

El fenómeno del metamerismo en la digitalización de las obras de arte

The phenomenon of metamerism in the digitization of artworks

Michel Silva Fino^a, Teresa Contell Villagrasa^b

^aProyecto Matisse,  michelsfino@gmail.com, ^bProyecto Matisse, tcontellvillagrasa@gmail.com

How to cite: Silva Fino, M. y Contell Villagrasa, T. 2022. El fenómeno del metamerismo en la digitalización de las obras de arte. En libro de actas: II Congreso Internacional de Museos y Estrategias Digitales. UPV, Valencia, 19-28 de octubre 2022. <https://doi.org/10.4995/CIMED22.2022.15205>

Resumen

El metamerismo es un problema que sufren especialistas en el ámbito de la fotografía y las artes gráficas. Este fenómeno provoca que dos colores que son distintos no se puedan distinguir correctamente, pudiendo ser por varias causas, entre ellas el ángulo de observación, el entorno de la pieza y la iluminación.

Sobre esta última existen normativas y estándares internacionales, como la ISO3664, que trazan pautas para reducir las probabilidades de que el fenómeno se produzca, pero estas normas solo se aplican a equipos cuya finalidad es el análisis y comparación de fotografías, reproducciones y trabajos de artes gráficas, ya sean impresas o vistas en pantallas. Los citados estándares están algo desactualizados respecto a los adelantos en el campo que ha hecho la iluminación LED, así que fueron redactados en una época de iluminantes menos fiables, con periodos cortos de vida y deterioros cromáticos rápidos.

La actual sindemia ha acelerado los procesos de digitalización de muchos museos. Estas instituciones están dirigiendo cuantiosos recursos a la disposición de sus fondos y colecciones en portales Web diseñados a tal fin, y observan con interés los adelantos de la era digital, como las realidades virtuales y los metaversos, a los que seguramente tardarán poco en subirse de forma masiva.

En este contexto, uno de los primeros pasos que se tiene que dar es la toma de imágenes de las colecciones que se quieren poner a disposición del público digital, y es aquí donde el fenómeno del metamerismo puede entorpecer la correcta digitalización de las obras, porque si la obra presenta colores metaméricos, la fidelidad de la toma de datos puede quedar comprometida si no se cuenta con iluminantes de referencia adecuados, que por lo general son inexistentes en los departamentos de fotografía de los museos.

Dentro del amplio abanico de iluminantes, nos centramos en el estudio de una reciente tecnología que permite generar un espectro continuo, más cercano a la luz solar, y que no solo nos permite aproximarnos satisfactoriamente a los iluminantes de referencia establecidos por la CIE (Commission internationale de l'Éclairage) sino que carece de los problemas que adolecen iluminantes de referencia de tecnologías obsoletas, como sus espectros discontinuos, bajos índices de reproducción cromática, bajas eficiencias y la gran dificultad técnica que presentan algunos de ellos para adaptarse adecuadamente a las exigencias de trabajo de los departamentos de fotografía de los museos.

Palabras clave: fotografía; color; museos; fidelidad; espectro.

Abstract

Metamerism is a problem suffered by specialists in the field of photography and graphic arts. This phenomenon causes two colors that are different cannot be correctly distinguished, could be for various reasons, among them the angle of observation, the environment of the piece and the lighting.

On the latter there are international regulations and standards, such as ISO3664, which describe guidelines to reduce the chances of the phenomenon occurs, but these rules only apply to equipment whose purpose is the analysis and comparison of photographs, reproductions and graphic arts works, either printed or viewed on screen. These standards are out of date respect to the advancements in the field that LED lighting has made, so they were drafted in an era of less reliable illuminants, with short life spans and rapid color deterioration.

The current syndemic has accelerated the digitization processes of many museums. These institutions are directing considerable resources to the disposal of their funds and collections on Web portals designed for this purpose and look with interest the advances of the digital age, like virtual realities and metaverses, which will surely take a short time to upload massively.

In this context, one of the first steps that must be taken is to take images of the collections to make available to the digital public and it is here where the phenomenon of metamerism can hinder the correct digitization of the works, because if the work presents metameric colors, fidelity of data collection can be compromised if adequate reference illuminants are not available, which are generally non-existent in museum photography departments.

Within the wide range of illuminants, we focus on the study of a recent technology which allows to generate a continuous spectrum, closest to sunlight, and that not only allows us to satisfactorily approach the reference illuminants established by the CIE (Commission internationale de l'Éclairage), but it lacks the problems that reference illuminants suffer from obsolete technologies, like their discontinuous spectra, low color rendering indices, low efficiencies and the technical difficulty that some of them present to adapt adequately to the work demands of museum photography departments.

Keywords: *photography, color, museums, fidelity, spectrum*

1. Introducción

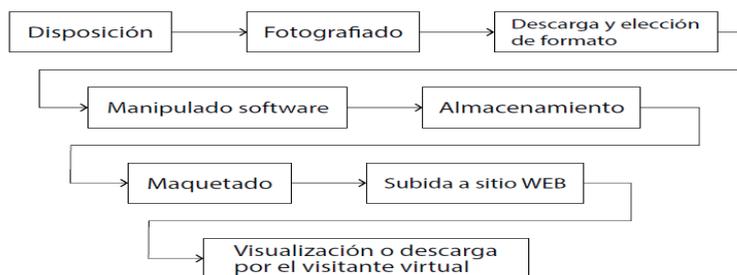
La Pandemia del virus SARS COVID-19 que fue identificada a finales del año 2019 cambió nuestro mundo de formas que aún no podemos comprender. Serán los historiadores en un futuro lejano los que nos respondan el cómo y el por qué, y sobre todo la forma en que la sindemia alteró nuestro modo de vida. Por ahora, podemos percibir cómo personas e instituciones hemos adoptado nuevos hábitos y formas de hacer las cosas. El teletrabajo, la automatización, los entornos virtuales, y los metaversos, constituyen nuevos retos que se desarrollan alrededor de un eje vertebrador: La Digitalización.

A la era de la digitalización nadie escapa, empresas y gobiernos destinan ingentes recursos para adaptarse a los nuevos retos (Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación, 2022), a los que instituciones culturales como los museos están empezando a prestar atención. Algunos museos fueron de hecho, instituciones pioneras a la hora de subir contenidos durante los confinamientos, diseñando aplicaciones para hacer visitas virtuales, o simplemente subiendo parte de sus colecciones a internet para ponerlas a disposición de todo el mundo (Ministerio de Cultura y Deporte, 2021). Estas labores no cesaron cuando los museos abrieron sus puertas al público de nuevo, todo lo contrario, se empezó a considerar cómo mejorar y perfeccionar la experiencia del visitante virtual, y a crear planes de digitalización que impliquen a la mayoría de los departamentos de los museos.

Una de las partes clave para alcanzar estos objetivos en la mayoría de los museos, suele ser la digitalización de sus fondos que, hecho de forma adecuada, supone un complejo proceso trasversal en que se involucra a varios departamentos: mantenimiento, montaje, fotografía, seguridad, media, etcétera.

La puesta a disposición de un fondo museográfico a un visitante virtual posee muchos pasos. Desde que se dispone la obra en su sitio para ser fotografiada, hasta que se muestra en la pantalla del visitante WEB, se han debido superar numerosas etapas comunes, que muy resumidas siguen una estructura similar a esta:

Tabla 1. Fuente: Propia. (2022)



Cada etapa presenta un reto diferente, y supone problemas muy concretos que, de no ser abordados adecuadamente, podrían alterar el resultado final y alejar la experiencia del usuario de la intención del artista. De la preservación, conversión de formatos, y compresión de archivos, disponemos de amplia literatura desarrollada por expertos en la materia, este proyecto trabajará en una de sus primeras etapas, la de la fotografía, y concretamente en uno de los numerosos problemas que se pueden presentar, el del metamerismo.

1.1. Qué es el metamerismo

El metamerismo es un fenómeno por el cual dos muestras de color observadas bajo una determinada fuente de luz poseen la misma apariencia, pero se muestran diferentes bajo otras fuentes de luz. Este fenómeno se denomina como metamerismo por iluminante. Estas dos muestras se pueden considerar como metámeros, o pares metaméricos. Análogicamente, este fenómeno tiene lugar cuando dos muestras idénticas producen colores diferentes cuando varía la fuente de luz (Pereira, 2013).

El anterior párrafo sin lugar a duda generará una cascada de interrogantes en todo profesional que esté involucrado de alguna forma con la gestión del color en el sector cultural, y aunque a juicio de la escasa literatura académica relacionada con este fenómeno abordado desde el punto de vista del arte y los museos, es un tema estudiado y conocido por ciertas industrias, como las artes gráficas (Kámenov e Ivánov, 2013) y la automoción (Beering, 1985), por citar solo un par de ejemplos.

Aunque el metamerismo por iluminante es el que abordamos en esta publicación, existen otros tipos de metamerismo, que introducimos a continuación para que el lector se pueda hacer un esquema mental del problema y sus implicaciones.

1.2. Tipos de metamerismo

1.2.1. Metamerismo por Observador

Los seres humanos no somos idénticos, poseemos importantes diferencias en nuestras capacidades visuales entre individuos y grupos, una de la forma de agruparnos para estudiar las diferencias visuales, es el sexo. La evidencia científica señala que hay diferencias en la capacidad de distinguir colores entre hombres y mujeres, teniendo estas últimas una clara ventaja sobre los primeros (Abramov, Gordon, Feldman, y Chavarga, 2012). La explicación suele abordarse desde la teoría del cazador-recolector y puede estar relacionado con diferencias cuantitativas en las células sensibles a la luz que pueblan nuestra retina.

Este mismo fenómeno se puede dar en cámaras fotográficas, que no dejan de ser un observador más, en las que en función de su sensibilidad espectral pueden presentar diferencias en el registro de un color. En otras palabras, dos equipos fotográficos de calidad y prestaciones análogas pueden registrar un color de forma distinta. El fenómeno del metamerismo es tan presente, que existe evidencia de su presencia en un porcentaje de entre el 18% y el 20% de las fotografías tomadas en escenas naturales como frutas, escenas exteriores e interiores, como demuestra el trabajo de Dilip K. Prasad y Looi Wenhe (Prasad y Wenhe, 2015). El metamerismo de escáneres y cámaras se abordan ampliamente en la norma ISO 17321.

1.2.2. Metamerismo geométrico

En ocasiones, dos objetos que parecen idénticos cambian de aspecto al cambiar el ángulo de observación. Este fenómeno tiene lugar en materiales cuyo espectro de emisión varía en función el ángulo de visión (Ita Aquateknica S.A., 2022).

Estos ejemplos pueden ayudar a que el lector se haga una idea de lo presente que está el fenómeno del metamerismo en diferentes contextos, y que inclusive, y aunque no se le cite por su nombre, está presente en la cultura popular, en publicaciones y retos de Internet que se han hecho virales.



Fig. 1 La prueba viral en la que los observadores no se ponían de acuerdo en los colores del vestido.

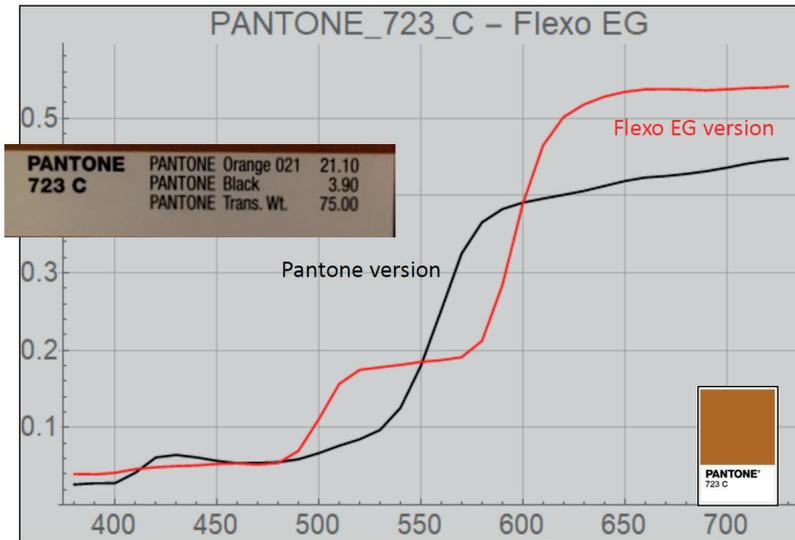
Fuente: Ita Aquatecnica S.A. (2022)

Al centrar el foco en el quehacer museístico, concretamente en un trabajo de digitalización en el que en muchos casos el color es protagonista, surge la necesidad de reconocer al metamerismo como un factor para tener en cuenta si queremos reducir las probabilidades de que los fondos sean registrados incorrectamente.

1.2.3. El Metamerismo de Iluminante

En el modelo de síntesis sustractiva, que es el utilizado para mezclar colores en las artes plásticas y gráficas, se puede llegar al mismo color utilizando proporciones de colores primarios distintos. Cuando decimos “mismo color” se pretende señalar colores que no son distinguibles con nuestros sentidos en determinadas condiciones de iluminación. Por ejemplo, la empresa Pantone fabrica su carta 723C mezclando tres colores de su catálogo: *Orange 021*, *Black*, y *Trans. Wt*. Por otra parte, una impresora para flexografía que utiliza tintas primarias (negro, cian, magenta, amarillo) puede conseguir un color similar, un resultado de impresión indistinguible a nuestra visión bajo un iluminante estándar D50. Sin embargo, la huella SPD (spectral power distribution) de cada una de estas dos muestras son diferentes, podemos afirmar, por lo tanto, de que esos dos colores conforman un par metamérico.

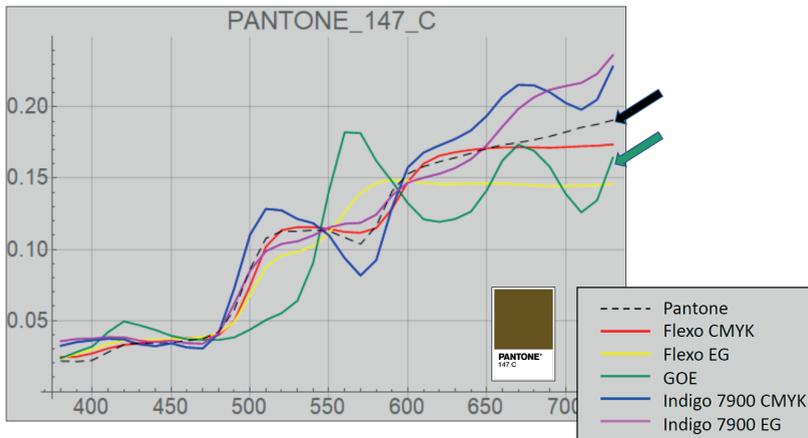
Tabla 2. SPD de dos colores metaméricos. Fuente: Seymour J. (2020)



Podemos encontrar casos mucho más llamativos registrados, como los séxtuplos metaméricos. Seis colores cuya huella espectral (SPD) es claramente diferente, pero que sin embargo lucen indistinguibles para nuestros sentidos bajo un iluminante de referencia D65 como se puede apreciar en la Tabla 3.

Cuando el fenómeno se da bajo las condiciones de iluminación señaladas, existen probabilidades de que los colores pasen a ser distinguibles bajo otro iluminante, como un D30. El fenómeno puede ocurrir en las dos direcciones como ya se ha señalado antes, por tanto, se puede dar el caso en el que bajo determinadas condiciones de iluminación apreciemos dos zonas de color ligeramente diferentes, como la que se da entre una zona ligeramente más sombreada que otra, pero que, al exponer el objeto a otra luz distinta, como la empleada por un flash, esas diferencias desaparezcan, desvirtuando parcialmente la escena y la intención del artista.

Tabla 3. Séxtuplos metaméricos obtenidos con diferentes equipos y técnicas de impresión. Fuente: Seymour J. (2020)



2. Objetivos

El presente estudio tiene la intención de demostrar la presencia del fenómeno del metamerismo en el momento de registrar fotográficamente los fondos de un museo, concretamente en obras pictóricas, donde la obtención del color a partir de otros colores es una constante.

Pretende también señalar iluminantes de referencia adecuados y metodologías para disminuir las probabilidades de que los fondos sean registrados de forma incorrecta.

Por regla general, un artista obtiene colores específicos valiéndose de herramientas teóricas, pero sobre todo en la experiencia conseguida a lo largo de su trayectoria. El procedimiento suele partir de un color base al que se le irán añadiendo otros colores en número y medida suficiente para acercarse lo máximo posible a sus necesidades (Parramón, 1984). Lo preciso del resultado final dependerá de numerosos factores como el nivel de autoexigencia que se imponga, la calidad y cantidad la luz con la que cuente, la variedad de colores que tenga disponible, su agudeza visual, etcétera. Un pintor figurativo se podrá encontrar con el problema de tener que mezclar varias veces el mismo color para dar continuidad a una región del cuadro, y esa mezcla que se hará de forma artesana guardará siempre pequeñas variaciones entre mezcla y mezcla. Se puede presentar un caso más crítico aún, y es cuando se agote uno de los colores base y el artista se vea obligado a obtener el mismo color compuesto utilizando una ruta distinta, en la que podrá utilizar nuevos colores para obtener la composición deseada.

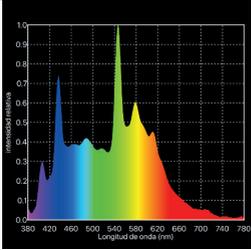
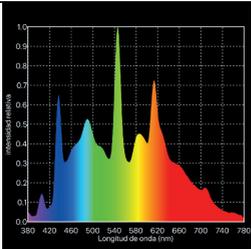
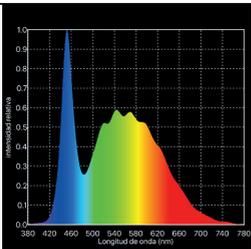
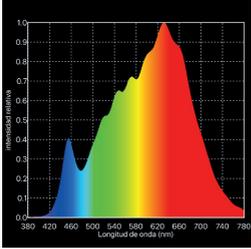
Queremos, por tanto, poner en evidencia el fenómeno del metamerismo en las artes pictóricas, para que fotógrafos y responsables de los procesos de digitalización de los museos hagan registros más cuidadosos.

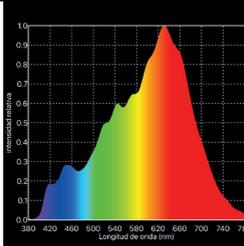
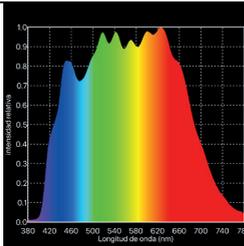
3. Desarrollo de la innovación

El proyecto empieza con un detallado análisis de la distribución espectral de todos los iluminantes que se quieren utilizar para este estudio. A tal efecto, utilizaremos un espectrofotocolorímetro marca ASENSETEK® en su versión Lighting Passport modelo ALP-01 y con última de calibración fechada el 18 de Enero del 2022. A partir de la distribución espectral, y utilizando un Software de análisis suministrado por el fabricante del instrumento (Spectrum Genius versión 3.0.9) extraeremos de las lecturas hechas información como temperatura de color

correlacionada (CCT), índice de reproducción cromática (CRI), y coordenadas cromáticas en los modelos de color CIE 1933 y CIE 1976.

Tabla 4. Tabla de Iluminantes. Fuente propia (2022)

Nombre	Características principales	SPD
Tubo fluorescente ordinario 5000K	CRI de 80, espectro muy discontinuo. SU presencia en el mercado fue prácticamente hegemónica durante 80 años. Por ese motivo, es el tipo de luz que hemos utilizado para hacer las mezclas de color para el presente estudio.	
Tubo fluorescente Gama “Color Proff” de Osram	Espectro mejorado, y ampliamente utilizado en departamentos de restauración de arte. CRI= 94 Cumple con la ISO 3664 referente al metamerismo en la industria de artes gráficas	
LED alto CRI 5000K	LED de alta gama, orientado a aplicaciones especiales. La luz se genera en la banda de los azules, sobre los 420nm, con lo que contiene un elevado pico de azul. CRI 97	
LED alto CRI 3000K	LED de alta gama, orientado a aplicaciones especiales. La luz se genera en la banda de los azules, sobre los 420nm, con lo que contiene un pico de azul. CRI 97	

LED Espectro continuo 3000K	LED de muy alta gama, orientado a aplicaciones especiales. La luz se genera en la banda de los violetas, sobre los 390nm, posee espectro continuo.	
LED Espectro continuo 5000K	LED de muy alta gama, orientado a aplicaciones especiales. La luz se genera en la banda de los violetas, sobre los 390nm, posee espectro continuo.	

3.1. Obtención de pares metaméricos

Partiendo de cartas de color Pantone® como patrón de referencia, se hicieron una serie de mezclas de pintura acrílica utilizando otros colores con la idea de obtener un color similar al de la carta. Por ejemplo, tomando como referencia la Pantone 16-1255 se hicieron 3 mezclas distintas de colores para llegar a una muestra lo más similar posible, los colores escogidos para la muestra A fueron el amarillo limón y el carmín de garanza. Una vez obtenido un resultado aceptable, se inició el mismo proceso para obtener la muestra B, pero partiendo de una ruta completamente distinta, así que se utilizaron el cadmio oscuro y el bermellón. Para obtener la muestra C, se utilizaron el ocre y el bermellón. Las mezclas se hicieron bajo un iluminante ampliamente utilizado en las últimas 8 décadas (Davies, Ruff y Scott, 1942) en cualquier ámbito de nuestra vida, incluyendo los estudios de pintura: el tubo fluorescente.

Tabla 5. Colores base utilizados para cada mezcla. La columna de la izquierda es una traducción aproximada del patrón Pantone a su versión en código hexadecimal. Fuente propia (2022)

Patrón	Muestra	Colores acrílicos utilizados			
Pantone 18-4525	A	Ocre	Azul ultramar	Blanco Titanio	
	B	Verde Ftalo	Azul ultramar		
	C	Blanco titanio	Verde Ftalo	Azul ultramar	
Pantone 3985	A	Amarillo Canario	Azul ultramar		
	B	Ocre	Azul ultramar		
	C	Amarillo Canario	Verde Ftalo	Rojo bermellón	
Pantone 414	A	Blanco titanio	Negro FEO	Amarillo canario	
	B	Blanco titanio	Rojo Negro V Ftalo	Amarillo Canario	
	C	Beige Terra 6	Verde Ftalo	Negro	
Pantone 19-3438	A	Bright Violet			
	B	Violet 112	Garante Lake 43C	Blanco Titanio	
	C	Cobato	Garante Lake 43C	Blanco Titanio	
Pantone 16-1255	A	Amarillo limón	Garante Lake 43C		
	B	Cadmo oscuro	Bermellón		
	C	Ocre	Bermellón		



Obtener un color similar o indistinguible, pero utilizando distintas bases y proporciones para lograrlo, asegura que la huella espectral de cada una de las muestras será diferente a las demás. En ese momento, se procede a la inspección y registro de las muestras utilizando una cámara Canon EOS 1300D, y distintos iluminantes de referencia LED, de los cuales habremos obtenido su distribución espectral (SPD) y valores de temperatura de color para comprobar cuáles de ellos encajan más precisamente y/o cumplen los estándares marcados en la ISO3664: Viewing conditions - for Graphic Technology and Photography. Las imágenes además de registrarse en RAW, se presentan con una compensación de CCT 4000K en todas las capturas, esto con el propósito de que en el fondo blanco quede patente una idea aproximada de la temperatura de color emitida por el iluminante, y cómo ésta influye en la visualización de los colores.



Fig. 2 Capturas fotográficas bajo distintos iluminantes. Fuente propia (2022)

Para el proceso de registro fotográfico se diseñó un sencillo montaje facilitando la disposición de todos los elementos necesarios. El montaje facilita el trabajo y asegura el aislamiento con el fin de evitar la contaminación de otras fuentes de luz.

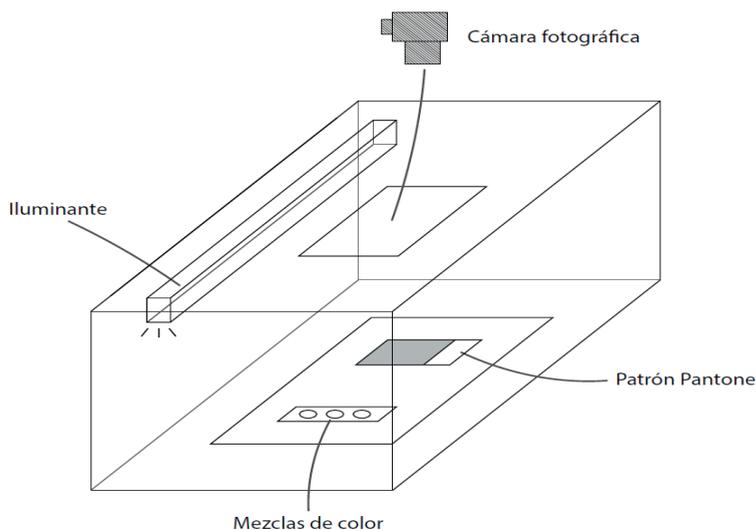


Fig. 3 Esquema de la cabina utilizada para el trabajo de registro fotográfico. Fuente propia (2022)

4. Resultados

El fenómeno del metamerismo se observa prácticamente en todos los casos.

4.1. Metamerismos no producidos por el iluminante

La primera observación hecha es que, en la pantalla de la cámara, y después en la pantalla de los ordenadores utilizados para analizar y ordenar la información, se distinguían menos colores que en la observación directa de las muestras, independientemente del iluminante utilizado. Como no podemos poner en evidencia tal extremo a través de una imagen de color, optamos por tomar la SPD de los colores, utilizando un iluminante de referencia D65.

La imagen de la Fig. 4 que confronta las muestras de color con su correspondiente SPD, ilustra como a pesar de que por ejemplo las muestras A y C son idénticas, poseen un SPD muy diferente. El problema señalado con anterioridad lo podemos adjudicar a una combinación indeterminada entre metamerismo por observador (de la cámara), y metamerismo por pantalla, pues el fenómeno aparece sistemáticamente en todas las muestras.

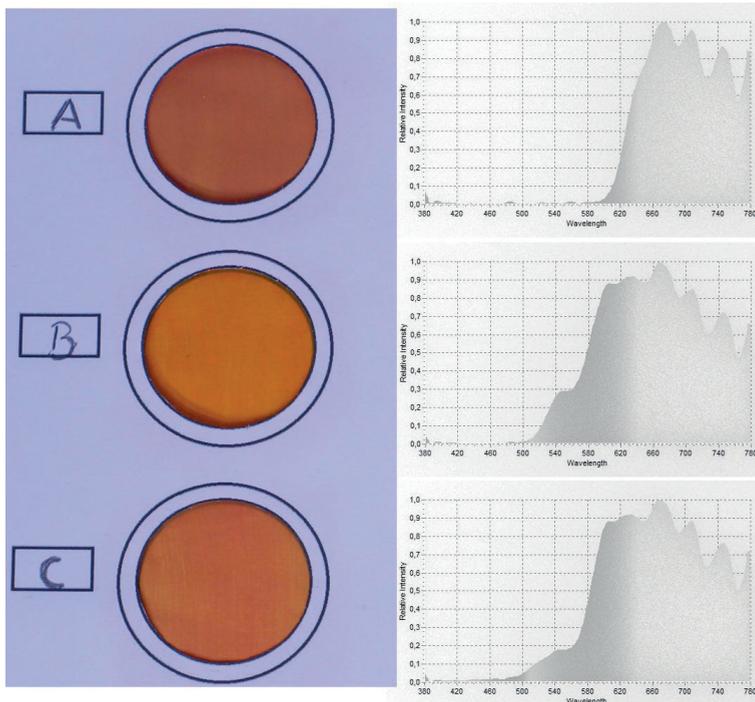


Fig. 4 Muestras obtenidas de la combinación con el patrón Pantone 16-1255 frente a sus gráficos SPD.

Fuente propia (2022)

La segunda observación que se hizo durante el proceso de registro de imágenes es que al cambiar el iluminante de referencia, prácticamente todas las muestras presentaban un dramático cambio en su aspecto visual, muestras que bajo un iluminante de 3000K son difícilmente distinguibles, pasan a mostrar diferencias bajo un D50 de espectro continuo. El LED 3000K es el de espectro continuo, con un CRI de 98, que sin ser un iluminante estándar recogido por la CIE*, posee una elevada calidad cromática.

(*El iluminante D30 no está reconocido por la CIE. El más similar reconocido es el Iluminante A, cuya CCT es de 2856K, y está basado en un filamento de tungsteno.)

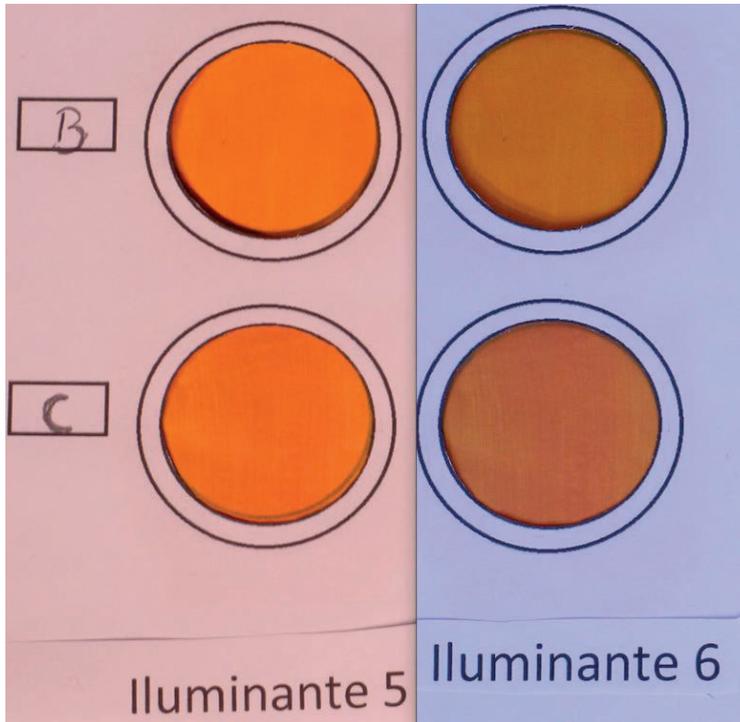


Fig. 5 Comparación de un par metamérico bajo dos iluminantes distintos. Fuente propia (2022)

La tercera observación hecha es la diferencia detectada en función de la tecnología LED. El LED de espectro continuo y con núcleo púrpura, parece tener una mejor capacidad de separar pares metaméricos que su análogo de núcleo azul, independientemente de su temperatura de color. La figura 6 muestra un D50 estandar fluorescente que cumple la ISO 3664, un LED de elevadas prestaciones cromáticas, y un LED de espectro continuo

que también cumple la ISO 3664. En la última imagen pueden percibirse matices que son menos evidentes en las dos primeras imágenes.



Figura 6. Comparación de color bajo 3 iluminantes distintos. Fuente propia (2022)

Descartamos del análisis la luminaria de tubo fluorescente, pues presenta una clara desventaja respecto a las demás muestras por sus valores de índice de reproducción cromática, claramente inferiores, pero que fue referenciado porque es el que se utilizó para hacer las mezclas de color, con la idea de acercar la experiencia a la realidad de los iluminantes disponibles en el arte moderno.

5. Conclusiones

Cuando hablamos de metamerismo, puede ocurrir que dos colores que no son idénticos lo parezcan, o que dos colores que parecían idénticos se muestren diferentes. Por tanto, un actor fundamental en el proceso de digitalización es un profesional de la museología que entienda la obra y su contexto, con la idea de poder discernir cuál de las dos vías en las que se puede presentar el fenómeno del metamerismo es la más indeseable. Un ejemplo reduccionista, sería la digitalización de una obra de arte moderno que consista en un degradé dicromático y continuo. Si la intención del artista era la limpia continuidad entre el paso de un color al otro, y al exponer a la obra a la luz de fotografiado, salen a flote huellas y límites entre tonos distintos de color, el resultado digitalizado iría en contra de la intención del artista.

La tecnología LED ya cumple los estándares de los iluminantes ISO 3664 que tienen por intención reducir las probabilidades de metamerismo. A la vista de los resultados, el LED de espectro continuo mejora a los iluminantes fluorescentes ISO 3664 por que la tecnología LED tiene una vida útil más larga, y sufre menos alteraciones cromáticas durante la misma.

Aunque no haya estándar D30 reconocido, utilizando un LED de 3000K de espectro continuo a modo de “iluminante A” podemos tener una herramienta aceptable para disminuir las probabilidades de metamerismo.

Una futura investigación podría abordar técnicas experimentales para definir una metodología práctica de detección del metamerismo utilizando iluminantes LED de espectro continuo con la capacidad de cambiar progresivamente entre la luz de referencia D50 y el iluminante A (2856K). Si bien no es un equipo que se

comercialice actualmente, la tecnología para desarrollarlo está disponible desde hace algunos años. La técnica iría encaminada a detectar la presencia de metamerismo para que, a juicio del museólogo, este fenómeno se use siempre a favor de transmitir adecuadamente la intención del artista al formato digital, ya sea mostrando u ocultando diferencias de color de origen metamérico entre regiones de la obra.

Referencias

- ABRAMOV, I., GORDON, J., FELDMAN, O., y CHAVARGA, A. (2012). "Sex and vision II: Color appearance of monochromatic lights" Artículo en *Biology of Sex Differences* · DOI: 10.1186/2042-6410-3-21 · Fuente: PubMed. <<http://www.bsd-journal.com/content/3/1/21>> [Consulta: 12 de julio de 2022].
- BEERING, M. (1985). *The determination of metameric mismatch limits of industrial colorant sets*. Thesis. Rochester Institute of Technology. <<http://scholarworks.rit.edu/theses>> [Consulta: 11 de julio de 2022].
- CAMPITELLI, E. (2019). "Statistical metamerism" en *R, statistics*, 3 de enero. <<https://eliocamp.github.io/codigo-r/en/2019/01/statistical-metamerism/>> [Consulta: 31 de mayo 2022].
- COLEGIO OFICIAL DE INGENIEROS DE TELECOMUNICACIÓN, (2022). "La digitalización recibirá un tercio de los recursos del Plan de Recuperación del Gobierno" en *Coit Noticias*. <<https://www.coit.es/noticias/la-digitalizacion-recibira-un-tercio-de-los-recursos-del-plan-de-recuperacion-del-gobierno>> [Consulta: 12 de julio 2022], [sin autoría reconocida]
- DATACOLOR.
(2022). *Metamerism*. <<https://knowledgebase.datacolor.com/admin/attachments/metamerism.pdf>> [Consulta: 31 de mayo de 2022], [sin autoría reconocida].
- DAVIES, R.J., RUFF, H.R., y SCOTT, W.J. (1942). "Fluorescent lamps" Volumen 89, Número 11, octubre de 1942, pp.447-465 <DOI: 10.1049/ji-2.1942.0074>, ISSN impreso 0367-7567, ISSN en línea 2054-0590 [Consulta: 16 de febrero de 2022].
- FINLAYSON, G.D. y MOROVIC, P. (2005). "Metamer sets" en *Journal of the Optical Society of America A*, Vol. 22, Issue 5, pp.810-819. <<https://doi.org/10.1364/JOSAA.22.000810>> [Consulta: 31 de mayo de 2022].
- GRAFITEC INTERNATIONAL INC. (2017). *¿Qué es la norma para evaluar y revisar el color? ISO 3664:2009* <http://www.grafitec.com/archivos/a_1b.pdf> [Consulta: 16 de febrero de 2022], [sin autoría reconocida].
- HUNTSMAN INTERNATIONAL LLC. (2001-2022). *Metamerism or things that go weird in the light* <<https://muratsahinli.files.wordpress.com/2012/12/metamerism.pdf>> [Consulta: 31 de mayo de 2022], [sin autoría reconocida].
- ISO. (1999). *Viewing conditions - for Graphic Technology and Photography. (Revision of ISO 3664 - 1975, Photography - Illumination conditions for viewing colour transparencies and their reproductions)* ISO 3664:1999(E). <<https://www.gtilite.com/pdf/ISO3664%20Standard.pdf>>
- ITA AQUATEKNICA S.A. (2022) "Qué es el metamerismo y cómo evitarlo: Diferencias de color según iluminancia, ángulo de visión u observador" en *AQInstruments*, 24 de mayo. <<https://www.aquateknica.com/que-es-el-metamerismo-y-como-evitarlo-diferencias-de-color-segun-iluminancia-angulo-de-vision-u-observador/>> [Consulta: 31 de mayo de 2022] [sin autoría reconocida].
- JIANG, J., y GU, J. (2012). "Recovering spectral reflectance under commonly available lighting conditions," *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops*, 2012, pp. 1-8, <doi: 10.1109/CVPRW.2012.6239343>. [Consulta : 30 de mayo de 2022].
- KÁMENOV, V., e IVÁNOV, V. (2013). "Evaluation and measurement of the quality of the illumination setup in a a color management facility " Conference: *Engineering Design Magazine*, vol. 1, issue 18, pp. 15-22, 2013, Bulgaria, Sofía, TU-Sofía, Department of Mechanical Engineering, ISSN 1313-7530. *Project* :

Development of criteria for quality evaluation of color prints and pre-press processes in a color managed environment. Disponible en

<https://www.researchgate.net/publication/316554695_EVALUATION_AND_MEASUREMENT_OF_THE_QUALITY_OF_THE_ILLUMINATION_SETUP_IN_A_COLOR_MANAGEMENT_FACILITY>

[Consulta : 16 de febrero de 2022].

- KRANTZ, J.H., y SCHWARTZ B.L. INTERACTIVE SENSATION LABORATORY EXERCISES (ISLE) (2015). *Color Perception. Color Matching Experiment: Metameric Matches*. Chapter 6. <<https://isle.hanover.edu/Ch06Color/Ch06ColorMatchExp.html>> [Consulta: 31 de mayo de 2022].
- MINISTERIO DE CULTURA Y DEPORTE. *El Ministerio de Cultura y Deporte presenta los resultados de un estudio sobre el público de museos ante el impacto de la COVID-19*. <<https://www.culturaydeporte.gob.es/actualidad/2021/06/210610-publico-museos-covid.html#:~:text=Durante%20el%20confinamiento%2C%20los%20visitantes,en%20streaming%20y%20escuchar%20podcasts.>> [Consulta: 30 de mayo de 2022].
- PARRAMÓN VILASALÓ, J.M. (1984). “Cap. 1 Características generales de la pintura al óleo” en Parramón Vilasaló, J.M. *Así se pinta al óleo*. Barcelona: Instituto Parramón Ediciones, S.A. Cap.1
- PEREIRA UZAL, J.M. (2013). “Cap. 3 Fundamentos” en Pereira Uzal, J.M., *Gestión del color en proyectos de digitalización*. Barcelona: Marcombo, S.A.
- PRASAD, D.K. (2016) "Strategies for Resolving Camera Metamers Using 3+1 Channel," *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW)*, 2016, pp.954-962. <doi: 10.1109/CVPRW.2016.123>. [Consulta : 30 de mayo de 2022].
- PRASAD, D.K., y WENHE, L. (2015). "Metrics and statistics of frequency of occurrence of metamerism in consumer cameras for natural scenes", en *Journal of the Optical Society of America A*. Vol. 32, Issue 7, pp.1390-1402 <<https://doi.org/10.1364/JOSAA.32.001390>> [Consulta: 31 de mayo de 2022].
- SEYMOUR, J., THE MATH GUY, J., y CLEMSON UNIVERSITY. (2020). “I’ve Never Metamer I Didn’t Like” en Conferencia: *Specialty Graphic Imaging Association - SGIA/PIA Color20 Project: Problems with CIELAB*. Disponible en <<https://color.printing.org/wp-content/uploads/2020/01/Seymour-I-Never-Met-A-Meric.pdf>> [Consulta: 31 de mayo de 2022].