
9	Oropimente	Kremer	10700	41	Verde de cadmio	Kremer	44510
10	Rejalgar	Kremer	10800	42	Verde óxido de cromo	Kremer	44200
11	Litargirio	Kremer	46010	43	Tierra verde francesa	Kremer	40830
12	Amarillo de Nápoles	Kremer	10130	44	Verde de cobalto	Kremer	44100
13	Amarillo de plomo-estaño	Kremer	10100	45	Crisocola	Kremer	10350
14	Amarillo de cromo-plomo	Sennelier	549	46	Resinato de cobre	Kremer	12200
15	Laca de reseda	Producción propia		47	Verde Viridiana	Kremer	44250
16	Azafrán	Producción propia		48	Tierra verde de Verona	Kremer	41700
17	Amarillo de cadmio limón	Kremer	21010	49	Malaquita	Kremer	1003700

18	Amarillo de cobalto	Kremer	43500	50	Verde de ftalocianina	Kremer	23000
19	Cinabrio natural	Kremer	10610	51	Ocre francés	Kremer	40012
20	Bermellón	Kremer	42000	52	Tierra roja andaluza	Kremer	11276
21	Rojo de Borgoña	Kremer	11574	53	Sombra natural	Kremer	40610
22	Minio	Kremer	42500	54	Sombra tostada oscura	Kremer	40700
23	Almagra	Kremer	40545	55	Sombra tostada rojiza	Kremer	40710
24	Hematites	Kremer	48651	56	Siena tostada oscura	Kremer	40430
25	Laca de Rubia	Kremer	372045	57	Ocre Habana francés	Kremer	40080
26	Carmín <i>Lac Dye</i>	Kremer	36020	58	Negro de Kassel	Kremer	41000
27	Laca de cochinilla	Producción propia		59	Gris de manganeso	Kremer	47510
28	Rojo cadmio claro	Kremer	21120	60	Negro marfil	Kremer	12000
29	Carmín de alizarina	Kremer	23600	61	Negro de huesos	Kremer	47100
30	Ultramar (lapislázuli)	Kremer	10510	62	Negro de humo	Kremer	47250
31	Azurita	Kremer	10200	63	Negro carbón	Producción propia	
32	Azul <i>bice</i>	Kremer	10184				

Tabla 1.- Pigmentos utilizados en el presente estudio, con indicación, con indicación del fabricante y número de referencia. En la web del fabricante mayoritario (www.kremer-pigmente.de) pueden encontrarse las respectivas fichas técnicas de cada uno de ellos, con indicaciones de su formulación, etc.

Para obtener las diversas imágenes que conforman el presente estudio, se han utilizado diversos equipamientos y dispositivos de iluminación. Por una parte, para VIS, TL, IR, IRL, IRT, UVR, y UVL se ha utilizado una Cámara Nikon® D800 digital *full spectrum* (36 MP, con sensor CMOS, de sensibilidad entre 300 y 1100 nm), con un objetivo Nikon Nikkor de 50 mm 1:1. Los diversos filtros utilizados han sido: a) para UVR, B+W403 acoplado al X-Nite CC1; b) para VIS y TL, X-Nite CC1; c) para UVL, B+W420 más X-Nite CC1; d) para IR e IRL, Heliopan RG1000. Alternativamente, en fechas más recientes, fue probado el set de filtros Robertina® de CHSOS, de 52 mm, obteniendo idénticos resultados.

Para IRR, se utilizó una cámara OSIRIS (Opus Instruments, 16 MP, con sensor InGaAs), reportada frecuentemente como uno de los dispositivos más adecuados para esta técnica (Bonanno *et al.* 2017:32), con filtro Heliopan RG1000.

Para la obtención de imágenes VIS, IRR, e IR se utilizaron dos lámparas halógenas (800W) con difusor, mientras que para las técnicas de UV se utilizó una lámpara *Fabrizio* UV high-Flux 365nm LED (filtrada y exclusivamente con paso UV y corte de emisión VIS-IR) proporcionada por CHSOS, que fue utilizada para UVL y UVR. Para obtener las imágenes de IRL se utilizó una bombilla de luz blanca LED filtrada mediante con X-Nite CC1 y la antedicha lámpara UV. La geometría de las fuentes de iluminación y radiación fue cambiando para adaptarse a cada técnica. VIS, IR e IRR se utilizaron dos fuentes frontales a 45°, mientras que en técnicas de transiluminación

y transirradiación una sola y con difusor, ubicada en la parte posterior del lienzo, a una distancia de 80 cm. IRL, UVR y UVL utilizaron una única fuente que se fue barriendo por la superficie del lienzo jugando con el tiempo de exposición. Para el calibrado de las imágenes se ha utilizado una tarjeta CHSOS, consistente en una tarjeta AIC PhD (*The American Institute of Conservation Photo Documentation*), que incorpora adiciones pigmentarias que responden en bandas IR y UV. Las imágenes se tomaron en RAW y se corrigió su color mediante el balance de blancos, usando el gris neutral N8 de la tarjeta AIC. Además, se corrigió la exposición: N8 150 +/- 5 para VIS. El mismo gris se utilizó en la corrección de otras imágenes 100+/-5 para IR e IRR, 50 para UVR (Cosentino 2015 d: 290).

En la obtención de la radiografía se empleó una unidad de rayos X modelo TRANSXPORITX 50, de General Electric. Este equipo tiene un tubo de rayos X de 3 kW y un foco de 2,3 mm con una filtración total de 2 mm de aluminio, características que le permiten trabajar en voltajes muy bajos con un rango de 20 a 110 kV, los más usados en el estudio de este tipo obras. Para el procesado de las imágenes se usó un digitalizador CR 30-X de AGFA. Esta estación del trabajo permite el procesado digital de chasis de radiografía computerizada de tipo indirecto CR MDT4.0T, también de AGFA, con un formato de 35 x 43 cm y un tamaño de matriz de píxel de 3480 x 4248. El sistema se completa con el software específico para el procesamiento de imágenes MUSICA (*Multi Scale Image Contrast Amplification, o amplificación de contraste de imágenes multiescala*), también

de esta misma empresa. Los chasis empleados se montan en una instalación dedicada a radiografías telemétricas, en su nombre comercial CR Easylift de la empresa AGFA, que facilitan un área de radiografía efectiva de 126 × 33 cm en cada una de sus exposiciones. De esta manera conseguimos la superposición en línea de tres chasis, lo que le otorga el área que hemos indicado. Así mismo, se cuenta con un Indicador de Calidad de Imagen tipo dúplex (Image Quality Indicator, IQI) de la norma ISO 19232 de la empresa Kowotest, paera tratar de cuantificar la calidad de imagen. Para la ejecución de la radiografía de este lienzo (100 × 81 cm) se procesaron 12 radiografías de 35 × 45 cm. Los parámetros de disparo fueron, en todas las exposiciones, de un voltaje de 37 kV, una intensidad de corriente de 20 mA, y 3 seg., colocando la fuente o foco, con respecto a la obra, a 320 cm de distancia.

Por último, las imágenes híbridas UVFC e IRFC fueron utilizadas como técnicas auxiliares para la identificación preliminar pigmentaria. En el caso de IRFC se cuenta con abundante literatura al respecto, (Poldi, Villa 2006: 127-137; Cosentino 2014; 2016: 4-5; Raich *et al.* 2019), pero UVFC viene usándose igualmente con análogos fines. (Aldrovandi *et al.* 2004; Warda 2011). Ambas fueron montadas utilizando la imagen VIS y la imagen IR o UV, en función de la técnica, y combinando sus canales RGB (Cosentino, Stout 2014).

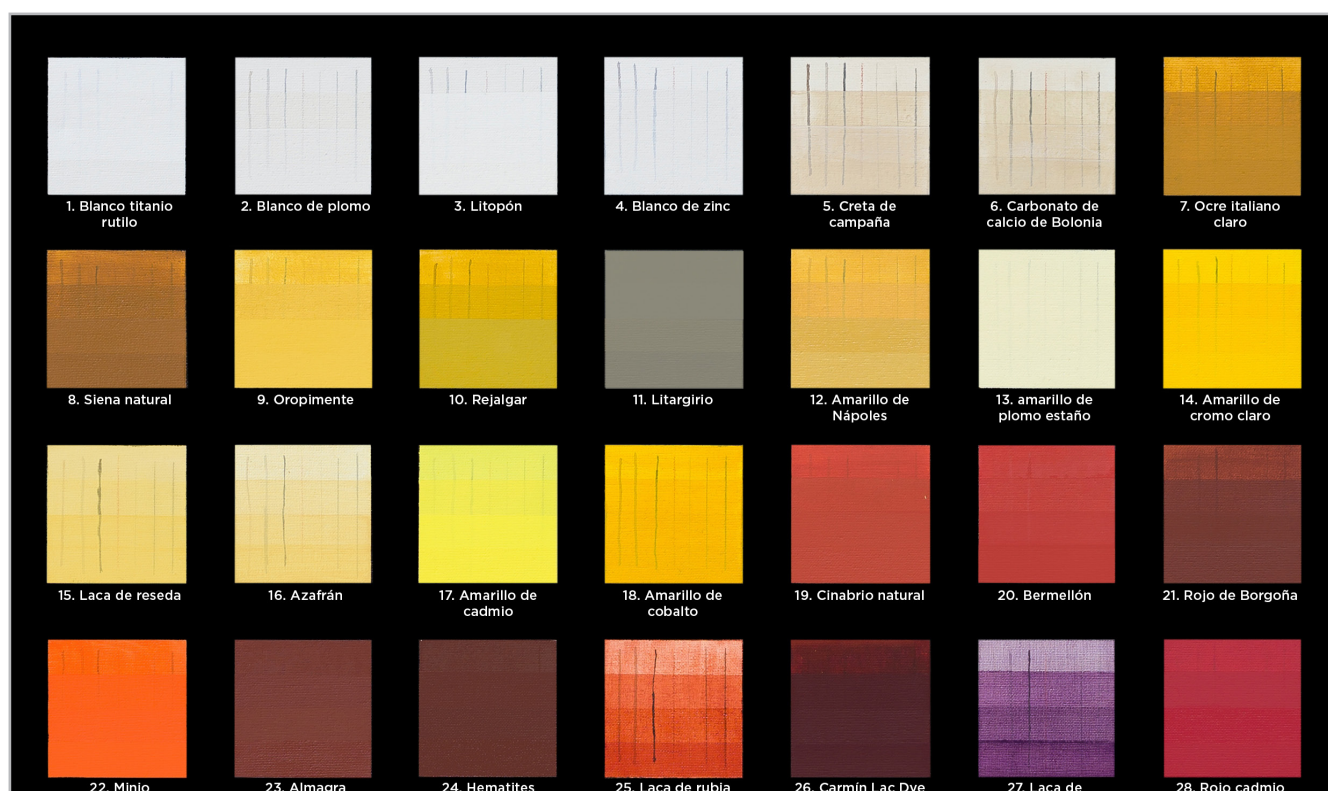
Resultados y discusión

Tras tomar las correspondientes imágenes técnicas (VIS, TL, IR, IRT, IR, IRL, UVR, UVL), realizar las imágenes de falso

color (IRFC, UVFC), y obtener la reflectografía (IRR) y la radiografía (RX) se procedió a la confrontación de resultados. Se atendió de manera especial a los cambios que podía producir la superposición de capas de un mismo material, su transparencia, su opacidad, o sus propiedades intrínsecas en las diferentes bandas del espectro y en diversos fenómenos (reflexión, transmisión o luminiscencia). Aunque son fenómenos que, de manera aislada no pueden compararse, en una lectura transversal aportan pistas que sí permiten intuir, al menos, de qué pigmento puede tratarse, al tiempo que permiten una mejor comprensión de la metodología utilizada en el proceso de creación de una determinada pintura, así como de sus patologías, los tres pilares fundamentales que sustentan el protocolo multiband (Herrero-Cortell *et al.* 2018). A continuación, se presentan los resultados, agrupándolos en función de la idoneidad comparativa de las técnicas. Somos conscientes de que la presentación no responde al esquema lineal del espectro, pero hemos considerado más operativo hacerlo de este modo, como se podrá colegir del propio discurso.

— VIS

La fotografía visible se usó, en primer lugar, como imagen de referencia para observar y monitorizar el comportamiento de los diversos pigmentos, en términos de opacidad y transparencia, y para poder en segundo lugar confrontar estas propiedades propias de cada pigmento en diversas bandas y bajo diversos fenómenos [Figura 3]. En la imagen visible puede observarse el aspecto



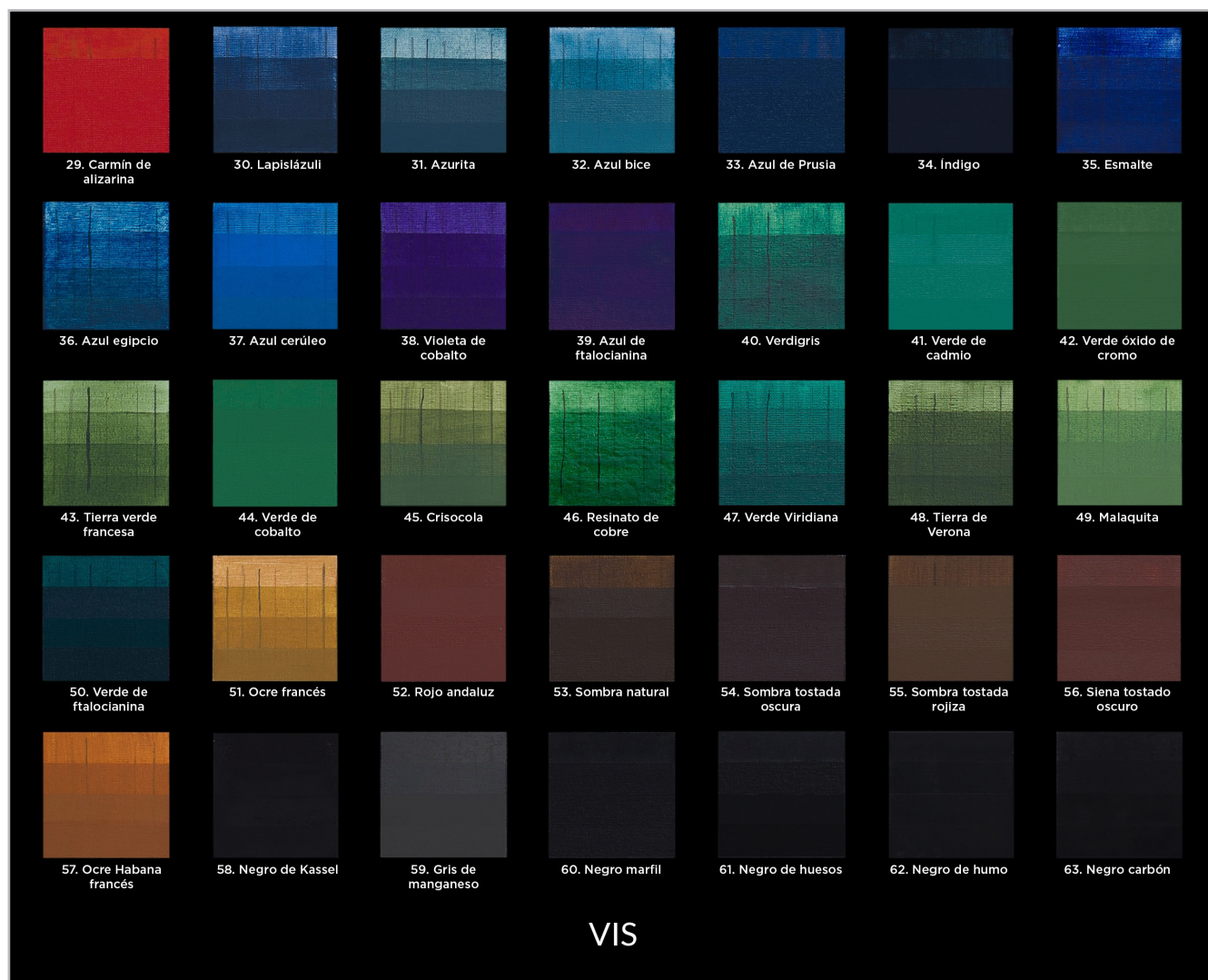


Figura 3.- Presentación de los 63 pigmentos. Las características intrínsecas a cada pigmento, en relación a saturación, transparencia o poder cubriente, pueden ser observadas y confrontadas en el resto de técnicas.

natural de los pigmentos al ser aplicados sobre el lienzo. Mientras que algunos son completamente transparentes, como los carbonatos cálcicos (5-6), las lacas (15, 25, 27), la tierra verde francesa (43) o el resinato de cobre (46), una buena mayoría son semitranslúcidos. Otros, en cambio, son completamente cubrientes, como el cinabrio (19), el bermellón (20), la hematites (23), el *lac-dye* (24), o el rojo de cadmio, (26), por poner algunos ejemplos. Algunos, como el índigo (34) o el azul ftalo (39) son muy absorbentes y por tanto oscuros. Es interesante notar cómo la apariencia que se manifiesta en el visible puede potencialmente cambiar en otras bandas o con otras técnicas.

— TRANSLUMINACIÓN (TL) Y TRANSIRRADIACIÓN (IRT)

En general, en transiluminación y transirradiación el dibujo subyacente realizado con medios carbonosos y ferrogálicos es mucho más perceptible, (Herrero-Cortell *et al.* 2021) mientras que, por el contrario, la tinta sepia la sanguina y la tinta aguada resultan más difíciles de

percibir, por el escaso contraste con el soporte [Figura 4]. En términos de identificación preliminar pigmentaria, con estas técnicas los resultados son muy limitados (Herrero-Cortell *et al.* 2020), aunque ciertos pigmentos presentan comportamientos únicos, que los hacen fácilmente identificables. Los ocre y tierras, en general, (7, 8, 23, 24, 43, 48, 51-57) tienden a observarse mejor en IRT, hasta el punto en el que algunos, como los rojos férricos (23-24) bloquean por completo la luz, permitiendo, en cambio, el paso de radiación IR. Igualmente, el cinabrio y el bermellón (19 y 20) presentan un alto poder de bloqueo lumínico en TL, pero en cambio, devienen mucho más transparentes en IRT. Algunos pigmentos como el *lac dye* (26), el rojo de cadmio (28) o el carmín de alizarina (29), que se muestran cubrientes VIS, se vuelven translúcidos en TL y transparentes en IRT. Como los pigmentos tierra, los azules tienden a una mayor transparencia en IRT respecto a TL, con la excepción del Prusia (33). Un caso muy particular es el índigo (34) altamente absorbente (y en consecuencia muy oscuro) en el rango visible y, en cambio paradójicamente claro en el IR, lo que hace

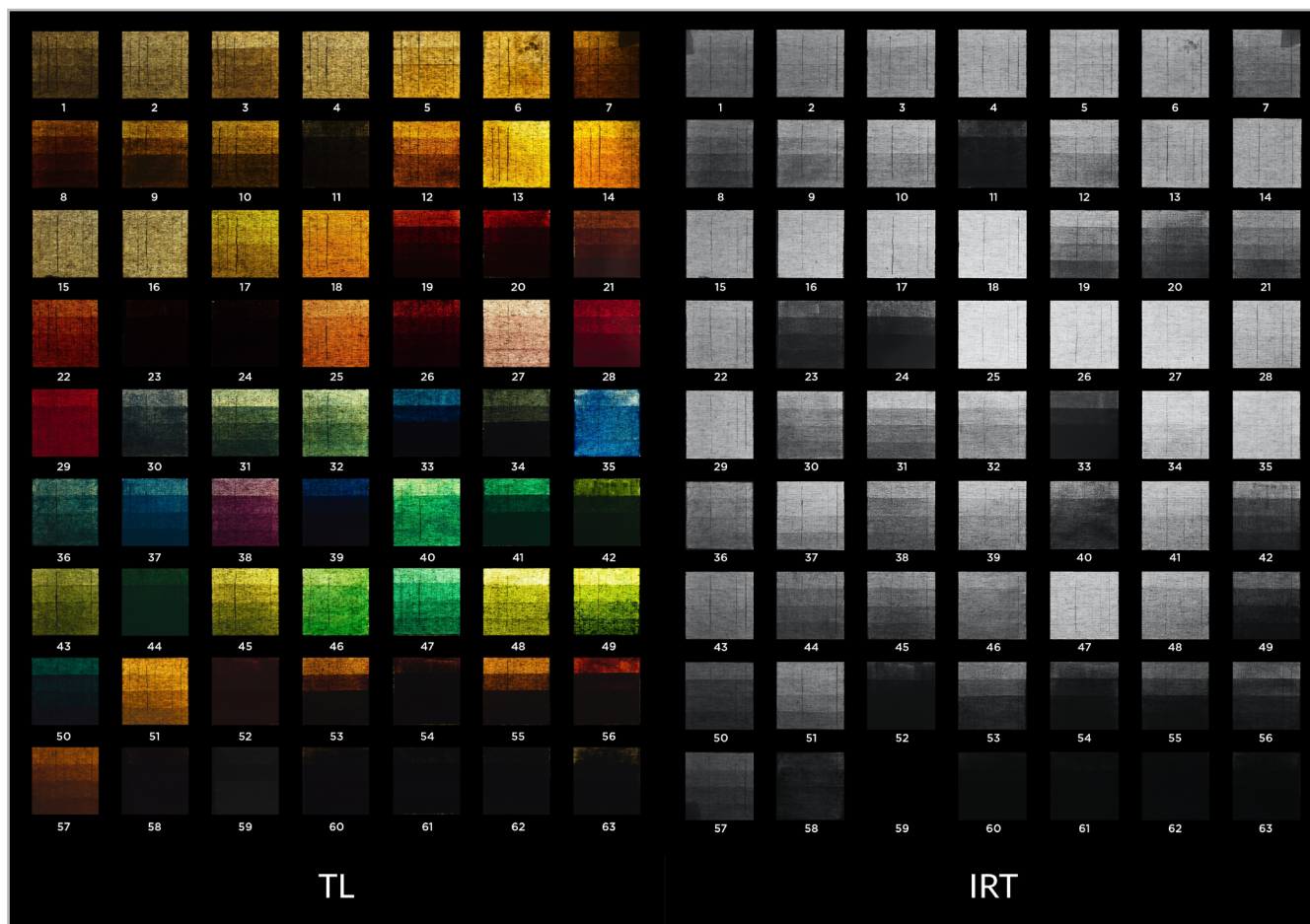


Figura 4.- Confrontación de la tabla con 63 pigmentos en transiluminación (TL) y transirradiación infrarroja (IRT).

que mientras que en TL posea notable capacidad de bloqueo lumínico, en IRT devenga muy claro, más incluso que el esmalte (35) de conocida transparencia. El azul de ftalocianina (39) y el verde de cadmio (41) muestran igualmente esta misma tendencia. A la inversa ocurre con el verdigrís (40) el resinato de cobre (46), o la malaquita (49) que son mucho más transparentes en el rango visible y más absorbentes en el IR, lo que hace que IRT sea una técnica muy poco apropiada para su exploración. Por último, mientras que el negro de Kassel (58), altamente absorbente en TL, es algo más permeable al paso de radiación en IRT, al contrario de lo que sucede con el gris de manganeso (59) que absorbe por completo la radiación IR, más incluso que la luz visible.

— ULTRAVIOLETA REFLEJADO (UVR) Y LUMINISCENCIA VISIBLE POR RADIACIÓN ULTRAVIOLETA (UVL)

Como se ha anticipaba en la introducción, las técnicas a continuación expuestas tienen en común el hecho de que ambas utilizan radiación ultravioleta filtrada, pero como fenómenos son bien diferentes pues uno es de reflexión y acontece en la banda ultravioleta (UVR) y el otro de luminiscencia (UVL) en realidad ocurre en la banda visible, pero mediante excitación ultravioleta.

El componente visible inducido por la excitación UV (radiación de luminiscencia) puede ser registrado fotográficamente.

La imagen ultravioleta reflejada (UVR) [Figura 5] está algo limitada a la hora de evidenciar rasgos que permitan trazar una idiosincrasia pigmentaria a través del espectro. Aún con ello UVR es de utilidad, como se ha dicho, por ejemplo, en el mapeo de pigmentos como el blanco de titanio (1) o el zinc (4), que suelen ser altamente absorbentes, frente al albayalde (2) o el litopón (3) (Cosentino 2015: 58-61); (Cosentino 2014). Otros como el azul cerúleo o el violeta de cobalto (37-39) resultan relativamente brillantes, al igual que el verde Viridiana (47), y forman grises medios frente a casos como el índigo (34) o el resinato de cobre (46), altamente absorbentes y, en consecuencia, oscuros.

Por su parte, el fenómeno de luminiscencia pigmentaria en pintura puede depender de múltiples factores, como la cantidad de capas, la presencia subyacente de materiales fluorescentes o absorbentes, el tipo de aglutinante o la eventual presencia de barnices que pueden mitigar o acentuar este tipo de respuestas. No obstante, se han propuesto lecturas en base a dichas respuestas a través de diagramas de flujo (Cosentino 2014). Entre los pigmentos que exhiben luminiscencia [Figura 5] se encuentran todos

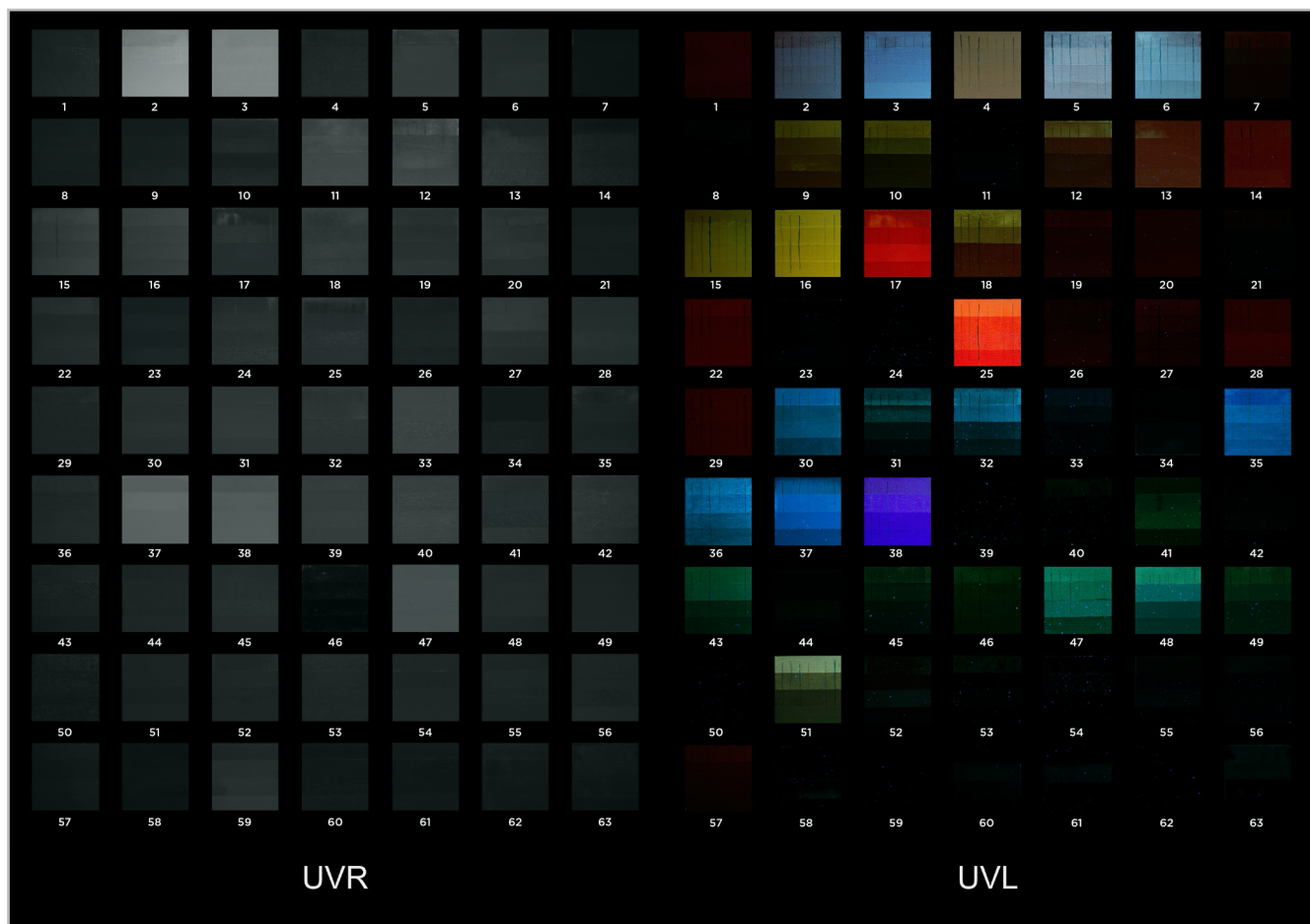


Figura 5.- Confrontación de la tabla con 63 pigmentos en fotografía infrarroja (IR) y reflectografía infrarroja (IRR).

los blancos a excepción del titanio (1). El albayalde (2) y el litopón (3) suelen presentar una luminiscencia azulada, al igual que los carbonatos cálcicos (5-6). El blanco de zinc (4), en cambio, presenta una luminiscencia cálida, que puede percibirse de color rosáceo (Poldi-Villa 2006: 160) o amarillenta (Cosentino 2014:7). Oropimente y rejalgar (9-10) exhiben cierta luminiscencia amarillenta oscura, mucho más brillante en el caso de colorantes amarillos como el azafrán o la resaca (15-16). El amarillo de cadmio (17) exhibe una característica luminiscencia roja, por lo general de gran intensidad, mientras que el amarillo de cobalto (18) puede llegar a presentar una señal moderada, pese a que eventualmente se describe como un pigmento sin luminiscencia (Cosentino 2014:7). La laca de rubia (25) posee una intensa respuesta naranja de gran saturación y alta luminiscencia. El lapislázuli (30), el esmalte (35), el azul egipcio (36) y el azul cerúleo (37) exhiben una intensa luminiscencia azulada, mientras que otros como el *blue bice* (32) poseen una señal mucho más débil. El violeta de cobalto (38) presenta una característica luminiscencia de análogo color. Entre los verdes, prácticamente solo el Viridiana (47) y la tierra de Verona (48) muestran una mínima luminiscencia, probablemente potenciada por el aglutinante oleoso, algo que también sucede, aunque en menor grado, en la malaquita (49) o en el ocre francés (51).

— FOTOGRAFÍA INFRARROJA (IR) Y REFLECTOGRAFÍA INFRARROJA (IRR)

Estas técnicas se han utilizado, habitualmente, como se ha dicho, para la observación de los dibujos subyacentes. Del mismo modo, los materiales con los que habitualmente se realizan los dibujos preparatorios de las pinturas son más o menos visibles, en función de su naturaleza, en cada una de las técnicas. En general conviene resaltar que los que tienen una composición rica en carbono son altamente visibles en ambas técnicas, pero más si cabe en IRR. Sin embargo, otros, como la tinta metalogálica, desaparecen cuando se aumenta la profundidad, deviniendo escasamente visible en IRR.

En la confrontación pigmentaria entre IR e IRR [Figura 6], hay algunas observaciones que se antojan interesantes. Por ejemplo, con análogas condiciones de iluminación/radiación, pigmentos como el titanio rutilo (1), albayalde (2), litopón (3) o blanco de zinc (4) presentan una respuesta más brillante en IRR respecto a IR. Lo mismo sucede con el oropimente y rejalgar (9-10), así como con otros amarillos como la resaca (15), azafrán (16), cadmio (17) y cobalto (18). En tales casos, IR posibilitan la lectura del dibujo subyacente. El azul de Prusia (33) y el verdigrís (40) se muestran completamente opacos y muy absorbentes

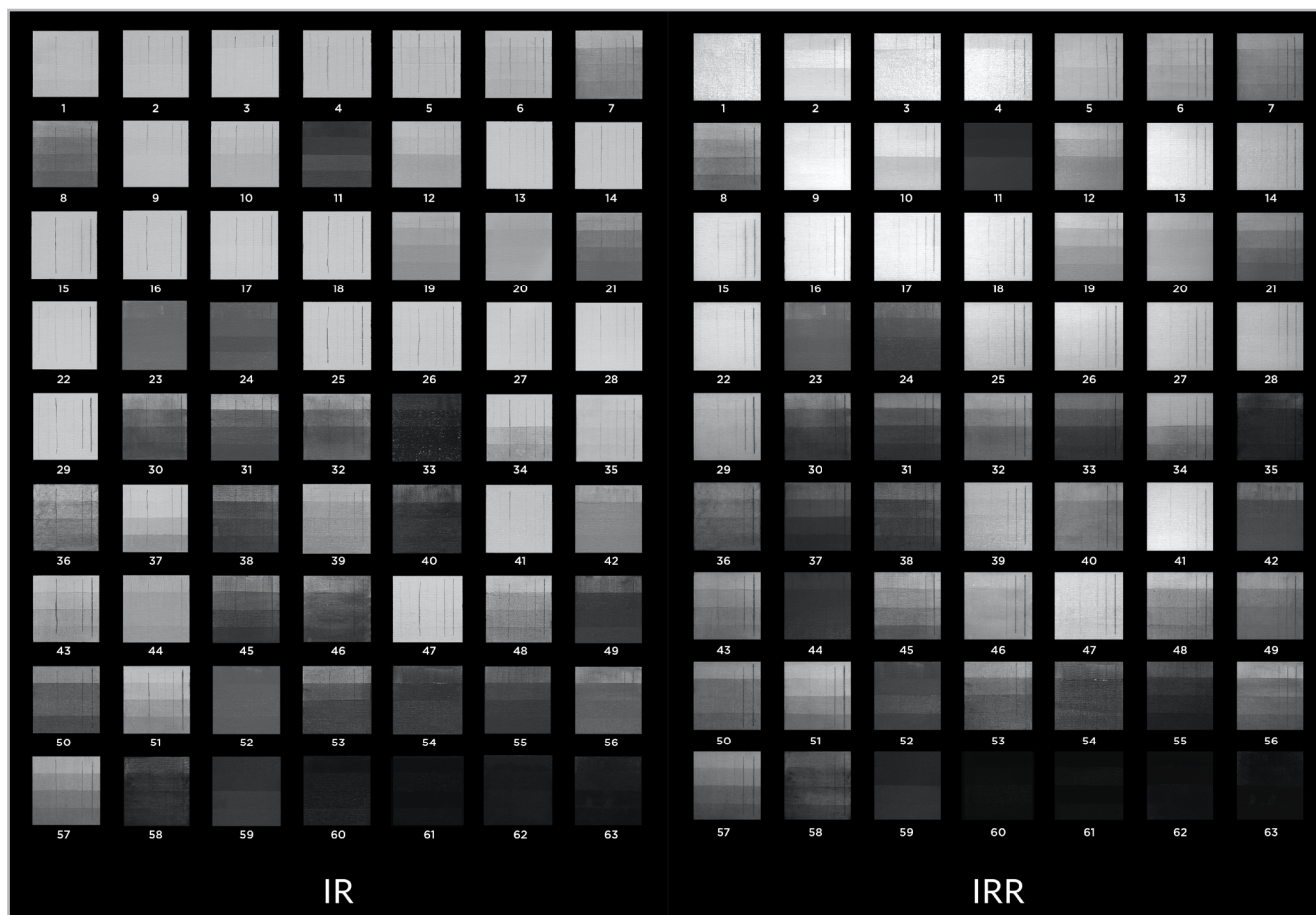


Figura 6.- Confrontación de la tabla con 63 pigmentos en transiluminación (TL) y transirradiación infrarroja (IRT).

en IR, mientras que, en cambio, permiten mostrar diseño subyacente en IRR. También el resinato de cobre (46) y la malaquita (49) resultan más claros en IRR, al contrario del verde de cromo (42) o el de cobalto (44) que presentan una respuesta más brillante en IR. Igualmente, el esmalte (35) o el cerúleo (37) son altamente absorbentes en IRR frente a su respuesta en IR, marcadamente luminosa.

— LUMINISCENCIA INFRARROJA INDUCIDA POR VIS Y UV (IRL)

Concretamente, en la imagen [Figura 7], puede apreciarse la confrontación entre dos tipologías de IRL: mediante excitación con luz visible (izquierda) y mediante radiación UV (365nm) (derecha). Los pigmentos partícipes en este fenómeno absorben la radiación visible y/o UV y emiten una banda amplia e intensa en el rango infrarrojo (IR), alrededor de 910 nm. Cuando la excitación se produce con radiación visible, al observar la imagen en una escala de grises, el azul egipcio (36) aparece de color blanco brillante, mientras que los pigmentos de base cadmio aparecen de gris claro a gris oscuro (17, 28, 41). Por último, el resto de pigmentos son completamente absorbentes, con excepción del azul cerúleo. En cambio, cuando la excitación se produce con radiación UV, son los pigmentos a base de cadmio los que exhiben un mayor brillo (17, 28, 41) destacando el rojo de cadmio

(28). Además, este tipo de radiación permite rastrear los blancos de titanio a base de rutilo (1) (Keller *et al.* 2019: 201-231).

— IMÁGENES DE FALSO COLOR: IRFC Y UVFC

En IRFC [Figura 8] los pigmentos blancos y la mayoría de los pigmentos amarillos (con la excepción de los ocres), se muestran de color blancuzco ligeramente verdoso. Cinabrio y bermellón (19-20) adoptan una tonalidad de color amarillo ocre. El minio (22) adopta un amarillo muy claro de tendencia brillante. La laca de rubia adopta una tonalidad amarilla intensa pero completamente transparente. Por su parte, el *lac dye* (26) y la cochinilla (27), como el resto de lacas rojizas de naturaleza orgánica, adoptan tonos de naranja rojizo, algo más claro y amarillento en el caso del rojo de cadmio (28) o el carmín de alizarina (29). Los azules oscilan entre los tonos rojos y violáceos, dependiendo de su naturaleza. El índigo y el esmalte (34-35) devuelven un rojo encendido; el azul egipcio y el cerúleo (36-37) magenta; el lapislázuli (30) un rojo oscuro granate, mientras que los azules cúpricos, como la azurita o el blue bice (31-32) conforman violáceos. Aún más variados en su respuesta son los verdes: el verde de cadmio (41) devuelve en IRFC un rosa intenso cercano al magenta, algo más apagado y oscuro

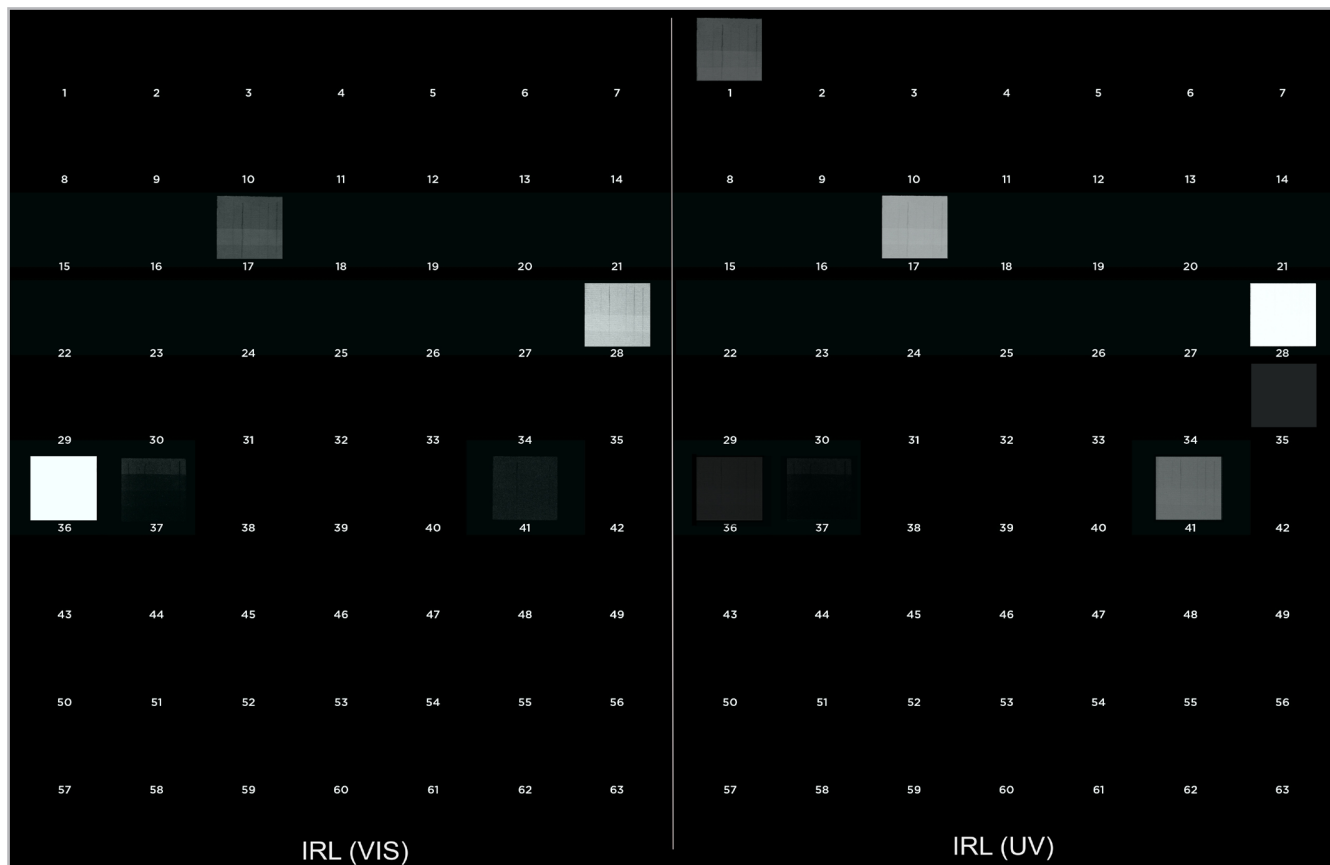


Figura 7.- Confrontación de la tabla con 63 pigmentos en luminiscencia infrarroja inducida por radiación visible (IRL_VIS), y luminiscencia infrarroja inducida por radiación ultravioleta (IRL_UV).

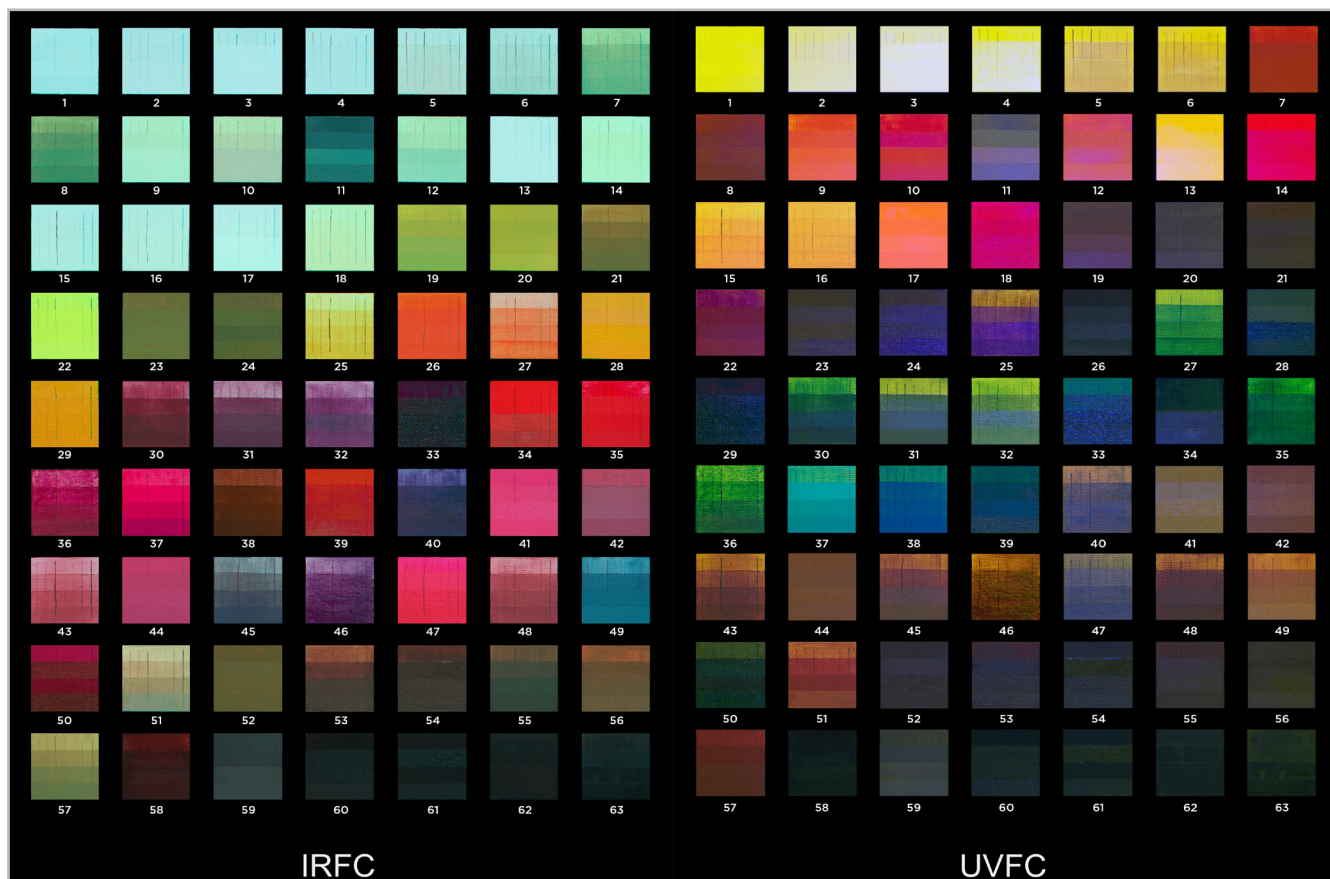


Figura 8.- Confrontación de la tabla con 63 pigmentos en infrarrojo de falso color (IRFC) y ultravioleta de falso color (UVFC).

en el caso de los verdes de cromo (42) o cobalto (44) y muy brillante en el caso de la Viridiana (47). El verdigrís (40) y el resinato (46) adquieren tonalidades moradas, más frías y azuladas en el caso del primero. Las tierras verdes (43, 48) dan tonos rojizos algo apagados, mientras que el verde de ftalocianina adopta un tono rojo intenso y oscuro (50). Por su parte, la malaquita muestra un comportamiento muy singular, con un característico color azulado (49). Las tierras devuelven tonalidades terrosas algo más verduscas que en VIS, mientras que el Kassel es, de entre todos los negros, el único que muestra un característico color marrón rojizo (58).

Como sucede con IRFC, la imagen UVFC también muestra ciertos comportamientos singulares [Figura 8] . Así, por ejemplo, el blanco de titanio muestra amarillo intenso, único en dicha familia. Los amarillos, en general, adoptan tonalidades rojizas: anaranjada en el caso del oropimente (9) y más roja en el caso del amarillo de cromo (14) o el de cobalto (18), siendo naranja clara, algo apagada en el caso del amarillo de estaño (17). Cinabrio y bermellón adoptan colores violáceos-grisáceos. El minio adquiere un color granate burdeos, mientras que la laca de rubia toma un matiz violeta transparente. Los azules tienden a ser verdes en UVFC (30-36), al igual que sucede con la laca de cohinilla (27). El azul cerúleo (37) toma un característico tono turquesa. Por su parte, los verdes (42-46) devuelven

tonalidades marrones, a excepción del verdigrís (40) y el Viridiana (47), cuya respuesta es grisácea-azulada. Es curioso el caso, por último, el verde ftalo (50), el único cuya respuesta en UVFC es igualmente verdosa.

— RADIOGRAFÍA

Normalmente nos encontraremos que toda la literatura apoya sus resultados en los análisis químicos efectuados en varios puntos del cuadro estudiado, correspondiendo las zonas más claras de una radiografía con aquellos pigmentos que han conseguido absorber y no dejar pasar la radiación que ha atravesado la superficie. Por consiguiente, todos aquellos pigmentos cuya composición cuente con algún tipo de material metálico –y este sea de un elevado número atómico– indudablemente serán los que mejor se podrán ver. Prueba de ello es que en el lienzo preparado para este estudio las áreas que ocupan el blanco de plomo (2) –cuya composición comercial es carbonato básico de plomo (Gettens *et al.* 1993: 67), – o el litargirio (11) proveniente del óxido de plomo (II) son las dos muestras que más resaltan. Por ejemplo, el blanco de plomo (2) cuenta con un coeficiente de absorción másico (μ/c) de 72,2 que es mucho más elevado en comparación con el del zinc, que es de 37,9 (Gettens *et al.* 1993: 77).

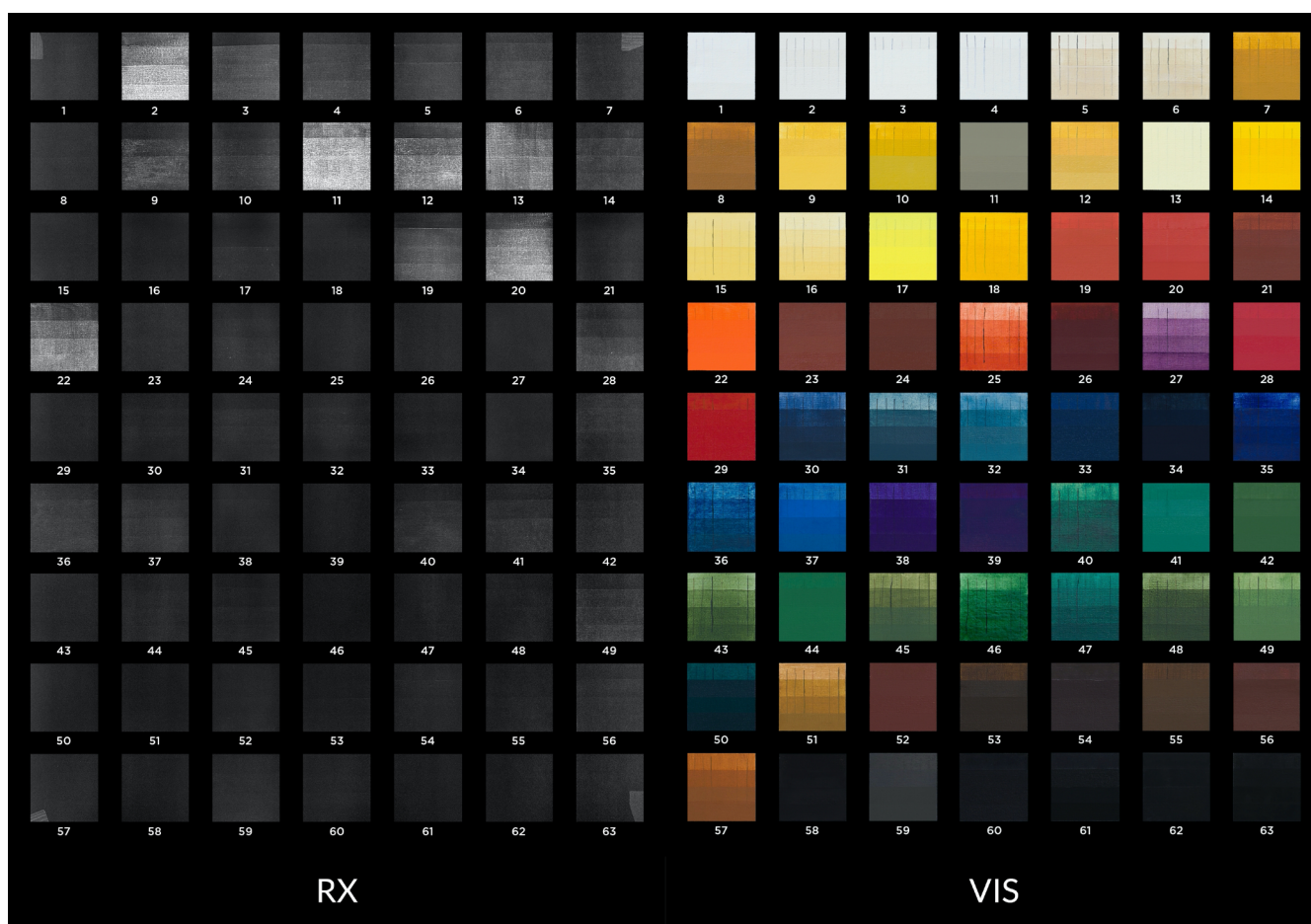


Figura 9.- Confrontación de la tabla con 63 pigmentos en radiografía (RX) e imagen visible de referencia (VIS).

COLOR	VIS	IR	IRR	IRL (vis)	IRL (uv)	IRFC	UVR	UVL	UVFC	RX
1. Blanco titanio rutilo										
2. Blanco de plomo										
3. Litopón										
4. Blanco de zinc										
5. Creta de campaña										
6. Carbonato de calcio de Bolonia										
7. Ocre italiano claro										
8. Siena natural										
9. Oropimente										
10. Rejalgar										
11. Litargirio										
12. Amarillo de Nápoles										
13. amarillo de plomo estaño										
14. Amarillo de cromo claro										
15. Laca de reseda										
16. Azafrán										
17. Amarillo de cadmio										
18. Amarillo de cobalto										
19. Cinabrio natural										
20. Bermellón										
21. Rojo de Borgoña										
22. Minio										
23. Almagra										
24. Hematites										
25. Laca de rubia										
26. Carmin Lac Dye										
27. Laca de cochinita										
28. Rojo cadmio claro										
29. Carmin de alizarina										
30. Lapislázuli										
31. Azurita										
32. Azul bice										
33. Azul de Prusia										
34. Índigo										
35. Esmalte										
36. Azul egipcio										
37. Azul cerúleo										
38. Violeta de cobalto										
39. Azul de ftalocianina										
40. Verdigris										
41. Verde de cadmio										
42. Verde óxido de cromo										
43. Tierra verde francesa										
44. Verde de cobalto										
45. Crisocola										
46. Resinato de cobre										
47. Verde Viridiana										
48. Tierra de Verona										
49. Malaquita										
50. Verde de ftalocianina										
51. Ocre francés										
52. Rojo andaluz										
53. Sombra natural										
54. Sombra tostada oscura										
55. Sombra tostada rojiza										
56. Siena tostado oscuro										
57. Ocre Habana francés										
58. Negro de Kassel										
59. Gris de manganeso										
60. Negro marfil										
61. Negro de huesos										
62. Negro de humo										
63. Negro carbón										

Tabla 2.- Esquema de las principales coloraciones obtenidas con los 63 pigmentos utilizados a lo largo de las diversas bandas espectrales. Los colores se han copiado digitalmente de las imágenes obtenidas, a modo orientativo.

Es curioso cómo la mayor radiopacidad sea la del litargirio (11), un óxido de plomo cuyo valor de pigmentación se ve comprometido por su escasa estabilidad cromática, (Doerner 1998:53), pero que debió de ser por su escaso poder colorante uno de los aditivos más comúnmente utilizados en pintura (Herrero-Cortell 2019:155). Así mismo, es interesante destacar cómo la adición de cargas secativas, como el acetato de plomo (sal de Saturno) o el litargirio (4), usado habitualmente en pintura, pueden conferir una mayor legibilidad en forma de luminiscencia a pigmentos que, por sí solos, no la tienen. Es muy probable que, de hecho, las propiedades secantes de todos los pigmentos a base plomo (principalmente albayalde (2), minio (22), amarillo de Nápoles (12), amarillo de cromo-plomo (14) y amarillo de plomo-estaño (13) se explorasen mezclándolos como secativos a pigmentos como las tierras, por ejemplo, cuyo proceso de secado es mucho más lento.

Por otro lado, resalta de este mosaico el bermellón (20), en menor medida el cinabrio natural (19) o el rojo de cadmio claro (28). En estos tres casos su evidente respuesta se basa en su composición a base de sulfuro de mercurio (HgS) o Cadmio (CdS), en las que su elemento metálico tiene un coeficiente de absorción muy significativo (Gettens et al. 1993; 13). En el caso del minio (22) nos encontramos con una similitud entre el coeficiente de absorción del mercurio y del plomo (West 1985: 129). A continuación, debemos colocar los verdes en cuya composición encontramos el cobre, como es el caso del verdigrís (40) o la malaquita (49) con un coeficiente de absorción másico que se puede considerar moderado (μ/c) de 27.0, pueden devolver una escasa respuesta luminiscente en RX (Gettens *et al.* 1993: 193), prácticamente nula para el resto de los pigmentos.

Por último, si nos ceñimos a la valoración de la capacidad de absorción de los pigmentos debemos ser conscientes de que no podemos olvidar las variables que se producen durante la ejecución de una obra, como es la mezcla pigmentaria y de materiales, así como el espesor de las pinceladas.

Conclusión

A lo largo del presente artículo se ha puesto de manifiesto cómo cambian los principales pigmentos históricos al ser observados en imágenes multibanda en diversos rangos del espectro, evidenciando utilidad de la confrontación de las distintas imágenes MBTI en propósitos como la identificación preliminar de pigmentos, o la observación del ductus pictórico. Para sintetizar los resultados de nuestro trabajo se ha elaborado una tabla en la que se ponen de manifiesto las diferencias cromáticas advertidas para cada caso [Tabla 2]. Los resultados cromáticos, aquí presentados, pretenden servir, por tanto, como una guía tentativa en la descripción visual del comportamiento los pigmentos más comunes en pinturas hasta el siglo XX, pero obviamente conviene utilizar otras técnicas para la confirmación definitiva.

Aun tratándose de pigmentos simples, el color puede ser susceptible de importantes cambios en función de factores como el grado de pureza pigmentaria, o la existencia de *fillers* y cargas, (que habitualmente pueden hallarse en polvos industriales). No debemos olvidar, además, que cuando nos enfrentamos a casos de pinturas reales, en muchos puntos los pigmentos no se encuentran en forma pura, siendo habituales las mezclas, diferencias en el espesor de las pinceladas y superposiciones en forma de veladuras; variables que podrían inducir a error en su interpretación. Igualmente, el tono del estrato de preparación puede interferir en la percepción del color en superficie, del mismo modo que el grosor de la aplicación puede resultar de gran relevancia en algunos pigmentos. Así mismo, los equipamientos utilizados para registrar las respectivas imágenes pueden influir sobremanera: fuentes de radiación/iluminación, filtros; sensores, etc.; así como por los propios parámetros técnicos de ejecución de cada captura (exposición, tiempo, contraste, calibrado, etc).

De cualquier modo, y para concluir, un protocolo de imagen multibanda lo más completo posible puede ser de gran utilidad en la caracterización y mapeo de los materiales constitutivos de las pinturas, pudiendo dar pistas sobre su ejecución misma o sobre las problemáticas conservativas que puedan afectar a una determinada obra de arte. La caracterización mediante imagen del comportamiento de estos 63 pigmentos contribuirá, sin duda, a enriquecer la interpretación de este tipo de análisis no invasivos sobre pinturas, permitiendo entender mejor la materia constitutiva de las mismas. En un futuro inmediato, cabrá continuar con una caracterización análoga para otros pigmentos más contemporáneos que han quedado fuera de este estudio, mientras que, en cambio, en un futuro a medio plazo, es posible que todos datos puedan usarse, por medio de inteligencia artificial para afinar las lecturas materiales, procedimentales y técnicas de las obras de arte, permitiendo, entre otras cosas mapear preliminarmente ciertos pigmentos en función de su comportamiento.

Agradecimientos

Los autores desean dar las gracias al Dr. Marcello Picollo, del Istituto di Fisica Applicata "Nello Carrara"/ CNR - Consiglio Nazionale delle Ricerche (IFAC-CNR) por sus consejos, correcciones y precisiones y por diversos análisis efectuados. Un agradecimiento también a Ana Victòria Pedret, Maria Luisa Ricci, Andrea La Bella, y Ariadna Piñol, que colaboraron en la elaboración de la probeta.

Referencias

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>

- ACCORSI, G. VERRI, M. BOLOG NESI, N. ARMAROLI, C. CLEMENTI, C. MILIANI, A. ROMANI (2009). The exceptional near-infrared luminescence properties of cuprorivaite (Egyptian blue), *Chem. Com mun.*, 3392–3394. <https://doi.org/10.1039/b902563d>
- ALDROVANDI, A., E. BUZZEGOLI, A. KELLER, AND D. KUNZELMAN. (2004). Indagini su Superfici Dipinte Mediante Immagini UV Riflesse in Falso Colore. *OPD Restauro: Rivista dell'Opificio delle Pitre Dure e Laboratorio di Resauro di Firenze*, 16: 83-87.
- ALDROVANDI, A., E. BUZZEGOLI, A. KELLER, AND D. KUNZELMAN. (2005). Investigation of painted surfaces with reflected UV false color technique. In *8th International conference on "Non-destructive investigations and microanalysis for the diagnostics and conservation of the cultural and environmental heritage"*, Lecce, Italy, 15–19 May 2005, eds. C. Parisi, G. Buzzanca, and A. Paradisi. Brescia, Italy: Associazione Italiana Prove Non Distruttive Monitoraggio Diagnostic. 3-18.
- ALDROVANDI, A.; PICOLLO, M. (1999) *Metodi di documentazione e indagini non invasive sui dipinti*. Il Prato: Padova.
- BONANNO, A., BOZZO, G., STRANGES, F., & SAPIA, P. (2017). La riflettografia infrarossa tra fisica, arte e tecnologia. *Il Giornale di Fisica*, 1: 27-51. <https://doi.org/10.1393/gdf/i2017-10260-5>
- BRIDGMAN, C. F., AND GIBSON, L. H. (1963). Infrared Luminescence in the Photographic Examination of Paintings and Other Art Objects. *Studies in Conservation*, 8(3): 77-83. <https://doi.org/10.2307/1505133>
- BURROUGHS, A. (1928). *Notes on the principles and process of X-ray examination of painting*. Washington D C, Estados Unidos: Smithsonian report for 1927.
- CONTI, S., AND A. KELLER. (2010). Il Colore nei Materiali Tessili Antichi: Standard di Riferimento e Caratterizzazione dei Coloranti per Mezzo di Indagini Ottiche. *OPD Resatauro: Rivista dell'opificio delle Pietre Dure e Laboratorio di Restauro di Firenze*, 20: 57-72.
- COSENTINO, A. (2014). Identification of pigments by multispectral imaging; a flowchart method. *Heritage Science*, 2(1): 1-12. <https://link.springer.com/article/10.1186/2050-7445-2-8>
- COSENTINO, A. (2015). Practical notes on ultraviolet technical photography for art examination. *Conservar Património*, (21), 53-62. <https://www.redalyc.org/pdf/5136/513651366004.pdf>
- 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>
- DE LA RIE, R.E. (1982). Fluorescence of Paint and Varnish Layers (Part I). *Studies in Conservation*, 27: 1-7; 65-69; 102-108. <https://doi.org/10.1179/sic.1982.27.1.1>
- DÍAZ, A. (1975). *Restauración y Conservación del Arte Pictórico*. Madrid, España: ArteRestauro.
- DOERNER, M. (2001). *Los materiales de pintura y su empleo en el arte*. Reverté.
- DYER, J., VERRI, G., AND CUPITT, J. (2013). *Multispectral Imaging in Reflectance and Photo-induced Luminescence Modes: A User Manual*. London: The British Museum
- GARGANO, M., LUDWIG, N., & POLDI, G. (2007). A new methodology for comparing IR reflectographic systems. *Infrared Physics & Technology*, 49(3): 249-253. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350449506000855>
- GARRIDO, C., y CABRERA, J.M^a. (1983). "La Fragua de Vulcano". Estudio técnico y algunas consideraciones sobre los materiales y métodos del XVII. *Boletín del Museo del Prado*, 4(11): 79-95.
- GETTENS, R. J. FELLER, R; CHASE, W.T. (1993). Vermilion and Cinnabar. En Ashok Roy. (Ed), *Artists' Pigments. A handbook of their history and characteristics*. . Londres, Reino Unido: Archetype Publications. 2: 159-182.
- GETTENS, R. J.; WEST FITZHUNG, E. (1993). Malachite and Green Verditer. En Ashok Roy. (Ed), *Artists' Pigments. A handbook of their history and characteristics*. Londres, Reino Unido: Archetype Publications. 2: 183-202.
- GETTENS, R.J.; KÜHN, H.; CHASE, W.T. (1993). Lead White. En Ashok Roy. (Ed), *Artists' Pigments. A handbook of their history and characteristics*. Londres, Reino Unido: Archetype Publications. 2: 67-82.
- GRIFONI, E., BRIGANTI, L., MARRAS, L., ORSINI, S., COLOMBINI, M. P., LEGNAIOLI, S., PALLESCI, V. (2015). The chemical-physical knowledge before the restoration: the case of "The Plague in Lucca", a masterpiece of Lorenzo Viani (1882–1936). *Heritage Science*, 3(1): 26. <http://doi.org/10.1186/s40494-015-0055-0>
- HERRERO-CORTELL, M. Á. (2019). *Procedimientos técnicos, soportes y materiales utilizados en los obradores pictóricos de la corona de aragón (s. XV- XVI). Una aproximación a través del paradigma valenciano*. Lleida: Universitat de Lleida.
- HERRERO-CORTELL, M. Á., CREUS, M. R., 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: 5-15. <https://doi.org/10.37558/gec.v14i1.583>
- HERRERO-CORTELL, M., ARTONI, P., & RAICH, 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. Á; ARTONI, P.M CREUS, M. R., 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>

HOURS-MIEDAN, M. (1964). *Les secrets des chefs-d'oeuvre. L'oeuvre d'art est matière avant d'être message*. Paris, Francia: Éditions Robert Laffont.

KIRBY, J.; VAN BOMMEL, M.; VERHECKEN, A. (2014) *Natural Colorants for Dyeing and Lake Pigments. Practical Recipes and their Historical Sources*. London: Archetype.

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* 360, 1:201-232. https://monografias.editorial.upv.es/index.php/con_360/article/view/79

LANG, J., & MIDDLETON, A. (1997). *Radiology of Cultural Material*. Londres: Elsevier Butterworth-Heinemann

MADRID, J.A. (2010). Catálogo radiográfico del servicio de rayos X del Laboratorio de Documentación y Registro. *Arché*, 10: 87-98. <http://hdl.handle.net/10251/85227>

MADRID, J.A. (2014). Dos décadas de inspección radiográfica en España: retrospectiva y horizontes en un contexto de cambio tecnológico. Intervención. *Revista Internacional de Conservación, Restauración y Museología*, 85: 85-93. <https://www.redalyc.org/comocitar.oa?id=355632777011>

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>

MUCCHI, L., Y BERTUZZI, A. (1983). *Nella profondità dei dipinti. La radiografia nell'indagine pittorica*. Milan: Ed. Electa.

PICOLLO, M.; FUSTER LÓPEZ, L. STOLS-WITLOX, M. (2020). *UV-Vis Luminescence imaging techniques/ Técnicas de imagen de luminiscencia UV-Vis*. Editorial Universitat Politècnica de València. <http://hdl.handle.net/10251/138517>

POLDI, G.; VILLA, G.. (2006). *Dalla conservazione alla storia dell'arte: riflettografia e analisi non invasive per lo studio dei dipinti*. Edizioni della Normale, 3.

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*, 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>

RORIMER, J.J. (1931). *Ultra-violet rays and their use in the examination of works of art*. New York: The Metropolitan Museum of Art.

THOURY, M., DELANEY, J.K., RIE, E.R., PALMER, M., MORALES, K., AND KRUEGER, J. (2011). Near-infrared luminescence of cadmium pigments: in situ identification and mapping in paintings. *Appl Spectrosc*, 65(8): 939-951.

VANPAEMEL, G. (2010). X-rays and Old Masters. The Art of the Scientific Connoisseur. *Endeavour* 34(2): 69-74.

VERRI, G. (2009). The spatially resolved characterisation of Egyptian blue, Han blue and Han purple by photo-induced luminescence digital imaging. *Analytical Bioanalytical Chemistry*, 394(4): 1011-1021.

WARDA, J., (ed.) (2011). *The AIC guide to digital photography and conservation documentation*. Washington, DC: Foundation of the American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works.

WEST FITZHUNG, E. (1985). Red Lead and Minium. En Robert L. Feller. (Ed), *Artists' Pigments. A handbook of their history and characteristics*, Londres, Reino Unido: Archetype Publications. 1: 109-139.

Autor/es



Miquel Àngel Herrero Cortell

mihercor@har.upv.es

Universitat Politècnica de Valencia

<https://orcid.org/0000-0002-3855-9542>

Doctor en Historia del Arte; Máster en Producción Artística y Máster en Conservación y Restauración de Bienes Culturales. Su investigación se liga especialmente a las técnicas, procedimientos y materiales de la pintura y a la diagnosis artística con técnicas de imagen. En la actualidad desempeña su labor docente como profesor de Historia del Arte en la Universitat Politècnica de Valencia.



Marta Raich

marta.raich@udl.cat

Centre d'Art d'Època Moderna (CAEM) de la Universitat de Lleida

<https://orcid.org/0000-0002-1149-5753>

Graduada en Comunicación Audiovisual por la Universitat de Lleida. Especialista en fotografía científica aplicada a obras de arte, especialmente en técnicas de imagen multibanda y en postproducción fotográfica. Actualmente desempeña su labor profesional en los laboratorios del Centre d'Art d'Època Moderna (CAEM) de la Universitat de Lleida.

**Paola Artoni**

paola.artoni@univr.it

Centro Laniac dell'Università di Verona

<https://orcid.org/0000-0003-1122-4547>

Doctora en Historia del Arte. Ha trabajado durante una década para el Ministerio dei Beni Culturali, y actualmente es funcionaria responsable del Centro Laniac dell'Università di Verona, sede en la que enseña Técnicas de Diagnóstico no invasivo para obras de arte. Su especialidad es el estudio de la pintura mediante técnicas de imagen infrarrojas. Es docente de Historia de las Técnicas artísticas en el Grado de Restauración de la Scuola di Restauro di Mantova

**José Antonio Madrid García**

jmadrid@crbc.upv.es

Universitat Politècnica de València

<https://orcid.org/0000-0002-4994-2336>

Doctor en Conservación y Restauración de Bienes Culturales en la Universitat Politècnica de València. Catedrático de Universidad, en el Departamento de Conservación y Restauración de Bienes Culturales, de la Facultad de Bellas Artes y responsable del Laboratorio de Documentación y Registro en el Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio de la Universitat Politècnica de València. Como profesor imparte docencia tanto en el Grado de Conservación y Restauración de Bienes Culturales como en el Master Oficial de Conservación y Restauración de Bienes Culturales. Dentro de su docencia imparte asignaturas relacionadas con la teoría de la conservación y Restauración de Bienes Culturales, la aplicación del análisis radiográfico o los sistemas de gestión y catalogación en relación con los Bienes Culturales. Ha dirigido un gran número de trabajos final de grado y así como varias tesis doctorales. Supervisor Responsable de la Instalación Radioactiva asociada al Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio de la Universitat Politècnica de València, ha dirigido su línea de investigación a la realización de radiografías de gran formato de obras bidimensionales y tridimensionales.

Artículo enviado 04/03/2022

Artículo aceptado el 19/07/2022

<https://doi.org/10.37558/gec.v22i1.1101>