

Effects of alteration on exposed artifacts produced by the influence of electromagnetic radiation applied to the azo chromophores

Autor: Carlos Cayón Martínez

carcayonmagmail.com

Introducción

Abstract

The following bibliographical work compile the improvements in artifact lighting systems aimed at museum or museum environments to enhance and safeguard the chromophoric qualities of delicate archaeological elements such as ceramics, mosaics or textiles in museum or musealized environments. Will be reviewed the main concepts of the processes of creation and interaction of electromagnetic radiation and how it is possible to quantify and detect the alterations that this supposes in the artifacts, as well as their sources. The main manifestations associated with photocatalytic processes in real cases of exhibited work will be recognized and studied, specifically, how electromagnetic radiation affects the azo group of chromophores in lake pigments, and the awareness of the different magnitudes that may exist in all these processes.

Keywords: Light, photochemical, azo dye, electromagnetic radiation, museums, art, archaeology.

El objetivo principal del presente estudio es conocer y desarrollar el fenómeno de la radiación electromagnética, desde su origen hasta sus interacciones con la materia, a nivel cuántico y atómico. Y vincular este conocimiento al campo de la conservación-restauración, es decir, aproximar al conservador-restaurador a los procesos subrepticios de la incidencia de la luz, donde esta toma un papel fotocatalítico, para prevenir un uso negligente.

Objetivos específicos

Se han establecido una serie de objetivos específicos para concretar y completar el objetivo general planteado:

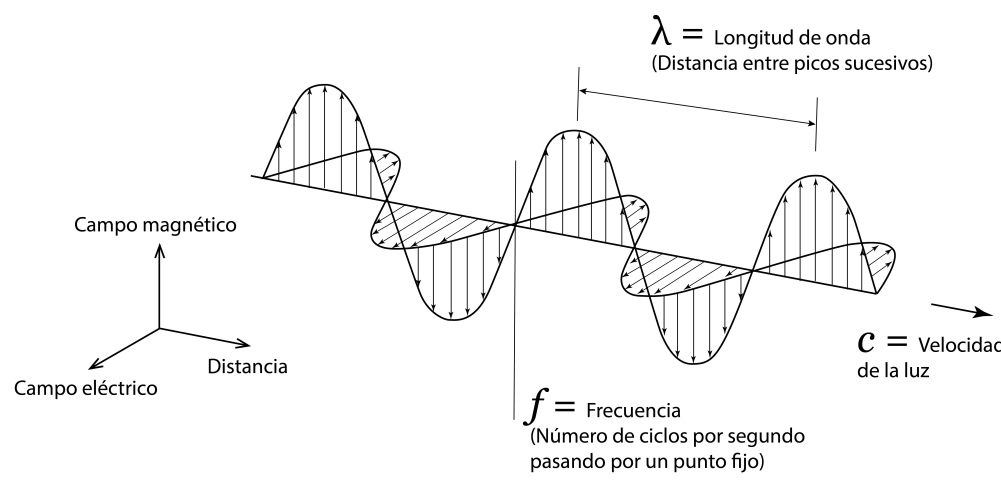
- Conocer las características de la luz, desde su origen hasta sus diversas posibilidades de interacción.
- Referenciar y exponer casos reales donde la luz ejerce un papel destructivo en los materiales propios de la obra artística. Concretamente, en los pigmentos orgánicos azoicos (grupo perteneciente a los pigmentos laca).
- Plantear el proceso de determinación de las magnitudes necesarias para la aplicación de sistemas de prevención en la conservación de artefactos.

¿A qué nos enfrentamos?

¿Qué es la Radiación electromagnética (REM)?

La luz es una de las manifestaciones cuánticas producidas por el fenómeno del electromagnetismo, es la forma de energía (E) resultante en la que se transporta el fotón; el cual dependiendo de la longitud de onda (λ) y la frecuencia (f), encontrará su lugar en el espectro, lo que a su vez generará, o no, el fenómeno del color.

El ser humano es capaz de percibir la REM como color correspondiente al espectro visible entre la luz UV y la radiación IR (ambas no visibles para el ser humano) mediante la conversión de la energía captada por los receptores (conos y bastones) que harán una interpretación del color a partir la suma de tres estímulos: azul-amarillo, rojo-verde e intensidad luminica (luz y sombra) interpretados por el cerebro.



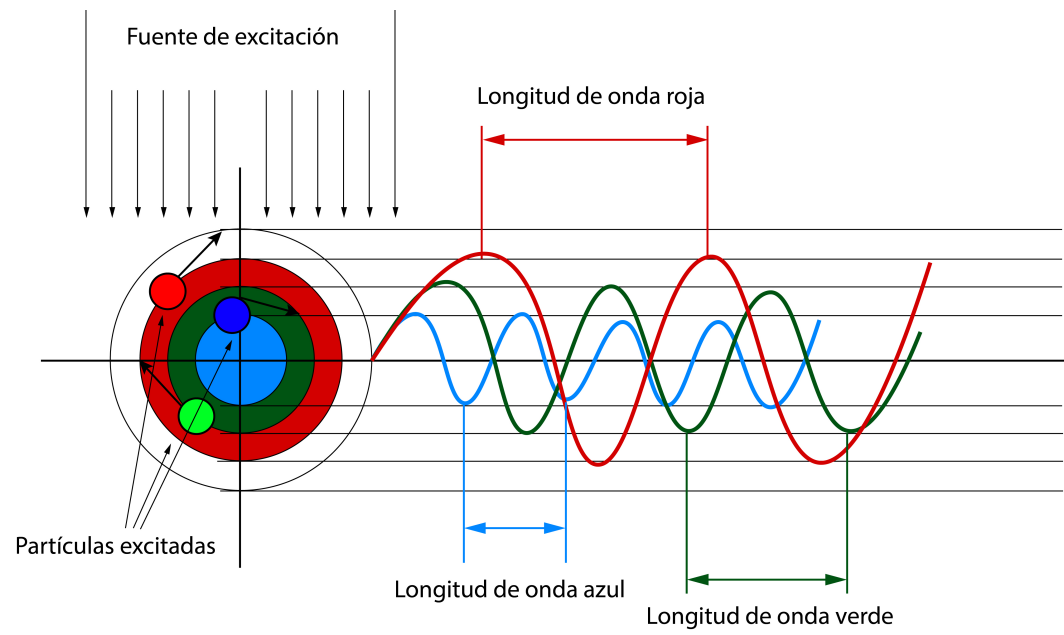
Cuando los electrones realizan saltos de nivel entre los orbitales de los átomos, se emiten «paquetes» discretos de energía en forma de fotones, cuando el electrón haya ascendido de nivel, debido a que no necesitan esta energía adicional para así poder regresar a su nivel correspondiente y poder moverse en determinador orbitales, se depende la energía sobrante cuando descienden de nivel (más cercano al núcleo).

La energía emitida en el descenso de nivel en el orbital por el electrón excitado producirá REM, que será en forma de luz visible percibida por nuestros ojos si, los valores de frecuencia y longitud de onda son los correspondientes a lo que se denomina espectro de luz visible (λ 380 a 750 nm).

¿Cómo interactúa la REM en la materia?

Se puede clasificar en tres tipologías el tipo de alteración causada por la energía radiante en los materiales: i) fotodisociación directa, ii) fotosensibilización (cambios fotoquímicos producidos, principalmente por la radiación UV y la radiación de la luz visible) e iii) acción termodinámica, cambios producidos principalmente por la fase del espectro infrarrojo.

No existe una relación simple entre la intensidad de energía radiante emitida por las fuentes de luz (frecuencia y longitud de onda) y el rango de alteración que causa en los materiales, pues la REM genera otros factores añadidos, como la energía termodinámica, que genera los efectos de alteración que más rápidamente son percibidos por nosotros, incrementando los grados de libertad vibracional (traslación, vibración y rotación) de las moléculas generando un aumento positivo de la entropía que propicia las posibilidades de interacción con otras especies químicas de su entorno [2] u otras causas condicionantes como la HR, temperatura, etc.



La longitud de onda de la REM es correspondiente a los saltos de nivel.

¿Cómo se origina?

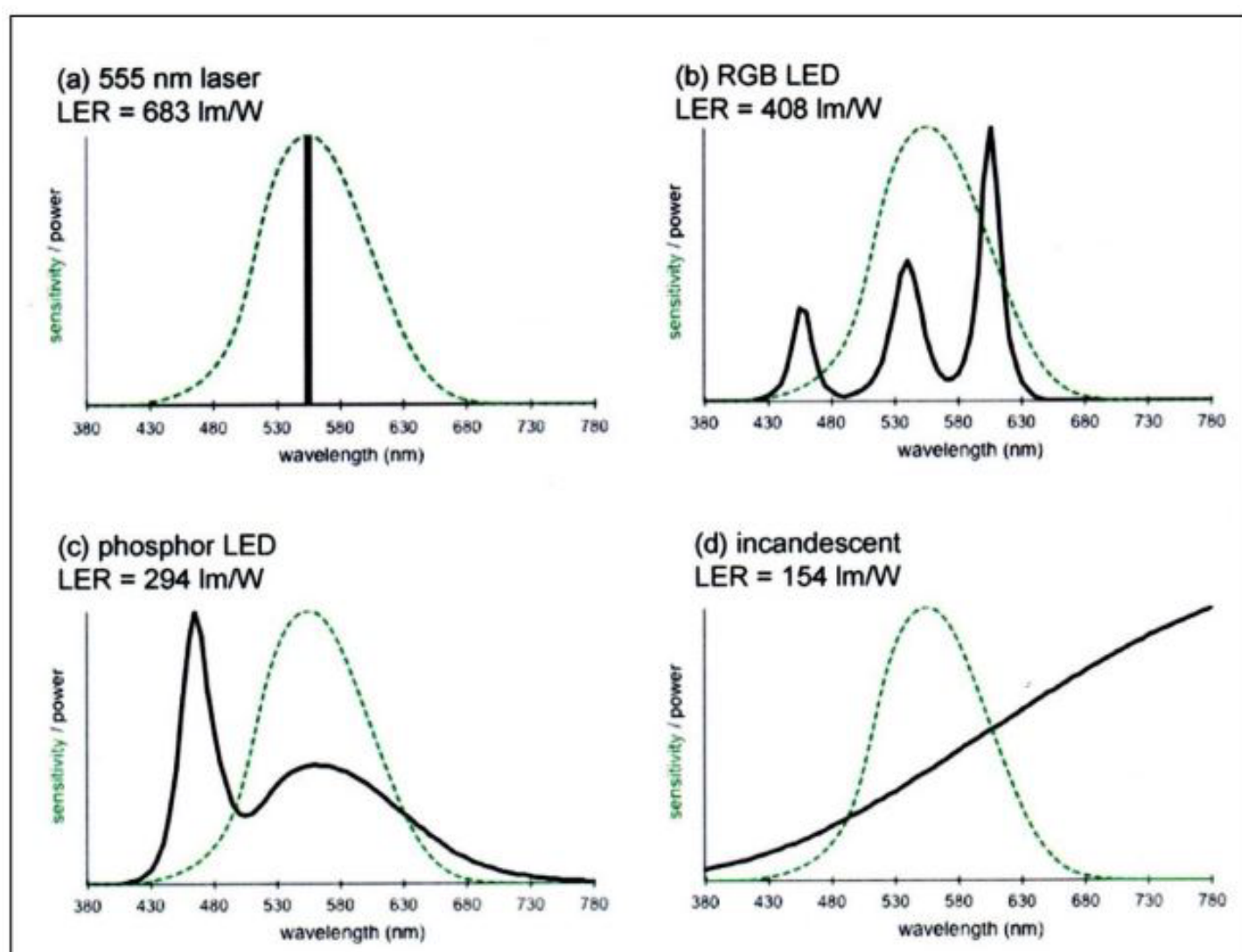
Fuentes de iluminación

Una fuente luminosa es aquella que es capaz de emitir REM que pueda ser percibidas por nuestros ojos (puede emitir también otros tipos de radiación no visible), durante el proceso de transformación de la energía. Las fuentes de luz pueden ser tanto: primarias, si son emisoras directas o productoras de luz; como secundarias, adquiriendo el papel de fuente luminosa debido al efecto de reflexión de la luz. Dentro de esta categoría encontramos que existen fuentes naturales o artificiales, que a su vez pueden variar los valores de incidencia para ser más difusa o focalizada.

Históricamente se han empleado fuentes de iluminación de tipo incandescente con CCT en torno a los 3000K y CRI muy próximo a 100, lo que en términos de percepción se traduce como un confort visual adecuado; pero entra en conflicto en cuanto a la cantidad de radiación tanto térmica como electromagnética que, estas fuentes, irradian sobre los materiales. La eficiencia energética de estas fuentes de iluminación no es la más apropiada, ya que el aumento de temperatura ambiental que generan entra en conflicto con otros sistemas de mantenimiento, como la refrigeración y estabilización ambiental de las salas por aire acondicionado, aumentando la necesidad de consumo energético.

Emplear iluminación LED, por una parte, no sólo puede reducir los costos económicos hasta en un 66% derivados del consumo y mantenimiento de instalaciones de iluminación en museos según un estudio realizado por el Canadian Conservation Institute y el Getty Conservation Institute [1] frente al uso de iluminación más tradicional, sino que, a nivel interactivo con la materia y los artefactos, resulta ser la más segura para evitar alteraciones fisicoquímicas.

Valores a tener en cuenta en una fuente de iluminación: Temperatura correlacionada de color (CCT), índice de reproducción cromática (CRI), *luminaire efficiency* (LER), poder de distribución espectral (SPD) y eficiencia energética.



Eficacia luminosa de la radiación procedente de diferentes fuentes de luz, que son apreciadas como luz blanca por el ojo humano, pero presentan diferentes PSD. La línea de puntos caracteriza la sensibilidad del ojo humano a lo largo del espectro de luz visible [1]. En verde, sensibilidad del ojo humano promedio a la REM.

Ejemplos de interacción entre REM aplicados en barnices y compuestos cromóforos

- La influencia de la luz en el brillo de los barnices mate [2].
- Evaluación de degradación del colorante rojo burdeos a través de proceso fotoquímico [3].
- Eliminación de color en soluciones reactivas de colorante por oxidación con H₂O₂ / UV [4].

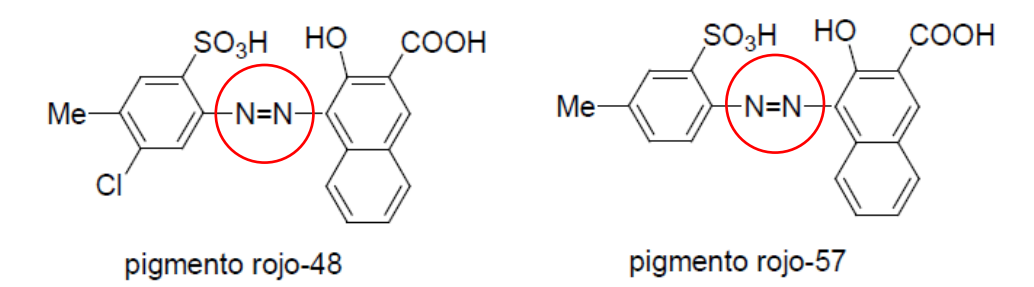
a) En un estudio realizado en la segunda mitad del siglo pasado, en Bruselas el Instituto Real de Patrimonio artístico realizó una prueba de la influencia de la luz en el brillo de barnices mate (con cera añadida) y brillantes. El estudio comparaba el nivel de deterioro que sufrirían ambos tipos de barnices utilizados en conservación y restauración sometidos a un fotoenvejecimiento que se realizaba manteniendo unos valores estables de temperatura a 32°C y 8000 lux, concluyendo que el brillo de los polímeros tiende a cambiar considerablemente durante el envejecido cuando no hay cera añadida a la fórmula. [2]
Cuando se añaden componentes a los barnices los procesos de difracción y reflexión son más intensos a nivel molecular y los cambios producidos por la REM es ligeramente más sutil que un barniz que permite una entrada total de la REM.

b) En un estudio realizado en UNIVATES enfocado en la degradación fotoquímica del pigmento rojo burdeos se utiliza la fotólisis directa con UV para destruir los enlaces —N=N— de los colorantes con grupos azo (grupo cromóforo), la destrucción de estos enlaces genera un 99% de decoloración, por lo que el tinte se desvanecía [3]. Reacción similar que da lugar al efecto de desvanecimiento del color observado en las pinturas de Mark Rothko [5] o las referenciadas de la National Gallery de Londres. La degradación en los compuestos azoicos catalizada por la REM se realiza en dos pasos principales: i) la destrucción del enlace N=N seguido de la mineralización parcial o total de los productos resultantes [6].

c) Un estudio realizado por la Universidad de Rio de Janeiro demostró que la combinación de peróxido de hidrógeno y radiación ultravioleta es efectiva para la remoción de los grupos cromóforos azoicos —N=N— a través de la generación de radicales libres OH· mediante un proceso oxidativo. [4]

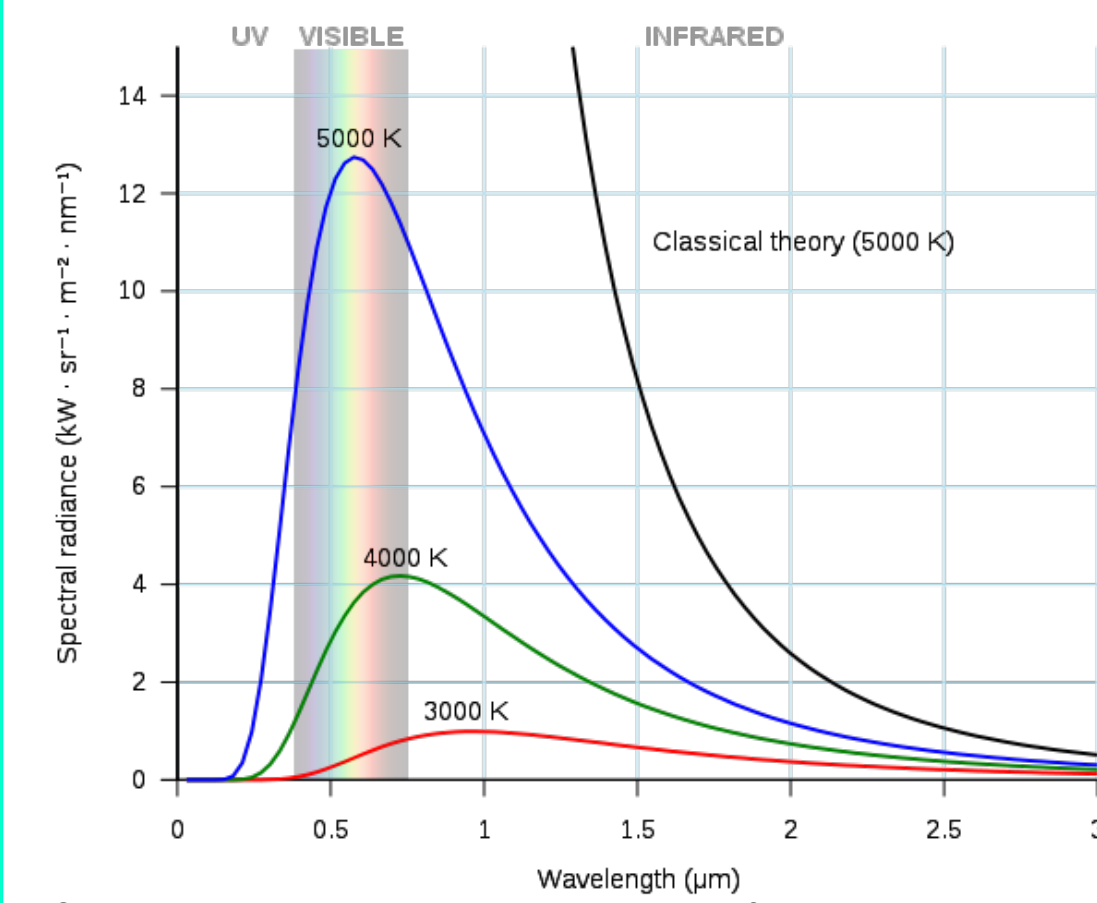
Los pigmentos laca, y cómo la REM puede alterar su estructura molecular

Los pigmentos laca, de naturaleza orgánica, son característicos por ser translúcidos y otorgar riqueza artística en la realización de una obra cuando son empleados a la hora de realizar veladuras. Pueden ser utilizados como mordientes en un sustrato (como puede ser un tejido, cuero, papel, plástico, alimentos, etc.), o mediante aglutinantes inertes, según el aglutinante aplicado obtendremos las diferentes técnicas pictóricas, el uso de goma arábica como aglutinante principal dará lugar a la acuarela, el huevo al temple, la goma tragacanto al pastel, el aceite al óleo, etc.



Los pigmentos laca serán clasificados en función del grupo funcional aportador del color, estos grupos funcionales serán denominados grupos cromóforos; grupos atómicos con doble enlace entre sí.

El impacto de la REM puede resultar en la destrucción de los grupos cromóforos de los pigmentos laca (En Azoicos: —N=N—), generando el fenómeno de *fading* y nuevas especies químicas de carácter alterante.



Curva de emisión radiante de cuerpos negros a diferentes temperaturas. En negro las predicciones de la física clásica anteriores a la ley de Planck. Imagen de la Darth Kule / Public domain consultada el 21/05/2020, dominio público. URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Black_body.svg

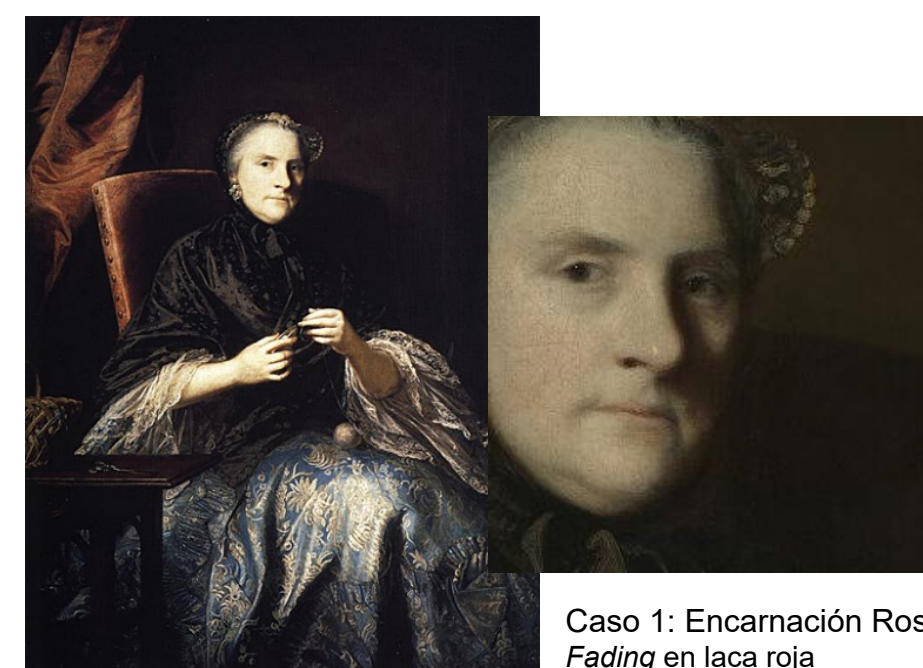
Monitorización del daño con dosímetros:

Los dosímetros trabajan principalmente en la reacción a dados agentes, que deberían seguir una dosis-respuesta similar o esperada en función al artefacto que se monitoriza. Los dosímetros pueden ser utilizados como herramientas de advertencia y evaluación precoz frente a los efectos de la radiación electromagnética, capaces de crear una cuantificación legible del deterioro producido por la REM.



Estándar ISO, el Blue wool Standard, usado para prever y cuantificar la tasa de desvanecimiento provocado por la exposición a la REM. Imagen extraída de Northeast Document Conservation Center (NEDCC)

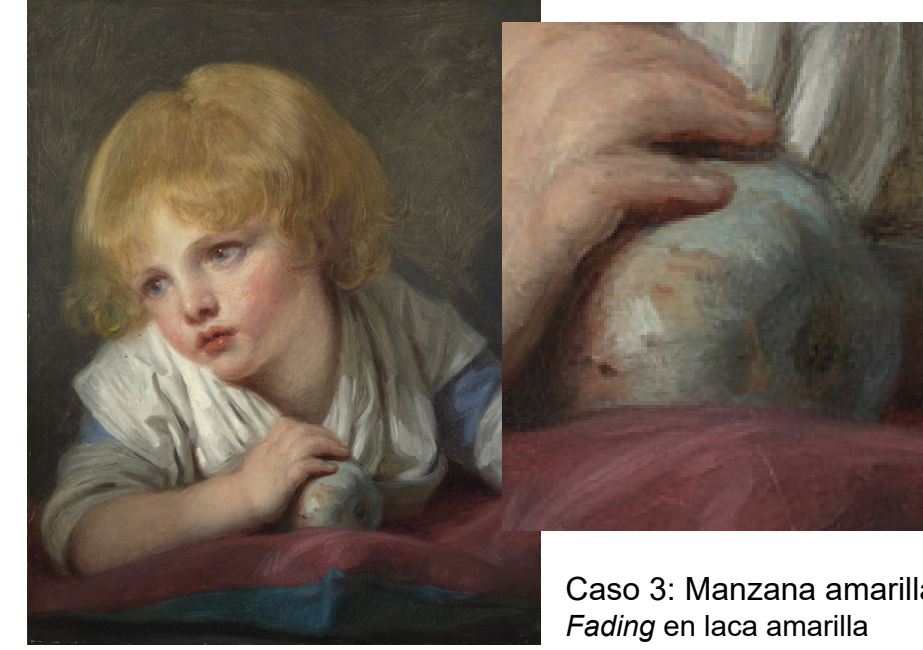
Casos reales



Caso 1: Encarnación Rosada
Fading en laca roja



Caso 2: Manto púrpura
Fading en laca roja (mezcla)



Caso 3: Manzana amarilla.
Fading en laca amarilla

Cómo aplicar correctamente un iluminante en la exposición de artefactos
Reconocimiento del artefacto, Estudio ambiental y capacidad biológica, Sistema de iluminación selectivo, Caracterización espectral y colorimétrica de arte de la muestra de color y el iluminante, Monitorización del artefacto.

Conclusiones

No podemos generalizar a la hora de priorizar o discriminar el tipo de iluminación aplicado, ya que, si bien es cierto que la radiación UV aporta mayor energía de activación como onda, las alteraciones producidas por la radiación IR engloban desde acción local hasta repercusiones ambientales.

Aunque el mecanismo de deterioro descrito en este trabajo está enfocado a los efectos de fading inducidos por la luz; no hay que dejar de tener en cuenta que el desvanecimiento inducido químicamente también es causado por la suma de numerosos efectos y magnitudes atmosféricas en diferentes variables (temperatura, HR, contaminación, capacidad biológica del entorno de exposición, etc.), lo que podría resultar en cambios en la apariencia cromática de artefactos y pinturas similar a las descritas anteriormente a causa de la REM (fading).

La protección de obras de arte frente a la REM puede ampliarse, no solo al control específico del iluminante empleado, sino a la aplicación de filtros para determinadas longitudes de onda o incluso mediante intervenciones, como la aplicación de barnices.

El proceso de restauración de una obra o artefacto también influirá a la hora de determinar la fuente de iluminación, ya que cada material presenta comportamientos diferentes frente a la acción de la luz, la respuesta a esta de las reintegraciones, tanto cromáticas como volumétricas realizadas con componentes diferentes a los que componen el artefacto, será diferente al conjunto global de este.

Con una elección bajo un criterio elaborado, puede aplicarse la iluminación como elemento de restauración, ya que se puede seleccionar una fuente de luz, o lámpara que dentro de una eficiencia media y una emisión de REM mínima proporcione una apariencia que incremente la saturación del color en casos oportunos sin dañar el artefacto o intervenir directamente si no fuera posible u oportuno, modulando los valores de CRI y SPD.

Bibliografía

- [1] BALLARD, M. W., BOLIN, C., OHNO, Y., MCCLEAN, T., & LENA, N. (2015). LED Lighting in Museums: Conservation and Color of Textiles. In 2015 Proceedings of AATCC International Conference. American Association of Textile Chemists and Colorists.
- [2] DE WITTE (1975). The influence of light on the gloss of matt varnishes. ICOM Committee for Conservation. 4th Encontro Trienal, Venecia. 88888
- [3] CRISTIANO POCHMANN DA SILVA, SANDRO MARMITT, CLAUS HAETINGER, & SIMONE STULP (2008). Avaliação da degradação do corante vermelho bordeaux através de processo fotoquímico, Engenharia Sanitaria e Ambiental, 13(1), 73-77, Rio de Janeiro. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-4152200800100010>
- [4] ARAUJO, F. V. D. F., YOKOYAMA, L., & TEIXEIRA, L. A. C. (2006). Remoção de cor em soluções de corantes reativos por oxidação com H₂O₂/UV. Química nova, 29(1), 11-14.
- [5] STANDEVEN, H. A. (2008). The history and manufacture of lithol red, a pigment used by Mark Rothko in his Seagram and Harvard Murals of the 1950s and 1960s. Tate Papers, 10, 1-8.
- [6] MARTINEZ ALVAREZ, G. (2017). Degradación de contaminantes provenientes de la industria textil mediante partículas metálicas de aleaciones Al-Ca (Bachelor's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya).

Espectro visible por el ojo humano (Luz)

