

# **Diagnóstico por imagen en bandas no visibles sobre patrimonio cultural**

José Manuel Pereira Uzal

## **Agradecimientos**

Este trabajo fue concebido en gran medida dentro del trabajo de fin de máster (TFM) del Máster en Valoración, Xestión e Protección do Patrimonio Cultural de la Universidad de Vigo. Quiero expresar por tanto, mi agradecimiento a todos los profesores y tutores que han intervenido en dar forma a dicho trabajo. Expresar también mi agradecimiento a Lino García Morales (Universidad Politécnica de Madrid) por los comentarios y sugerencias a la presente versión.

# Contenidos

1. **Introducción a la imagen científica en patrimonio cultural**
  - 1.1. Introducción
2. **Introducción a las bandas no visibles**
  - 2.1. Regiones del espectro por longitudes de onda y zonas temáticas
  - 2.2. Comportamiento de la energía en los cuerpos: reflectancia, absorbancia y transmitancia.
  - 2.3. Fluorescencia
3. **Generalidades en captación de imagen**
  - 3.1. Tipos de cámaras
  - 3.2. Cámaras DSLR modificadas
  - 3.3. Tecnología de filtrado
  - 3.4. Tipos de lentes
4. **Muestras de referencia**
  - 4.1. Calibración de dispositivos
5. **Fuentes de luz**
  - 5.1. Introducción
  - 5.2. Tipos de fuentes de iluminación
  - 5.3. Iluminación y conservación
  - 5.4. Filtros y modificadores
  - 5.5. Uniformidad en la iluminación

## **6. Imagen en la región del infrarrojo**

- 6.1. Introducción a la banda del infrarrojo
- 6.2. Reflectografía infrarroja en obra pictórica
- 6.3. Imagen infrarroja en el estudio de la vegetación
- 6.4. Otros usos de la reflectografía infrarroja
- 6.5. Fluorescencia Infrarroja
- 6.6. Filtros para Infrarrojo

## **7. Termografía**

- 7.1. Introducción
- 7.2. Fundamentos
- 7.3. Tipos de termografía
- 7.4. Aplicaciones de la termografía en patrimonio cultural

## **8. Imagen en la región del ultravioleta**

- 8.1. Introducción a la banda del ultravioleta
- 8.2. Reflectografía Ultravioleta
- 8.3. Fluorescencia Ultravioleta
- 8.4. Iluminación en la región del ultravioleta
- 8.5. Filtros para el ultravioleta
- 8.6. Tipos y características de lentes
- 8.7. Aplicaciones de la imagen ultravioleta

## **9. Imagen multiespectral**

- 9.1. Fundamentos de la imagen multiespectral
- 9.2. Captura multiespectral
- 9.3. Captura multiespectral y formación del color
- 9.4. Experiencias en el campo del patrimonio cultural

## **10. Análisis de imagen**

- 10.1. Introducción
- 10.2. Decorrelación
- 10.3. Correlación
- 10.4. Mejora del contraste
- 10.5. Contraste y ruido

11. **Representación en falso color**

12. **Bibliografía**

13. **Índice Analítico**

# **1 Introducción a la imagen científica en patrimonio cultural**

## **1.1. INTRODUCCIÓN**

Desde casi sus inicios la fotografía ha encontrado un importante nicho en la documentación de bienes culturales, tanto para su divulgación, investigación como para su diagnóstico o preservación.

La imagen digital es una importante herramienta para la preservación de la información que describe una obra, es decir, del valor informativo o científico de la misma (Ballart-Hernández 1997). En términos de documentación, como preservación se entiende el asegurar el acceso a la información (Edmonson 2002), por tanto, la imagen digital, no garantiza el acceso a la obra, o a su valor simbólico, pero sí asegura el acceso a su valor científico.

Mientras que la información del color, es uno de los principales atributos por el que se percibe un bien cultural u obra de arte desde el sistema de percepción del ser humano, la información aportada en bandas no visibles, es igualmente descriptiva de la obra, salvo que fuera de la percepción de este.

Como imagen científica se debe entender aquella que es realizada bajo un método científico, y no aquella que tiene por objeto la ciencia (Pereira-Uzal 2013). Así, la imagen digital como dato, o evidencia de unas determinadas formas de alteración o técnica de elaboración lo es, en cuanto se

tiene la certeza sobre el método que ha dado lugar dicha imagen. De forma que el dato en sí, no posee validez por sí mismo, sino que es el propio método de producción que le aporta dicha cualidad. (Pereira-Uzal 2017).

El presente trabajo se aborda como una aproximación al estado de la cuestión en materia de imagen no visible y multiespectral en el sector de los bienes culturales y obras de arte en general, con el fin de definir unos principios metodológicos comunes, que no solo persigan la obtención de resultados visuales atractivos, sino, unos resultados que puedan ser valorados desde un punto de vista multidisciplinar de forma inequívoca. El objeto de dicha propuesta debe ser plantear los trabajos de imagen digital en un contexto científico con el fin de asegurar la repetitividad de procesos, uno de los pilares del control de calidad industrial, así como del método científico, y la comprensión de los mismos por parte de toda la comunidad de profesionales de la conservación de bienes culturales.

De esta forma, este texto no pretende ser un manual de procedimientos, aunque muchas reflexiones si pueden ser constitutivas de tal propósito, sino que pretende abordar los fundamentos de las técnicas que dan lugar a la formación de la imagen en las diferentes regiones del espectro y los equipos más comunes disponibles en el mercado. Así como, poner en valor, y hacer una revisión del ingente conocimiento que se ha generado sobre este tema, desde prácticamente los años 70, conocimiento, que a pesar de estar forjado en una época donde la película fotográfica y el vídeo analógico dominaban el mercado, es igualmente relevante para comprender muchos de los fenómenos a los que nos enfrentamos en la época digital.

## **2 Introducción a las bandas no visibles**

### **2.1. REGIONES DEL ESPECTRO POR LONGITUDES DE ONDA Y ZONAS TEMÁTICAS**

La región del espectro electromagnético accesible por el sistema de visión del ser humano, es particularmente reducida y está comprendida aproximadamente entre los 390nm y 750nm. Esta región es la que da lugar a la formación del color, en función al modelo de tricromaticidad rojo, verde y azul (R-G-B), en el cual se basa el sistema de visión del ser humano, compuesto por tres tipos de conos, o células especializadas en detectar longitudes de onda específicas. Así, cada cono tiene un pico de sensibilidad aproximado de 420-440nm para el azul, 534-555nm para el verde y 564-580nm para el rojo.

Esta situación indica, que el ser humano no solo no puede acceder más allá de los límites de dicha región “visible” sino que tampoco, es capaz de procesar dicha región de forma continua, sino que en cierta manera, lo hace de forma discreta accediendo a las regiones de relevancia para la construcción del color en base a al sistema de visión humano.

Más allá de la región visible, se extienden las regiones aledañas, como es el infrarrojo caracterizado por un incremento en la longitud de onda, es decir de 750nm en adelante, y la región ultravioleta caracterizada por un

decrecimiento de la longitud de onda por debajo de los 390nm.

Dentro de la región del infrarrojo se pueden establecer diferentes subregiones, que pueden estar abordadas de forma muy dispar en función del autor, institución o área del conocimiento.

Por lo cual, este punto está referido a la *ISO 20473:2007 Optics and photonics -- Spectral bands* según lo cual las diferentes regiones del infrarrojo pueden ser descritas como:

Infrarrojo	Near IR	IR-A	NIR	780-1400nm
		IR-B		1400-3000nm
	Mid IR	IR-C	MIR	3000-50.000nm
	Far IR		FIR	50.000-106nm

**Tabla 2.1.** Regiones características del IR según la ISO 20473:2007

Sin embargo, con frecuencia, también se habla de la región VNIR (*Very Near Infrared*) como la región comprendida entre los 750nm y 1000nm ya que es una banda característica de la sensibilidad de algunos sensores comunes (sensores de silicio tipo CMOS o CCD). De igual forma, se acostumbra a hablar del SWIR (*Short Wave Infrared*) como situado entre los 1400nm y 3000nm o el MWIR (*Mid Wave Infrared*) como el referido a la banda de los 3000nm a 5000nm y el LWIR (*Long Wave Infrared*) como el referido a la región de los 8000-14000nm, estos dos últimos, asociados con lo que se conoce también como infrarrojo térmico.

Cuando se describe el espectro electromagnético en regiones, con frecuencia aparecen las conocidas como zonas de baja transmisión del infrarrojo, causadas por la

absorción al IR del vapor de agua presente en la atmósfera como es la situada sobre los 5000-8000nm, u otros gases como el CO<sub>2</sub>. Estas ventanas dificultan en gran medida el estudio de fenómenos en dichas longitudes de onda.

Dentro de la región del ultravioleta, sucede una situación parecida, siendo la clasificación más aceptada la recomendada por la *ISO 20473:2007* y comúnmente aceptada:

- UV-A (*Near UV*) que comprende de los 315nm a los 480nm
- UV-B (*Mid UV*) que comprende de los 280nm a los 315nm
- UV-C (*Deep UV*) que comprende de los 190nm a los 280nm

## **2.2. COMPORTAMIENTO DE LA ENERGÍA EN LOS CUERPOS: REFLECTANCIA, ABSORBANCIA Y TRANSMITANCIA.**

Cuando la radiación electromagnética en determinadas longitudes de onda (visible, infrarrojo o ultravioleta) colisiona contra un objeto, pueden darse diversos fenómenos:

Desde el punto de vista de la radiometría, la energía puede ser reflejada, absorbida o transmitida.

La reflectancia se define como la relación entre el flujo radiante reflejado ( $P_r$ ) y el flujo radiante incidente ( $P_i$ ). La reflectancia, en términos de imagen es, por oposición a la absorbancia, que como se verá después, la responsable de la formación de la imagen, y en consecuencia del color.

$$R = P_R / P_I$$

La transmitancia es la relación entre el flujo radiante transmitido ( $P_T$ ) y el flujo radiante incidente ( $P_I$ ). Es decir, es la cantidad de energía que es capaz de traspasar un cuerpo.

$$T = P_T / P_I$$

**Nota 2.1.** En este trabajo se usa preferentemente el término reflectografía como aquel referido a la imagen formada en el UV o IR, reservando el término fotografía, para la imagen formada en la región del visible.

A medida que se alarga la longitud de onda, disminuye la absorción, es decir, aumenta la transmitancia, de forma, que la energía absorbida y reflejada es menor que la transmitida, convirtiendo un objeto en transparente o translucido a determinadas longitudes de onda. Este es el fenómeno responsable de la observación de eventos subsuperficiales gracias a las reflectografías infrarrojas.

La absorbancia es la cantidad de energía incidente que es absorbida, y en general, convertida a otra forma de energía como puede ser el calor.

La absorbancia puede ser expresada comúnmente a través de la **ley de Beer-Lambert** como:

$$A = -\log_{10}(P_T / P_I)$$

O lo que es lo mismo:

$$A = -\log_{10}(T)$$

$$A = \log_{10}(1/T)$$

Es decir, la absorbancia guarda una relación no lineal con la transmitancia. Otros autores (Kinoshita, 2008) han expresado la absorbancia de forma lineal de manera que  $A = 100 - (T + R)$

La relación entre reflectancia, absorbancia y transmitancia y energía incidente ( $P_i$ ) viene dada por:

$$P_i = R + T + A$$

En general, la imagen se forma a través de los fenómenos de reflectancia y absorbancia, de forma que un cuerpo que absorbe toda la energía que llega a él se muestra como negro y uno que refleje toda la energía se muestra como blanco. Y compuestos que presenten una alta transmitancia, permiten observar fenómenos subsuperficiales por reflectancia o absorbancia de los compuestos que subyazcan bajo estos.

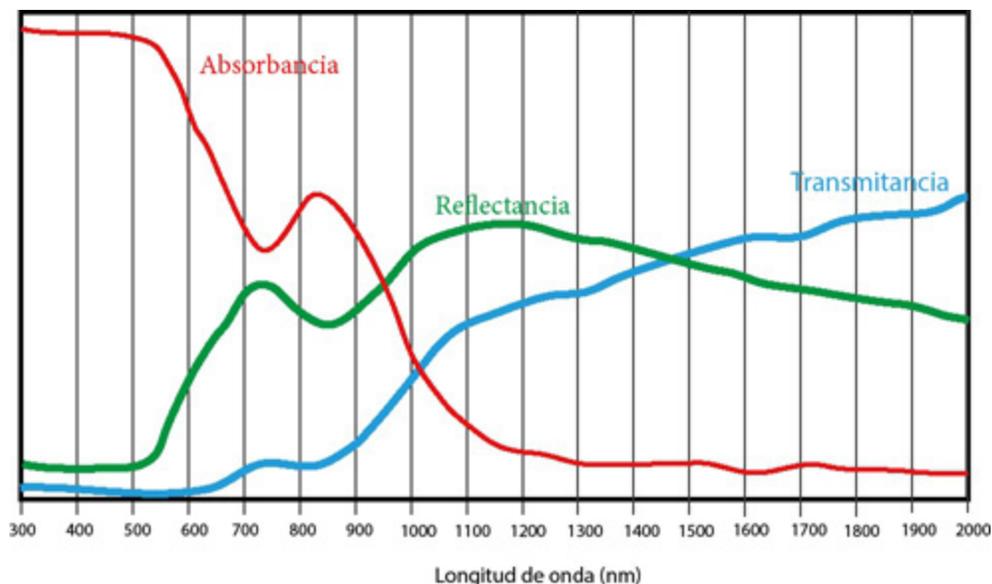
La reflectancia, absorbancia y transmitancia son dependientes de la longitud de onda del flujo de energía. De esta forma, cada compuesto presenta diferentes cualidades de reflectancia, absorbancia y transmitancia a lo largo de las diferentes longitudes de onda, dando lugar a un comportamiento característico que puede presentarse como patrón para su identificación (huella espectral).

Así, un compuesto de color rojo, como puede ser un óxido de hierro, se presenta como tal ante el sistema de visión humano, porque refleja energía en longitudes de onda largas, entorno a los 600-700nm mientras que absorbe en el resto del espectro 400-600nm.

Desde el punto de vista geométrico la reflectancia puede presentarse como:

- **Reflexión especular**, cuando el haz de luz es reflejado en una única dirección del espacio en el mismo ángulo del haz incidente. Este tipo de reflexión está relacionada con materiales con un comportamiento próximo a un espejo o material extremadamente pulido.
- **Reflexión difusa**, cuando el haz es reflejado en múltiples direcciones del espacio de forma uniforme. Este tipo de comportamiento, sucede en materiales perfectamente mates, con una textura que permite la reflexión de la luz en todas las direcciones, es lo que se conoce como superficies lambertianas.

Así, estos fenómenos están relacionados con la longitud de onda y la rugosidad de la superficie, de forma que, cuando la rugosidad es menor que la longitud de onda, se produce la reflexión especular, y cuando esta es mayor se produce la reflexión difusa.



**Figura 2.1.** Relación entre los diferentes comportamientos de la energía: absorbancia, reflectancia y transmitancia, a lo largo de unas determinadas longitudes de onda

**Nota 2.2.** Los gráficos de distribución de la energía por longitud de onda (Spectral Power Distribution, SPD) de este trabajo se han planteado de forma figurada, para hacer hincapié en la relación de la energía con las diferentes longitudes de onda y no tanto sus intensidades absolutas, por tanto, están carentes de dimensión en el eje Y (ordenadas). Dicho eje puede ser expresado en diferentes unidades tales como  $W\ nm^{-1}\ m^{-2}$  o simplemente, unidades relativas (0-1).

Sin embargo, este tipo de reflexiones, salvo materiales muy particulares, son meramente teóricas ya que los materiales comunes poseen comportamientos intermedios a estas dos situaciones. Es lo que se conoce como los modelos BRDF (*Bidirectional Reflectance Distribution Function*) es decir, mientras en la reflexión difusa perfecta, el ángulo de incidencia es descartado, la gran mayoría de materiales considerados difusos poseen componentes especulares que contribuyen a la percepción de dicha reflexión difusa. Así, materiales como la vegetación o las obras de arte, poseen comportamientos complejos a la luz, donde el ángulo de incidencia condiciona fuertemente la percepción que se tiene de ellas. Así, la reflectancia está condicionada al ángulo del haz incidente, la textura y la longitud de onda.

De esta forma, el brillo que se forma en la superficie de un material tiene una contribución, por ejemplo, en la percepción del color en función del ángulo de incidencia del haz de luz y la textura del material. O la reflexión especular puede inducir a estimaciones erróneas sobre la emisividad de un material durante un estudio con imagen térmica.

## **2.3. FLUORESCENCIA**