

La preservación de las fotografías cromógenas: perspectivas de monitoreo

*Felipe Queiroz Corrêa e Castro, Beatriz Martinez Navarro
Casa de Oswaldo Cruz (FIOCRUZ), Centre de la Imatge i la Tecnologia
Multimèdia (UPC)*

Introducción

Los primeros procesos fotográficos en color se remontan a la segunda mitad del siglo XIX y principios del XX, pero con el surgimiento de la fotografía cromógena en 1935, mediante la película Kodachrome, se observa un vertiginoso crecimiento del número de imágenes producidas en color durante la década de 1960, alcanzando su máximo en las décadas siguientes¹. Las impresiones cromógenas, condensan una gama muy amplia de materiales, ya sea en relación con los soportes, las capas de revestimiento, los procesos de revelado o la composición química de los colorantes y acopladores. Sin embargo, todos ellos se basan en el principio de la tricromía e en el sistema sustractivo. En general, los papeles y películas cromógenas presentan su estructura dividida entre un soporte y tres capas consecutivas de gelatina de plata, cada una con acopladores responsables por la creación de los colorantes cian, magenta y amarillo durante el proceso de revelado. Fabricantes como Kodak, Fuji, Agfa, Konica y otros han lanzado una gran variedad de películas y papeles, que representaban hasta hace poco cerca del 99%² de todas las fotografías producidas en color.

Debido a la naturaleza orgánica inestable de los colorantes que forman la imagen, este proceso fotográfico se degrada muy rápidamente y de forma irreversible si no se conserva en ambientes con parámetros³ muy estrictos de temperatura, humedad relativa, protección contra la luz y contaminantes atmosféricos. Sin estas condiciones establecidas, el desvanecimiento de los colorantes puede alcanzar grados significativos en menos de 25 años⁴. Salvo casos aislados, podemos afirmar que, en comparación con otros procesos fotográficos, como las impresiones en gelatina de plata, las fotografías cromogénicas tienen un horizonte de conservación más restrictivo y son extremadamente susceptibles cuando se exponen a la luz visible y UV durante largos períodos. Por consiguiente, en la planificación y gestión de las exposiciones en museos o galerías se deben considerar las cantidades de luz que cumplan las normas elaboradas por las instituciones de investigación, dada la inestabilidad de los elementos que componen las imágenes y los riesgos inherentes a la exhibición de los objetos fotográficos, más aún los de origen cromógeno⁵. Otra condición expresiva para la conservación de estas fotografías es la diversidad de tecnologías empleadas por los

distintos fabricantes. Durante el desarrollo técnico se descubrieron materiales y procedimientos que garantizaban una mayor estabilidad y retrasaban la decoloración temprana de los colorantes, pero su preservación sigue dependiendo principalmente del control de los vectores de deterioro antes mencionados.

Sin embargo, existen distintas formas en que se expresan las alteraciones cromáticas y que están directamente asociadas al predominio de un determinado tipo de agente de deterioro, así como al tipo de elemento sobre el que actúa -colorantes o acopladores presentes en la emulsión. Grosso modo, estas variables inciden en la reducción de las capas de colorantes, además de ocasionar la manifestación de manchas amarillas (*yellow stain*) debido a la alteración de las moléculas de los acopladores residuales. De este modo, podemos dividir los procesos de degradación que se producen en presencia de luz de los que suceden en la oscuridad. Como se ha mencionado anteriormente, tanto la luz visible como la ultravioleta (UV) tienen un impacto nocivo en las fotografías cromógenas, actuando rápidamente y de forma más pronunciada en los detalles de la imagen y en las zonas de claridad, es decir, en las regiones de menor densidad de colorantes. En cuanto a las degradaciones que se producen en la oscuridad, dependientes de la temperatura y la humedad relativa, presentarán cambios homogéneos y lentos tanto en las zonas oscuras de la imagen como en las claras, ya que las reacciones actúan proporcionalmente a la densidad de color de las capas. Estos procesos se desencadenan principalmente por reacciones de hidrólisis y óxido-reducción⁶. La existencia de amarillamiento es una característica recurrente del deterioro en la oscuridad, aunque también se produce en menor grado debido a la incidencia de la luz. Teniendo en cuenta que la tasa de degradación de cada capa se produce de forma no uniforme, es habitual que las imágenes muestren variaciones totales en el equilibrio del color. En los casos en que la capa cian se altera más rápidamente, por ejemplo, la foto tiende a volverse más rojiza o rosada. En cambio, en las fotografías en las que la capa más sensible es la del color magenta, la imagen se desplaza hacia tonos más azules o verdes.

Aunque ya se dispone de metodologías para monitorear el desvanecimiento del color, sistematizadas mediante el uso de densitómetros o colorímetros y espectrofotómetros, éstas resultan onerosas para la mayoría de las instituciones de preservación, especialmente los museos y los archivos comunitarios. Así, el siguiente trabajo pretende dilucidar los procesos de monitoreo del cambio cromático de las impresiones cromógenas en color por medio de procesos de digitalización y procesamiento de imágenes que utilizan tecnologías más accesibles, como los escáneres de sobremesa y las cámaras digitales (DSLR o Mirrorless). Estos nuevos

enfoques⁷ han demostrado una perspectiva optimista capaz de informar y cuantificar los cambios con cierto grado de precisión.

La aplicación de estos métodos de monitoreo ofrece ventajas productivas y económicas, ya que pueden incorporarse a la planificación estratégica de la digitalización de las instituciones, aprovechando el marco tecnológico empleado en este sentido. Otro beneficio que se vislumbra en el horizonte de este planteamiento es la posibilidad de realizar análisis específicos en determinados segmentos de la imagen mediante el uso de herramientas de tratamiento digital. Este enfoque permite seguir de forma aislada el desarrollo de las degradaciones en las zonas claras, medias y oscuras, ya que las fotografías cromógenas sufren cambios de intensidades distintas según el tipo de agente de deterioro. Por lo tanto, basándose en las técnicas de digitalización y procesamiento de imágenes, es posible crear estrategias para visualizar e interpretar la evolución del deterioro del color de una imagen, haciendo más tangible esta evaluación para la toma de decisiones por parte de conservadores, galeristas y directores de instituciones, así como para difundir la importancia de la conservación del patrimonio fotográfico entre el público en general.

Breves consideraciones metodológicas

La metodología de monitoreo propuesta en este trabajo consiste en la utilización de dispositivos de captura digital debidamente caracterizados y calibrados en procesos de gestión del color que se apoyan en el uso de perfiles ICC. De este modo, estos equipos se convierten en instrumentos capaces de captar datos colorimétricos en sistemas de color uniformes como CIEL*a*b*, por ejemplo. A partir de las coordenadas CIEL*a*b* es posible cuantificar las diferencias entre un color y otro, una evaluación que, en general, es difícil de determinar con precisión sólo por medio del análisis visual, dado el carácter subjetivo y adaptativo de la percepción visual humana. Estas diferencias cromáticas se expresan en términos de ΔE^*_{00} , considerando en este estudio que los valores superiores a 1,5 indican cambios perceptivos - *Perceptible Change*⁸ (PC). Otro sistema que podemos utilizar es el CIEL*C*h*, un espacio de color que parte del mismo diagrama CIEL*a*b*, pero desde coordenadas cilíndricas. En este sistema, L* indica la luminosidad (como en CIEL*a*b*), H* expresa la tonalidad (Hue) y C* la saturación (Chroma). De este modo se pueden identificar, por ejemplo, las variaciones cualitativas en términos de cambio de tonalidad ΔH^* o de saturación ΔC^* .

Con el fin de proponer un flujo de trabajo coherente y analizar la potencialidad de la metodología en cuestión, se desarrolló un enfoque experimental basado en procedimientos cuyo objetivo consiste en acelerar el deterioro de los colorantes y seguir su evolución en el tiempo. Para llevar a cabo este planteamiento empírico, se utilizaron

fotografías contemporáneas de dimensiones 10 x 15cm impresas digitalmente en papel Fujicolor Crystal Archive Type II. Al someter las muestras fotográficas a condiciones ambientales extremas, fue posible cuantificar las variaciones y calificarlas en función de las especificidades que tienen los deterioros por la luz o por niveles elevados de temperatura y humedad relativa. Estas muestras se almacenaron a una temperatura de 40 °C (± 5 °C), humedad relativa de 45% ($\pm 5\%$) y. A fin de complementar el diseño experimental, se utilizó una lámpara fluorescente de 6500 K y 20 W, capaz de generar unos 20 klux a una distancia de 3 cm. Para evitar la posible disección de la fotografía, utilizamos las recomendaciones de la norma ISO 18909:2006 que determina alternar períodos de exposición a la luz (3,8h) con períodos de oscuridad (1,0h) a la temperatura ambiente de 25 °C (± 5 °C) y humedad relativa del 80% ($\pm 5\%$). Las imágenes se expusieron a estas condiciones durante un total de 589 horas continuas, con 6 lecturas realizadas a intervalos de tiempo regulares.

Las imágenes fueron capturadas a través de una cámara Canon T3i con sensor CMOS, equipada con un objetivo de 50mm y un sistema de iluminación compuesto por dos fuentes de luz LED de aproximadamente 95 CRI y 5500K de temperatura. Para el procesamiento de las imágenes RAW y la evaluación de los datos colorimétricos utilizamos el software Capture One® y Adobe Photoshop®, respectivamente. En los archivos RAW utilizamos la curva de respuesta lineal "Capture One 20 Mechanism" y el perfil de calibración "Lens Cast Calibration" (LCC) creado para el objetivo de 50mm empleado. Las capturas con escáner, por su parte, se realizaron a través del dispositivo Epson Perfection V600, equipo que posee un sensor CCD e iluminación LED. Las imágenes se guardaron en formato TIFF con una resolución de 600ppi y los ajustes de captura se configuraron para que la curva de transición de luminancia fuera lo más lineal posible, sin aplicar ninguna corrección automática de color, brillo o contraste. Para el proceso de gestión del de color se empleó el uso de una carta de colores IT8.7/2 (ISO 12641-10) y la respectiva creación de los perfiles ICC utilizados en las imágenes captadas por el escáner y la cámara.

Los datos colorimétricos de regiones predefinidas de las imágenes (*Figura 1*) se analizaron antes y después de la exposición a las condiciones descritas anteriormente. La adquisición se realizó con los dispositivos de digitalización mencionados y también con un colorímetro portátil Color MUSE® con el fin de obtener datos de referencia más fiables y así poder trazar una perspectiva comparativa entre las lecturas de las capturas digitales. Se seleccionaron segmentos de la imagen con porciones de color uniformes y niveles de saturación distintos, correspondiendo el área de lectura de cada punto a un radio de aproximadamente 4mm.

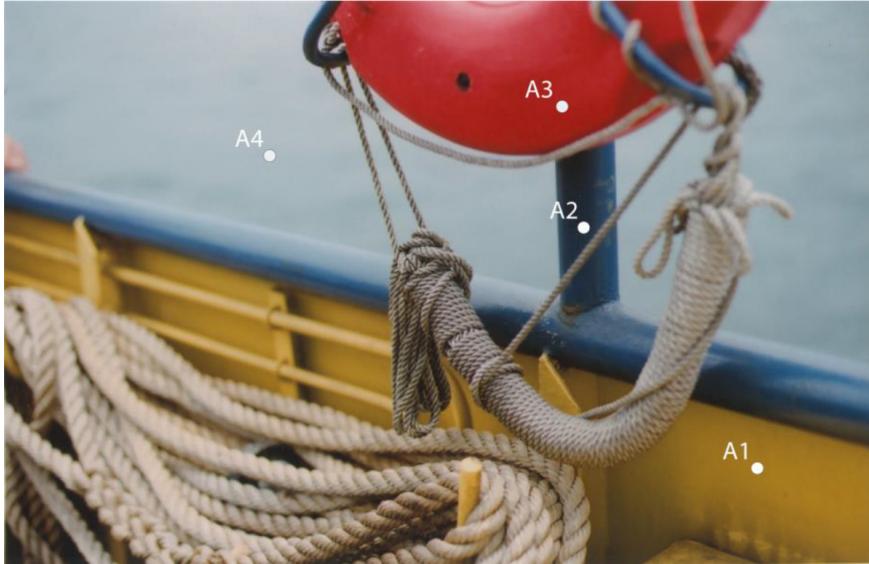


Figura 1: Impresión en papel fotográfico Fujicolor Crystal Archive Type II. Los puntos blancos (A1, A2, A3 y A4) representan, en escala, las regiones en las que se realizó la recogida de datos. (Fuente: elaboración propia).

En este trabajo, además, proponemos un modelo gráfico de visualización de los cambios cromáticos en función de su dispersión en las imágenes deterioradas (*Figura 2*). Utilizando las herramientas de tratamiento de imágenes del software Matlab, el modelo gráfico planteado atribuye, mediante una escala de colores, el valor individual de ΔE^*_{00} a cada píxel de la imagen. El cálculo se realiza a partir del registro y superposición de las capturas que se realizaron en la etapa anterior y posterior a los deterioros.



Figura 2: gráfico obtenido a partir de los resultados de las imágenes captadas con cámara digital. Las zonas amarillas indican las regiones de mayor variación ($\Delta E^*_{00} > 8$). (Fuente: elaboración propia).

Perspectivas y apuntes

El análisis de los resultados presentados por las metodologías citadas nos permite recopilar algunas consideraciones sobre el potencial del uso de este conjunto de técnicas, así como señalar sus limitaciones y posibles desarrollos. En primer lugar, es necesario destacar algunos puntos observados en el comportamiento de los dispositivos de digitalización, además de los valores registrados por el colorímetro portátil. Como se puede constatar en el comportamiento de los gráficos de la *Figura 3*, aunque los datos de ΔE^*_{00} en función del tiempo presenten curvas dispares en la correlación entre los dispositivos, las cuatro regiones de la imagen registran valores iguales o superiores a 1,5 al cabo de 475 horas, indicando así una perceptible variación de color (PC).

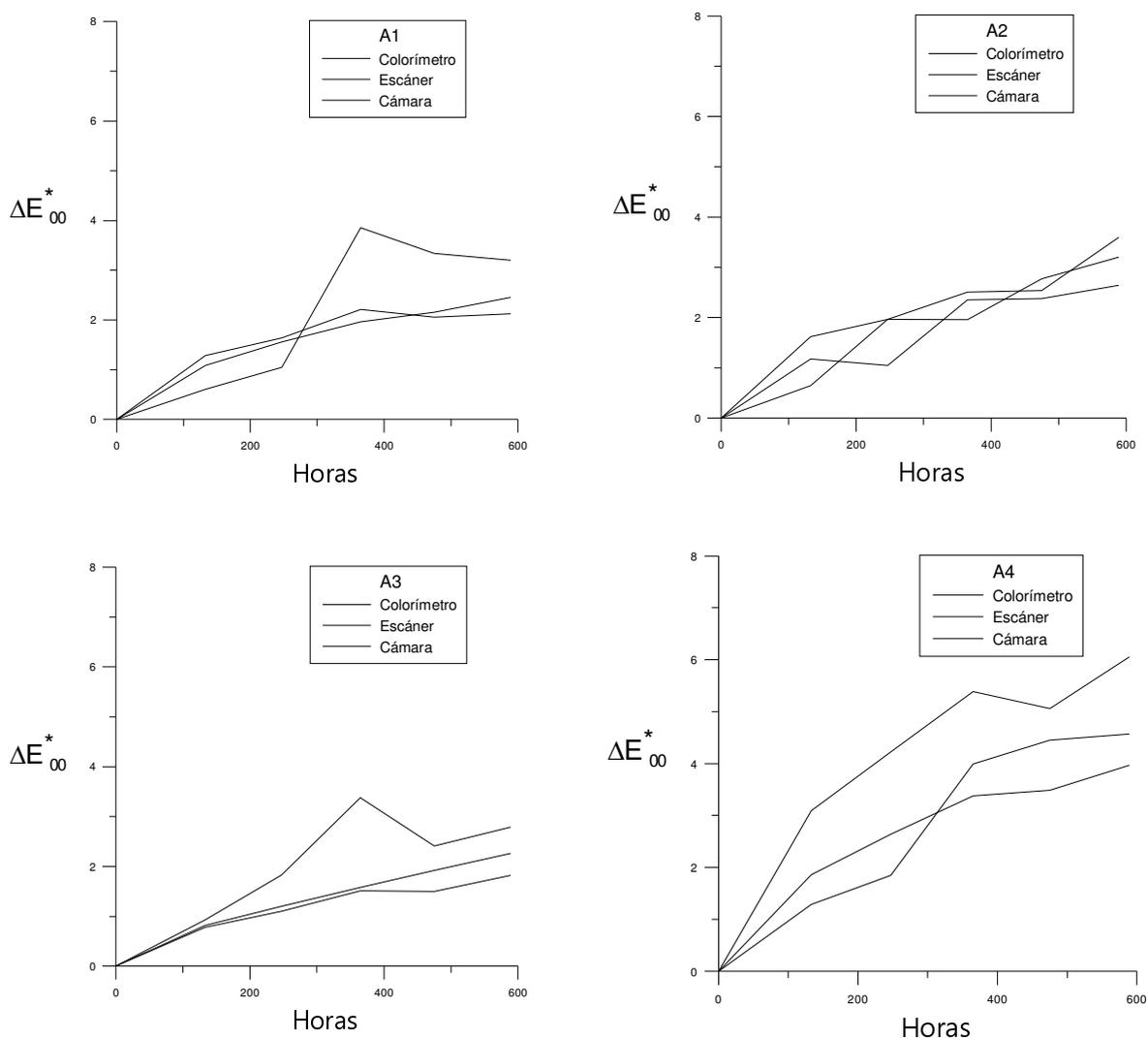


Figura 3: gráficos de los valores de ΔE^*_{00} en función del tiempo de exposición medidos por los dispositivos en las cuatro regiones (A1, A2, A3 y A4) de la imagen.

(Fuente: Elaboración propia)

Por otro lado, la curva correspondiente al colorímetro tiende a ser más rectilínea y uniforme en comparación con los otros dispositivos. El rendimiento de la cámara digital, en cambio, apunta a variaciones más bruscas en las lecturas a lo largo del tiempo. Una posible hipótesis para estos resultados puede estar relacionada con la inestabilidad de la luminosidad y la temperatura de color de las lámparas LED. Es importante señalar que la eficacia luminosa de esta fuente de luz decae en función del tiempo de calentamiento, pero se estabiliza después de un cierto período. El análisis del comportamiento y el tiempo de estabilización de las lámparas LED se llevó a cabo mediante la captura de un patrón de gris medio durante un intervalo de 2 horas. A continuación, se analizaron los valores de las coordenadas L^* . Así, podemos observar que la estabilización se produjo a partir de los 45 minutos de funcionamiento.

| | Colorímetro | | | | | Escáner | | | | | Cámara | | | | |
|----|-------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | ΔE^*_{00} | ΔL^* | Δa^* | Δb^* | ΔC^* | ΔE^*_{00} | ΔL^* | Δa^* | Δb^* | ΔC^* | ΔE^*_{00} | ΔL^* | Δa^* | Δb^* | ΔC^* |
| A1 | 2.45 | 2.24 | 2.08 | 0.82 | 1.30 | 2.11 | 1.66 | 2.24 | 0.66 | 1.18 | 3.19 | 3.15 | 2.32 | 0.66 | 1.25 |
| A2 | 3.20 | 2.57 | 1.80 | -1.71 | 1.86 | 3.60 | 3.13 | 1.94 | -1.77 | 1.57 | 2.64 | 2.93 | 1.08 | -1.66 | 1.95 |
| A3 | 2.26 | 2.26 | 3.10 | 0.59 | 2.95 | 1.82 | 1.50 | 1.91 | -1.39 | 0.73 | 2.78 | 2.94 | 3.62 | 1.49 | 3.82 |
| A4 | 3.97 | 3.24 | 2.58 | 0.20 | -1.71 | 6.05 | 1.72 | 4.31 | -2.52 | 0.57 | 4.56 | 4.62 | 2.09 | -1.10 | -0.08 |

Tabla 1: tabla con las variaciones en función de los valores ΔE^*_{00} y los ejes ΔL^* (brillo), Δa^* (componente rojo-verde), Δb^* (componente amarillo-azul) y ΔC^* (saturación).
(Fuente: Elaboración propia).

El análisis de los datos de ΔE^*_{00} presentados en la *Tabla 1* nos permite determinar la conformidad entre los dispositivos en cuanto a la degradación más pronunciada en la región A4. Estos valores pueden estar asociados a las características de los deterioros con la presencia de la luz, ya que la zona en cuestión presenta baja densidad de colorantes y, en consecuencia, se altera de forma más acelerada. Por otro lado, la región A2 indica valores elevados de ΔE^*_{00} , lo que contradice las expectativas de variaciones menores en las zonas de mayor densidad de imagen. Una de las posibles razones de este comportamiento reside en el diseño experimental adoptado. La distribución de la luz en la muestra fotográfica no era homogénea, favoreciendo una mayor intensidad de la acción de los rayos en las partes centrales de la imagen. Este fenómeno es especialmente evidente en la *Figura 2*.

En términos cualitativos, las variaciones en el eje a^* , como se observa en la columna Δa^* , apuntan hacia valores positivos en las cuatro regiones para los tres

dispositivos, indicando además una desviación cromática general de la imagen hacia tonos más rojizos. Este análisis es coherente con la ficha técnica⁹ presentada por el fabricante donde se indica la capa cian como la más sensible, la amarilla como intermedia y la magenta como la más estable. De este modo, el ritmo acelerado de disminución de la densidad en los colorantes cian confiere el predominio del rojo, expresado por el carácter residual de las capas amarilla y magenta.

Al contrastar el resultado de los tres instrumentos, observamos que en la región A3 se encuentra la discrepancia más acentuada entre el colorímetro y el par cámara/escáner, especialmente en relación con los ejes a^* y b^* . Este resultado puede estar asociado tanto a la curva de sensibilidad de los sensores como a la distribución espectral de las fuentes de luz, que no permite la reproducción adecuada de este color específico, especialmente a partir de un determinado límite de saturación del rojo. Para las capturas con la cámara, así como con el escáner, se utilizaron luminarias LED cuyo espectro es desconocido. Sin embargo, en general, los LED blancos son notoriamente ineficaces para reproducir rojos saturados¹⁰ porque los picos de la distribución espectral se concentran en la región azul y en la parte verde/amarilla. Incluso los LEDs con CRIs superiores a 95 pueden presentar esta ineficiencia si la respuesta para el color de referencia R9 (4,5R4/13) es baja.

Conclusiones

Las metodologías de control que se analizan en este trabajo presentan resultados preliminares pero prominentes que, sin duda, apuntan a nuevos estudios. Los caminos trazados por la investigación sugieren que el uso de equipos de digitalización puede proporcionar un análisis consistente para las pequeñas variaciones de color cuando se caracterizan los dispositivos a través de perfiles ICC u otros métodos similares. En este sentido, destacamos la necesidad de un flujo de trabajo controlado y documentado en detalle. Es necesario organizar y describir todo el proceso para que pueda volver a realizarse en diferentes circunstancias.

Sin embargo, el trabajo también demostró una serie de elementos clave que influyen en el grado de precisión y fidelidad de la monitorización. Podemos destacar tanto el control requerido sobre el flujo de trabajo como las características de las fuentes de luz. Esto último resultó especialmente importante cuando se utilizan cámaras digitales, sobre todo en lo que concierne al tiempo de estabilización de los LEDs. Antes de la captura, es interesante tener en cuenta los tiempos de equilibrio térmico de las fuentes de luz en el caso de las lámparas de emisión continua. La consideración sobre el CRI, en particular (R_i), fue un factor relevante que sucedió a la discusión sobre su influencia en la reproducción de colores de mayor saturación y cómo esto afecta a la

precisión de las lecturas colorimétricas. La experimentación con otras fuentes de luz, como el uso de flash o de lámparas de alto CRI (Ri), puede proporcionar soluciones más robustas. El proceso basado en el uso de una cámara digital también requiere un control estricto del flujo de trabajo, es decir, presupone una estación de digitalización muy estable, principalmente en cuanto a condiciones de luz (evitar la luz ambiente, los reflejos, las variaciones de intensidad, etc). Pero incluso en lo que se refiere al cálculo de la exposición, los parámetros de captación y los ajustes de procesamiento.

Cabe destacar la necesidad de un diseño experimental centrado en la homogeneización de la distribución de la luz. Para futuros estudios, también se sugiere utilizar espectrofotómetros o colorímetros de alta precisión, así como la realización de análisis en un número mayor y más diverso de muestras para asegurar la consistencia de los datos y los cálculos estadísticos de los errores inherentes al proceso de digitalización.

Por último, destacamos que el uso del modelo de visualización gráfica apunta a una serie de avances con relación a las estrategias de monitoreo. La posibilidad de observar las variaciones cromáticas de la imagen de forma global nos permite comprender el comportamiento de las degradaciones en un sentido ampliado. Además, el flujo de trabajo se vuelve más dinámico y productivo. En este sentido, serán convenientes futuras implementaciones en las que los modelos gráficos ofrezcan más datos, como el ΔE^*_{00} global de la imagen y otros valores asociados a la saturación o el brillo.

Referencias bibliográficas

¹ PÉNICION, Sylvie. Twentieth-century color photographs: Identification and care. Los Angeles: Getty Conservation Institute, 2013.

² FENECH, Ann; STRLIČ, Matija; CASSAR, May. "The past and the future of chromogenic colour photographs: lifetime modelling using near-infrared spectroscopy & enhancement using hypoxia." *Applied Physics A*, 2012: 411-417.

³ Temperatura máxima de 2 °C con una humedad relativa máxima del 50% o temperatura máxima de 5 °C con una humedad relativa máxima del 40%. ISO 18923 Imaging materials—Polyester-base magnetic tape—Storage practices (Geneva: International Organization for Standardization), 2000.

⁴ REILLY, James M. Storage guide for color photographic materials: caring for color slides, prints, negatives, and movie films. Image Permanence Institute, 1998. Tiempo necesario para la pérdida de aproximadamente 30% de la densidad de las capas de colorantes si las condiciones de almacenamiento son de 24 °C y 50% de humedad relativa.

⁵ WILHELM, Henry; BROWER, Carol. The Permanence and Care of Color Photographs: Traditional and Digital Color Prints, Color Negatives, Slides, and Motion Pictures. Grinnell: The Preservation Publishing Company, 2013.

⁶ PAVÃO, Luis. Conservação de Coleções de Fotografia. Lisboa: Dinalivro, 1997.

⁷ SILVA, Joana; FERREIRA, Joana Lia; ANTÓNIO, Jorge; PAROLA, A. Jorge; LAVÉNDRINE, Bertrand. "New approaches for monitoring dye fading in chromogenic reversal films: UV-Vis spectrophotometry and digitisation." ICOM-CC 18th Triennial Conference Preprints, 2017: 4-8.

⁸ ASHLEY-SMITH, Jonathan; DERBYSHIRE, Alan; PRETZEL, Boris. "The continuing development of a practical lighting policy." 13th Triennial Meeting. Rio de Janeiro: ICOM Committee for Conservation, 2002. 3-8.

⁹ FUJIFILM. Product Information Bulletin: Fujicolor Crystal Archive Paper Type II. Consultado: 15.6.2022. <https://www.argentix.ca/specs/558.pdf>

¹⁰ HONG, S. C.; GWAK, S. T.; PARK, S.; LEE, G. J.. "Improvement of Color-rendering Characteristics of White Light Emitting Diodes by Using Red Quantum Dot Films." Current Applied Physics, 2021: 199-207.