

A DIAGNOSTIC APPROACH FOR UNDERSTANDING AND PRESERVING SILVER-BASED PHOTOGRAPHS

EL DIAGNÓSTICO COMO ENFOQUE PARA COMPRENDER Y CONSERVAR FOTOGRAFÍAS CON BASE DE PLATA

Katherine Sanderson ^{ID}, Silvia A. Centeno ^{ID*}, Catherine H. Stephens ^{ID}
The Metropolitan Museum of Art, United States

* silvia.centeno@metmuseum.org

Introduction

When a photograph is selected for exhibition, several factors must be considered. The primary question posed is: “can it be exhibited safely?” Inherent to this seemingly simple question are further considerations pertaining to the photographic process, the general stability of this type of photograph, the stability of this specific photograph, and selecting appropriate materials for safely displaying the photograph. These four main categories branch off further, creating a multi-faceted course of inquiry to arrive at the answer to the initial question.

Identification of the type of photographic process informs every other decision in the care of photographs, including decisions about exhibition

Introducción

Cuando se selecciona una fotografía para su exposición, se deben considerar varios factores. La pregunta principal que se debe plantear es: “¿se puede exponer de forma segura?”. Existen otras consideraciones inherentes a esta pregunta aparentemente sencilla que están relacionadas con el proceso fotográfico, la estabilidad general de este tipo de fotografía, la estabilidad de esta fotografía específica y la selección de materiales apropiados para exponer la fotografía de manera segura. Estas cuatro categorías principales a su vez se ramifican aún más, generando una investigación multifacética que permite dar respuesta a la pregunta inicial.

La identificación del tipo de proceso fotográfico rige la toma de decisiones en el cuidado de las fotografías,

and storage. Even an accurate assessment of the current condition depends on correct process identification, which begins with examination of the photograph under typical lighting conditions, with and without magnification. The image color, surface texture, thickness, among other factors, may often be enough to identify the processes and materials used to create a photograph. When visual examination is not adequate, non-invasive analytical techniques are used to identify the image material and other components.

Presented in this chapter is a diagnostic approach for understanding, displaying, and preserving silver-based photographs illustrated by case studies that exemplify the capabilities and limitations of methodologies used at different phases of the exhibition process: before, during, and after. Examples include three photographs made by two different photographic printing processes: gelatin silver and salted paper (Reilly, 1980; Reilly, 1986; Lavédrine, 2009). In addition, an overview of analytical techniques is provided to identify the composition, diagnose the potentially hazardous materials to be used near them, and predict the changes in the appearance of photographs. The reader is referred to the specialized bibliography for further details about these photographic processes, the relevant conservation and preservation issues, and the analytical techniques used.

Historical Background

Since photography's inception in 1839, the technical history of photography has been defined by constant experimentation and evolution, resulting in a broad variety of photographic processes employing a range of materials and techniques. Photographs are typically described according to their component materials. The earliest type

incluidas las decisiones sobre exposición y almacenamiento. Incluso la evaluación precisa del estado actual depende de la identificación correcta del proceso fotográfico, que comienza con el examen de la fotografía en condiciones de iluminación normales, con y sin aumento. El color de la imagen, la textura de la superficie, el grosor, entre otros factores, a menudo pueden ser suficientes para identificar los procesos y materiales utilizados para crear una fotografía. Cuando el examen visual no es suficiente, se utilizan técnicas analíticas no invasivas para identificar el material de la imagen y otros componentes.

En este capítulo se presenta un enfoque diagnóstico para comprender, exponer y preservar fotografías a base de plata utilizando casos de estudio que ejemplifican las posibilidades y límites de las metodologías utilizadas en las diferentes fases del proceso de exposición: antes, durante y después. Los ejemplos incluyen tres fotografías realizadas mediante dos procesos de impresión fotográfica diferentes: gelatina de plata y papel a la sal (Reilly, 1980; Reilly, 1986; Lavédrine, 2009). Además, se da una panorámica de las técnicas analíticas idóneas para identificar la composición, diagnosticar los materiales potencialmente peligrosos que se utilizan cerca de ellos y predecir los cambios en la apariencia de las fotografías. Así mismo se remite al lector a la bibliografía especializada para obtener más detalles sobre estos procesos fotográficos, sobre las cuestiones relevantes en materia de conservación y restauración, y acerca de las técnicas analíticas utilizadas.

Trasfondo histórico

Desde los inicios de la fotografía en 1839, la historia técnica de la fotografía se ha definido por la constante experimentación y evolución, lo que ha dado como resultado una amplia variedad de procesos fotográficos que emplean diferentes materiales y técnicas. Las fotografías se describen según los materiales

of photograph on paper is the salted paper print, which consists of dark, metallic silver particles embedded in the fibers of a paper support. With the exception of this early process, most subsequent photographic processes have a layered structure with three main components: a support, an organic binder layer, and an image material. The support is often made of paper, but may also be made of metal, glass, fabric, or synthetic polymer. On top of the support lies the organic binder layer, which is typically composed of either gelatin, albumen, or colloid. The image material is either embedded in the binder layer, or, in the absence of a binder, in the paper fibers. The most common image material for black and white photographs is metallic silver, but it may also be platinum, palladium, gold, or pigments (Reilly, 1986; Lavédrine, 2009).

By the turn of the 20th century, an additional layer containing barium sulphate was often added between the paper support and the binder layer (Fig. 1). This layer, the “baryta layer”, acts as a ground, smoothing out and brightening the support, allowing for a range of surface textures and tonalities in the photographic paper. Additionally, an organic coating may sometimes be present on top of the stratigraphy (McCabe, 2005; Reilly, 1986; Lavédrine, 2009), providing protection to the image material and modifying the surface texture and optical properties of the final print.

Despite the diversity of materials and techniques used, the vast majority of analog photographic processes have relied on the conversion of light-sensitive silver halides to metallic silver to form the image. Following exposure of the silver halides to light, the photograph is “fixed”; this important step chemically removes any unexposed light-sensitive material, leaving behind a stable metallic silver photographic image (Nebblotte & Sturge, 1977; Haist, 1979; Carroll et al., 1986).

que las componen. El tipo más antiguo de fotografía en papel es la impresión en papel a la sal, que consiste en partículas de plata metálicas oscuras incrustadas en las fibras de un soporte de papel. Con excepción de este proceso inicial, la mayoría de los procesos fotográficos posteriores tienen una estructura en capas con tres componentes principales: un soporte, una capa de aglutinante orgánico y un material con la imagen. El soporte suele estar hecho de papel, pero también puede estar hecho de metal, vidrio, tela o polímero sintético. Sobre el soporte se encuentra la capa de aglutinante orgánico, que normalmente se compone de gelatina, albúmina o colodión. El material con la imagen está incrustado en la capa de aglutinante o, en ausencia de un aglutinante, en las fibras del papel. El material más común para fotografías en blanco y negro es la plata metálica, pero también puede ser platino, paladio, oro o pigmentos (Reilly, 1986; Lavédrine, 2009).

A principios del siglo XX, a menudo se agregaba una capa adicional que contenía sulfato de bario entre el soporte de papel y la capa de aglutinante (Fig. 1). Esta capa, la “capa de barita”, actúa como fondo, alisando y dando brillo al soporte, permitiendo una gama de texturas y tonalidades superficiales en el papel fotográfico. Además, a veces se puede encontrar un recubrimiento orgánico sobre la estratigrafía (McCabe, 2005; Reilly, 1986; Lavédrine, 2009), que brinda protección al material de la imagen y modifica la textura de la superficie y las propiedades ópticas de la impresión final.

A pesar de la diversidad de materiales y técnicas utilizadas, la gran mayoría de los procesos fotográficos analógicos se han basado en la conversión de haluros de plata sensibles a la luz en plata metálica para formar la imagen. Después de la exposición de los haluros de plata a la luz, la fotografía se “fija”; Este importante paso elimina químicamente cualquier material sensible a la luz no expuesto, generando una imagen fotográfica en plata metálica estable (Nebblotte y Sturge, 1977; Haist, 1979; Carroll, Higgins y James, 1986).

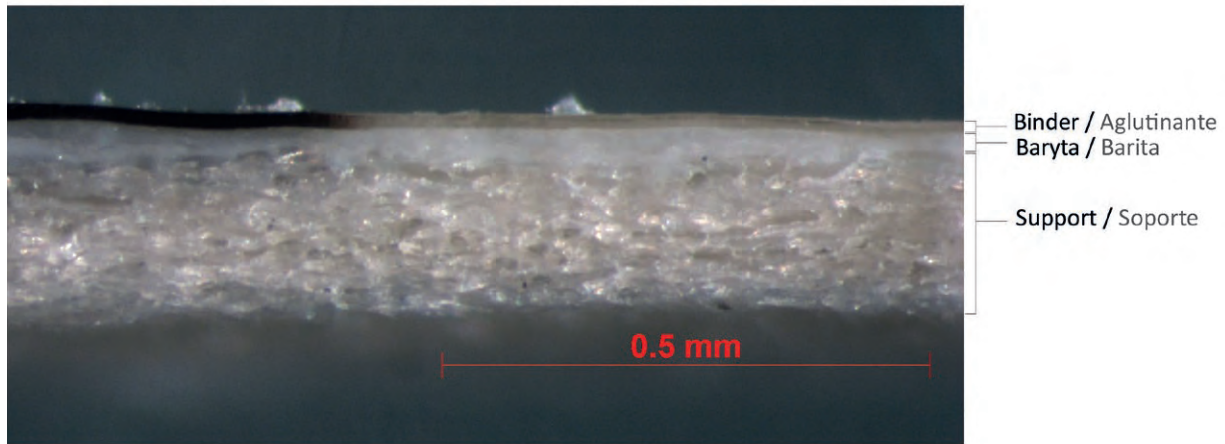


Figure 1 | Cross section of a gelatin silver print. The binder layer contains maximum density (left) and minimum density (right) areas. Photo credit: Elsa Thyss and Katherine Sanderson.

Figura 1 | Sección transversal de una impresión de plata en gelatina. La capa de aglutinante contiene áreas de densidad máxima (izquierda) y densidad mínima (derecha). Fotografía: Elsa Thyss y Katherine Sanderson.

Photographic Printing

According to the morphology of the image particles, silver-based photographs can be divided into two broad process categories: *printing-out* and *developing-out*. Printing-out processes are the earliest type of paper-based photographs, most common in the 19th century. They include salted paper, albumen, collodion, and gelatin silver printing-out prints (POP). The image is formed when light-sensitive silver halides on a piece of sensitized photographic paper are exposed to sunlight. Upon exposure to light, the colorless silver ions are reduced to black metallic silver image particles; these particles are also known as photolytic silver. The photograph “prints out” over the course of a long exposure in contact with a negative, visibly darkening with each passing minute of exposure to light. When the image is dark enough, the photograph is removed from light and processed, which involves fixing: using sodium thiosulfate to solubilize the remaining light-sensitive silver halides and then removing them in a final water wash (Reilly, 1980; Reilly, 1986; Lavédrine, 2009).

Impresión fotográfica

Según la morfología de las partículas de la imagen, las fotografías a base de plata se pueden dividir en dos amplias categorías de procesos: impresión y revelado. Los procesos de impresión son el tipo más antiguo de fotografías en papel, las más comunes en el siglo XIX. Incluyen impresiones de papel a la sal, albúmina, colodión y gelatina de plata (sus siglas en inglés son POP). La imagen se forma cuando un fragmento de papel fotográfico sensibilizado con haluros de plata fotosensibles se expone a la luz solar. Tras la exposición a la luz, los iones de plata incoloros se reducen a partículas de plata metálica ennegrecida generando una imagen; estas partículas también se conocen como plata fotolítica. La fotografía se “imprime” en el transcurso de una larga exposición en contacto con un negativo, oscureciéndose visiblemente con cada minuto que pasa en exposición a la luz. Cuando la imagen es lo suficientemente oscura, la fotografía se retira de la luz y se procesa, lo que implica fijar: usando tiosulfato de sodio para solubilizar los haluros de plata sensibles a la luz restantes y luego eliminándolos en un lavado final con agua (Reilly, 1980; Reilly, 1986; Lavédrine, 2009).

By the end of the 19th century, the developing-out gelatin silver process (DOP) had been invented and it quickly became the most commonly used black-and-white photographic process of the 20th century. These papers accommodate shorter exposure times and the formation of a “latent image”. During printing, the paper is exposed to light through a negative for mere seconds. The light reduces a small number of silver halides, forming photolytic silver particles that are not yet visible to the eye. The image only emerges when the seemingly blank sheet of exposed paper is immersed in a bath of developer. This step chemically reduces the unexposed silver halides in the areas where the tiny photolytic silver particles of the latent image have formed, resulting in large, irregularly-shaped formations of metallic silver; these formations are known as filamentary silver particles. As with printing out papers, the final step is fixing with sodium thiosulfate followed by a water bath (Nebblette & Sturge, 1977; Haist, 1979; Reilly 1980; Reilly, 1986; Carroll et al., 1986; Eaton, 1987).

The POP and DOP processes result in significant differences between the morphology of the silver image particles, which helps to distinguish them. Photolytic silver particles from the POP process are small, round, and relatively uniform in size and shape throughout a single photograph. By contrast, filamentary silver particles from the DOP process are significantly larger than photolytic particles and have an irregular shape. This difference in morphology affects the appearance of the prints: photographs with printed-out silver have a warmer, brownish image color while developed-out images tend to have a cool, neutral black tonality.

Stability of Photographs

Image particle size may have an effect on the long-term stability of a photograph. Smaller photolytic particles generated during the POP process

A finales del siglo XIX, se inventó el proceso de revelado de gelatina de plata (sus siglas en inglés son DOP) y se convirtió rápidamente en el proceso fotográfico en blanco y negro más utilizado del siglo XX. Estos papeles se adaptan a tiempos de exposición más cortos y a la formación de una “imagen latente”. Durante la impresión, el papel se expone a la luz a través de un negativo durante unos segundos. La luz reduce una pequeña cantidad de haluros de plata, formando partículas de plata fotolíticas que no son visibles a simple vista. La imagen solo emerge cuando la hoja de papel expuesto aparentemente blanca se sumerge en un baño de revelador. Este paso reduce químicamente los haluros de plata no expuestos en las áreas donde se han formado las diminutas partículas de plata fotolítica de la imagen latente, dando como resultado grandes formaciones de plata metálica de forma irregular; estas formaciones se conocen como partículas de plata filamentosas. Al igual que con la impresión de papeles, el paso final es la fijación con tiosulfato de sodio seguido de un baño de agua (Nebblette y Sturge, 1977; Haist, 1979; Reilly 1980; Reilly, 1986; Carroll et al., 1986; Eaton, 1987).

Los procesos POP y DOP dan como resultado diferencias morfológicas significativas entre las partículas de la imagen a base de plata, lo que ayuda a distinguir las. Las partículas de plata fotolítica del proceso POP son pequeñas, redondas y relativamente uniformes en tamaño y forma en una sola fotografía. Por el contrario, las partículas de plata filamentosas del proceso DOP son significativamente más grandes que las partículas fotolíticas y tienen una forma irregular. Esta diferencia en morfología afecta la apariencia de las impresiones: las fotografías con plata impresa tienen un color de imagen más cálido y marrón, mientras que las imágenes reveladas tienden a tener una tonalidad negra neutra y fría.

Estabilidad de las fotografías

El tamaño de las partículas de la imagen puede afectar la estabilidad a largo plazo de una fotografía. Las partículas fotolíticas más pequeñas generadas durante

are susceptible to deterioration through oxidation. This results in characteristic image fading and particular loss of detail in the lightest areas of an image. Filamentary silver particles from the DOP process are also susceptible to this type of deterioration, however the larger size of these image particles typically protects the image from the visible fading observed in printing-out photographs (Hendriks, 1991; Lavédrine, 2009).

Photographs are constantly changing in both appearance and composition. The binder can discolor, typically by yellowing to varying degrees, which affects the lightest areas of a photograph. The image material may also fade or shift in color. The type of change and its rate depends on the component materials and how they interact, not only with each other, but also with the surrounding environment. The relative stability of photographs may be loosely organized according to photographic process. For example, a salted paper print may change at a slightly faster rate than a gelatin silver developed-out print based on the characteristics of those two photographic process types (Severson, 1986; Lavédrine, 2009). An additional factor is how the individual photograph was made: if a gelatin silver print was poorly fixed during processing, it may change at a significantly faster rate than a well-processed salted paper print. Identifying the characteristics and vulnerabilities of a photograph through examination and analysis provides a deeper understanding of how it is likely to change in the future.

Analytical Techniques

As mentioned above, the techniques and materials used to create a photograph have a direct bearing on its stability and particular deterioration susceptibilities. Characterization of a print through

el proceso POP son susceptibles a deterioro por oxidación. Esto da como resultado el desvanecimiento característico de la imagen y una particular pérdida de detalles en las áreas más claras de la imagen. Las partículas de plata filamentosas del proceso DOP también son susceptibles a este tipo de deterioro; sin embargo, al ser de tamaño más grande estas partículas generalmente protegen la imagen del desvanecimiento visible observado en las fotografías impresas (Hendriks, 1991; Lavédrine, 2009).

Las fotografías cambian constantemente tanto en apariencia como en composición. El aglutinante puede decolorarse, generalmente produciendo diferentes grados de amarilleamiento, lo que afecta a las áreas más claras de una fotografía. El material de la imagen también puede desvanecerse o cambiar de color. El tipo de cambio y su velocidad depende de los materiales en su composición y de cómo interactúan, no solo entre sí, sino también con el entorno circundante. La estabilidad relativa de las fotografías se puede organizar en cierta manera en base al proceso fotográfico. Por ejemplo, una impresión de papel a la sal puede cambiar a un ritmo ligeramente más rápido que una impresión revelada en gelatina de plata en base a las características de dichos procesos fotográficos (Severson, 1986; Lavédrine, 2009). Un factor adicional es cómo se hizo la fotografía individual: si una impresión en gelatina de plata se fijó mal durante el procesado, puede hacer que el cambio se produzca a un ritmo significativamente más rápido que una impresión en papel a la sal bien procesada. La identificación de las características y de la vulnerabilidad de una fotografía mediante el examen y el análisis proporciona una comprensión más completa de cómo cambiará una fotografía en el futuro.

Técnicas analíticas

Tal y como se ha mencionado, las técnicas y materiales utilizados para crear una fotografía tienen una

both visual examination and technical analysis informs an appropriate preservation strategy, including conditions for storage and exhibition. A critical step in implementing an exhibition or storage plan also involves testing the materials used for framing, displaying, and storing photographs.

Visual Examination and Imaging

There are numerous ways to examine and analyze the physical structure and stability of a photographic print. Examination always begins with visual inspection using both the naked eye and a stereomicroscope to identify the various component parts of the photograph, assess the condition of the work, and determine whether the materials may have changed over time.

Non-invasive imaging techniques using different types of illumination reveal or help to visualize both subtle differences between materials and condition issues. Visible light photography with normal, raking, or specular illumination, ultraviolet A (UVA) induced visible luminescence, reflected UVA, transmitted infrared (IR), IR reflectography, and visible-induced infrared luminescence are among the myriad methods used to image photographs (Shugar et al., 2014; Kennedy et al., 2018; Chen & Smith, 2019).

Spectroscopic Techniques

Visual assessment is typically followed by the use of various non-invasive techniques to understand the composition of the photographic image. Traditional X-ray fluorescence (XRF) spectroscopy measured at single points is used to identify the elemental composition of the image materials, supports, and deterioration products (Stulik & Khanjian, 2003; Grieten & Casadio, 2010; Stulik & Kaplan, 2012; Vila & Centeno, 2013; Vila et al., 2013; Vila et al., 2014; Čechák et al., 2015; Sessa et al., 2016; Centeno et al., 2019; Barro et al.,

relación directa con su particular estabilidad y susceptibilidad al deterioro. La caracterización de una impresión mediante el examen visual y el análisis técnico ayuda a desarrollar una estrategia de conservación adecuada, incluido el diseño de las condiciones de almacenamiento y exposición. Un paso importante en la implementación de un plan de exposición o almacenamiento también implica estudiar los materiales utilizados en el enmarcado, exposición y almacenamiento de fotografías.

Examen visual e imágenes

Existen numerosas formas de examinar y analizar la estructura física y la estabilidad de una impresión fotográfica. El examen siempre comienza con una inspección visual utilizando tanto la vista como un microscopio estereoscópico para identificar los diversos componentes de la fotografía, evaluar el estado de la obra y determinar si los materiales pueden haber cambiado con el tiempo.

Las técnicas de imagen no invasivas que utilizan diferentes tipos de iluminación revelan o ayudan a visualizar tanto las diferencias sutiles entre los materiales como los problemas de conservación. La fotografía de luz visible con iluminación normal, rasante o especular, luminescencia visible inducida por ultravioleta A (UVA), UVA reflejada, infrarrojo transmitido (IR), reflectografía IR y luminescencia infrarroja inducida visible se encuentran entre los innumerables métodos utilizados para obtener imágenes fotográficas (Shugar et al., 2014; Kennedy et al., 2018; Chen y Smith, 2019).

Técnicas espectroscópicas

La evaluación visual suele ir seguida del uso de diversas técnicas no invasivas para comprender la composición de la imagen fotográfica. La espectroscopía tradicional de fluorescencia de rayos X (XRF) en análisis por puntos se utiliza para identificar la composición elemental de los materiales de imagen, soportes y productos de deterioro (Stulik y Khanjian, 2003; Grieten y Casadio, 2010; Stulik y Kaplan, 2012; Vila y Centeno, 2013; Vila et al., 2013; Vila et al., 2014; Čechák et al., 2015; Sessa

2020). More recently, the development of XRF mapping, or macro XRF (MA-XRF), has opened the possibility of obtaining elemental distribution maps with high spatial resolution (Kennedy et al., 2018; Howard et al., 2018).

Raman spectroscopy is also a well-established, non-invasive analytical method used in the molecular identification of components of photographic papers, pigments, and deterioration products (Centeno et al., 2008; Vila & Centeno, 2013; Sessa et al., 2016; Barro et al., 2020).

Non-invasive Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy in the reflection mode may also be used to identify the binders and coatings on photographs; however, when questions about the composition of organic materials is crucial and cannot be answered by non-invasive means, *in situ* attenuated total reflection (ATR) IR is applied or micro-samples are removed and FTIR in transmission or reflectance mode is utilized, sometimes followed by chromatographic techniques such as gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) (Derrick et al., 1999; McGlinchey et al., 2005; Vila & Centeno, 2013; Clarke et al., 2014; McClelland et al., 2019). When the stratigraphy of the samples must be preserved, cross-sections are prepared and analyzed using one or more of the following techniques: scanning electron microscopy-energy dispersive spectroscopy (SEM-EDS), optical coherence tomography (OCT) and FTIR-ATR (Clarke et al., 2014).

Paper Fiber Analysis

The image layers isn't the only component of a photograph that may be analyzed. The choice of paper substrate also provides vital information. Commercial photographic papers were sold in a variety of thicknesses, textures, gloss, and colors; photographers chose among them for aesthetic

et al., 2016; Centeno et al., 2019; Barro et al., 2020). Más recientemente, el desarrollo del mapeo por XRF, o macro XRF (MA-XRF), ha abierto la posibilidad a obtener mapas de distribución elemental con alta resolución espacial (Kennedy et al., 2018; Howard et al., 2018).

La espectroscopía Raman también es un método analítico no invasivo bien establecido que se utiliza en la identificación molecular de compuestos presentes en papeles fotográficos, pigmentos y productos de deterioro (Centeno et al., 2008; Vila y Centeno, 2013; Sessa et al., 2016; Barro et al., 2020).

La espectroscopía de infrarrojos por transformada de Fourier no invasiva (FTIR) en el modo de reflexión también puede usarse para identificar los aglutinantes y recubrimientos en fotografías; sin embargo, cuando las preguntas sobre la composición de los materiales orgánicos son cruciales y no pueden responderse por medios no invasivos, se aplica el IR de reflexión total atenuada (ATR) *in situ* o se toman micro-muestras para su análisis por FTIR en modo de transmisión o reflectancia, a veces seguido de técnicas cromatográficas como la cromatografía de gases-espectrometría de masas (GC-MS) (Derrick et al., 1999; McGlinchey et al., 2005; Vila y Centeno, 2013; Clarke et al., 2014; McClelland et al., 2019). Cuando es posible conservar la estratigrafía de las muestras, las secciones transversales se preparan y analizan mediante una o más de las siguientes técnicas: microscopía electrónica de barrido-espectroscopía dispersiva de energía (SEM-EDS), tomografía de coherencia óptica (OCT) y FTIR-ATR (Clarke et al., 2014).

Análisis de fibras de papel

Los estratos de la imagen no es el único componente que se puede analizar en una fotografía. La elección del sustrato de papel también proporciona información vital. Los papeles fotográficos comerciales se vendían en una variedad de espesores, texturas, brillo y colores; los fotógrafos elegían unos u otros por razones estéticas y prácticas (Messier, 2008; Messier, 2011; Messier, 2014;

and practical reasons (Messier, 2008; Messier, 2011; Messier, 2014; Clarke et al., 2014; Clarke et al., 2015). These characteristics, along with the sheet dimensions, fiber makeup, and the presence of components such as optical brighteners, are crucial pieces of information that are combined together with the elemental composition of the image layer or layers (Messier et al., 2005; Messier, 2011; Messier, 2014) to describe the full construction of a photograph.

When the removal of a microscopic sample for polarized light microscopy examination is possible, results of paper fiber analysis may be compared to information from reference collections of historic photographic papers (Messier, 2011). Alternately, close-up, raking light images acquired using a standardized microscope set-up are used to document the surface features of photographic papers, but given the number and diversity of textures used for historic papers throughout the history of photography, an automatic, computer-based classification of the texture is imperative (Johnson et al., 2014; Messier, 2014). Information on surface quality of the papers is also important as many artists moved away from commercially produced photographic materials and created unique works by combining chosen materials with specialized techniques (Vila et al., 2013). The choice of substrate will have a defining influence on the final appearance of the image.

Color Measurement

In addition to characterizing the component materials, other techniques are employed to characterize how photographs change in appearance with time. Possible methods of color measurement include the use of a spectrophotometer and a microfading-tester (MFT). Taking spectrophotometer readings on the same measurement site before and after periods of exhibition or storage is

Clarke et al., 2014; Clarke et al., 2015). Estas características, junto con las dimensiones de la hoja, la composición de la fibra y la presencia de componentes como abrillantadores ópticos, es información crucial que se combina junto con la composición elemental de la capa o capas de la imagen (Messier et al., 2005; Messier, 2011; Messier, 2014) para describir la estructura completa de una fotografía.

Cuando es posible extraer una muestra microscópica para el examen por microscopía de luz polarizada, los resultados del análisis de la fibra de papel pueden compararse con las referencias existentes en las bases de datos de colecciones de papeles fotográficos históricos (Messier, 2011). Por otro lado, las imágenes de primer plano adquiridas con un microscopio estándar con luz rasante se utilizan para documentar las características de la superficie de los papeles fotográficos, pero dada la cantidad y diversidad de texturas utilizadas para los papeles históricos a lo largo de la historia de la fotografía, se hace imperativo el uso de sistemas informáticos automáticos para la clasificación de la textura (Johnson et al., 2014; Messier, 2014). La información sobre la calidad de la superficie de los papeles también es importante, ya que muchos artistas evitaban el uso de materiales fotográficos producidos comercialmente y crearon obras únicas combinando materiales de su elección con técnicas especializadas (Vila et al., 2013). La elección del sustrato determina el aspecto final de la imagen.

Medición del color

Además de caracterizar la composición de los materiales, se emplean otras técnicas para caracterizar cómo las fotografías cambian de apariencia con el tiempo. Algunos de los métodos de medición del color incluyen el uso de un espectrofotómetro y un medidor de desvanecimiento del color (MFT, del inglés *microfading-tester*). La medición con el espectrofotómetro en el mismo punto antes y después de períodos de exposición o almacenamiento es un método no invasivo para documentar cambios en el color, a menudo antes de que sean visibles

a non-invasive method to track shifts in the color, often before they are visible to the human eye. An ongoing measurement program over time reveals color changes induced by storage or exhibition conditions (Wilhelm, 1981; Severson, 1986; Pretzel, 1992; Sanderson, 2015). The numerical data generated using either technique is evaluated in the three-dimensional color space, CIE L*a*b*. A further calculation that provides an overall color change, ΔE , can be correlated to a threshold value for visible change noticeable by the naked eye, a property known as “just noticeable difference” (JND). The JND roughly corresponds to $\Delta E=1.5$ (Berns et al., 2000; Ashley-Smith et al., 2002; Ohta & Robertson, 2005; Richardson & Saunders, 2007).

The MFT is a minimally-invasive artificial aging technique that takes color measurements at even time intervals, producing an aging curve; care must be taken to stop the test before visible change is induced as the method does produce change on micron-sized spots. Resulting data is correlated to the aging of a known standard, Blue Wool Standards (BWS) 1-3, to describe how susceptible a photograph may be to light-induced color change (Whitmore et al., 1999; Bullock & Saunders, 1999; Whitmore et al., 2000; Whitmore, 2002). The Blue Wool Standards consist of eight strips of dyed wool, each with increasing light stability; strip 8 is the most stable and 1 the least. Artworks that are susceptible to light-induced change generally fall into the BWS 1-3 range: BWS 3 is acceptable for temporary exhibition, BWS 2 may be exhibited with caution, and BWS 1 cannot generally be exhibited (Ashley-Smith et al., 2002). Rather than tracking change over time with a spectrophotometer, micro-fading is a method of evaluating relative stability among sites on one photograph or between different artworks (Freeman et al., 2014).

al ojo humano. Un programa de medición continuo en el tiempo revela cambios de color inducidos por las condiciones de almacenamiento o exposición (Wilhelm, 1981; Severson, 1986; Pretzel, 1992; Sanderson, 2015). Los datos numéricos generados con cualquiera de las técnicas se evalúan en el espacio de color tridimensional, CIE L*a*b*. Un cálculo adicional, ΔE , proporciona un cambio de color general y puede correlacionarse con un valor umbral para el cambio visible perceptible a simple vista, una propiedad conocida como “diferencia apenas perceptible” (JND, del inglés *just noticeable difference*). El JND corresponde aproximadamente a un $\Delta E = 1,5$ (Berns et al., 2000; Ashley-Smith et al., 2002; Ohta y Robertson, 2005; Richardson y Saunders, 2007).

El MFT es una técnica de envejecimiento artificial mínimamente invasiva que toma medidas de color en intervalos de tiempo uniformes, produciendo una curva de envejecimiento; se debe tener cuidado de detener la prueba antes de que induzca un cambio visible, ya que el método produce cambios en puntos del tamaño de una micra. Los datos resultantes se correlacionan con el envejecimiento de un estándar conocido, *Blue Wool Standards* (BWS) 1-3, para describir cuán susceptible puede ser una fotografía al cambio de color inducido por la luz (Whitmore et al., 1999; Bullock y Saunders, 1999; Whitmore et al., 2000; Whitmore, 2002). Los estándares *Blue Wool Standards* consisten en ocho tiras de lana teñida, cada una con una estabilidad a la luz ascendente; la tira 8 es la más estable y la 1 la menos. Las obras de arte que son susceptibles a cambios inducidos por la luz generalmente caen en el rango BWS 1-3: BWS 3 es aceptable para exposición temporal, BWS 2 puede exponerse con precaución y BWS 1 generalmente no puede exponerse (Ashley-Smith et al., 2002). En lugar de realizar un seguimiento de los cambios a largo plazo con un espectrofotómetro, el micro-desvanecimiento es un método para evaluar la estabilidad relativa entre diferentes puntos en una fotografía o entre diferentes obras de arte (Freeman et al., 2014).

Oddy Testing

The Oddy test identifies commercial materials that off-gas volatile organic compounds (VOCs) that are damaging to collections; avoiding use of these materials prolongs the life of artifacts (Oddy, 1973). The test is widely used within cultural institutions and over the decades museum scientists have modified the experimental design to improve its reliability (Green & Thickett, 1995; Bamberger et al., 1999; Thickett & Lee, 2004; Bradley, 2005; Korenberg et al., 2018; Stephens et al., 2018). VOCs from sulfur-containing products, including leather, wool (Daniels & Ward, 1982), dyes (Oddy, 1973), paints, and pollutants (Palomar et al., 2018; Dandridge, 2005), cause the silver coupons used in the test to tarnish; these same products may negatively impact the photographic image. Organic acids, known to emanate from wood-based boards and papers, fabrics, and some pressure-sensitive adhesives, corrode the lead coupons in the Oddy test and may also damage photographs. In recent years, several groups have used gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) to correlate results from the Oddy test to specific VOCs present in commercial materials (Tsukada et al., 2012; Samide et al., 2018).

Photograph Case Studies

A Salted Paper Print by Giacomo Caneva (Italian, 1812-1865)

Giacomo Caneva's portrait of Carlotta Cortudino is a blue-black, high contrast photograph with warm highlights that has all the visual characteristics of a salted paper print (Fig. 2A); however, XRF elemental analysis revealed more information about this print. In addition to silver (Ag), gold (Au) and sulfur (S) are also present in the image (Fig. 2B). The detection of Au indicates that the photograph was toned using a gold salt solution. In the XRF spectra, the Ag characteristic peaks are more intense in the high image

El Oddy test

El test Oddy identifica aquellos materiales comerciales que liberan compuestos orgánicos volátiles (VOC, del inglés *volatile organic compounds*) que son dañinos para las colecciones; evitar el uso de estos materiales prolonga la vida de los objetos (Oddy, 1973). El test se ha utilizado ampliamente en instituciones culturales y durante décadas los científicos de los museos han ido modificando el diseño experimental para mejorar su fiabilidad (Green y Thickett, 1995; Bamberger et al., 1999; Thickett y Lee, 2004; Bradley, 2005; Korenberg et al., 2018; Stephens et al., 2018). Los VOCs de productos que contienen azufre, incluido el cuero, la lana (Daniels y Ward, 1982), los tintes (Oddy, 1973), las pinturas y los contaminantes (Palomar et al., 2018; Dandridge, 2005), causan corrosión en las lengüetas de plata utilizadas en la prueba; estos mismos productos pueden afectar a la imagen fotográfica. Los ácidos orgánicos, que se sabe emanan de tableros y papeles a base de madera, telas y algunos adhesivos sensibles a la presión, corroen las lengüetas de plomo en el test Oddy y también pueden dañar las fotografías. En los últimos años, varios grupos han utilizado cromatografía de gases-espectrometría de masas (GC-MS) para correlacionar los resultados del test Oddy con VOCs específicos presentes en materiales comerciales (Tsukada et al., 2012; Samide et al., 2018).

Casos de estudio de fotografías

Una impresión de papel a la sal de Giacomo Caneva (italiana, 1812-1865)

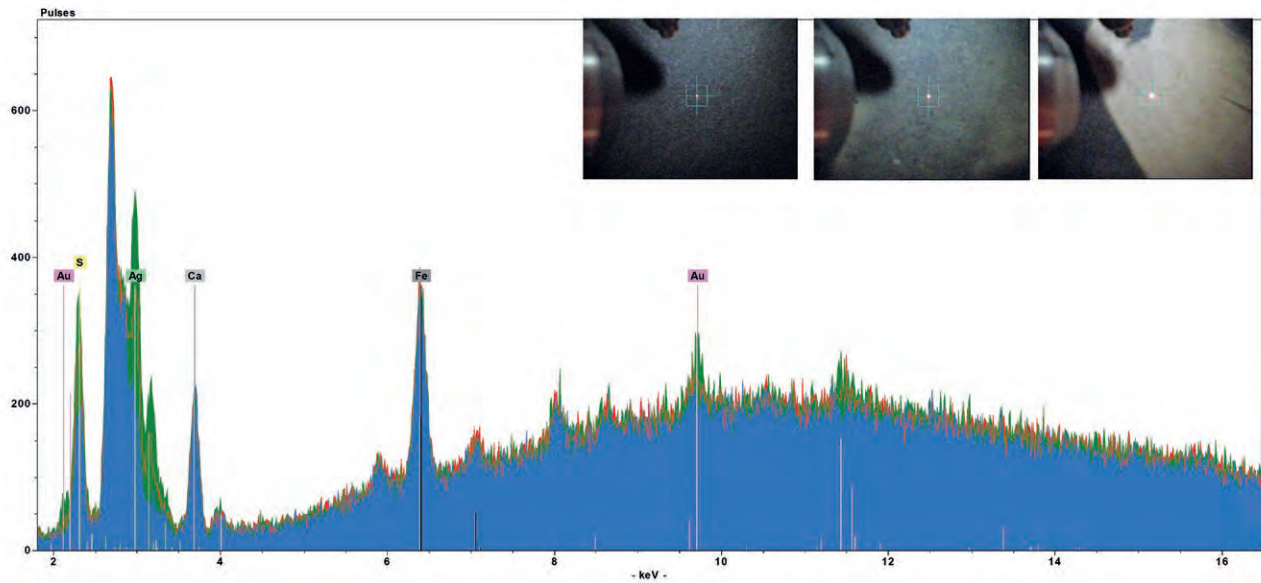
El retrato de Carlotta Cortudino de Giacomo Caneva es una fotografía azul-negra de alto contraste con reflejos cálidos que tiene todas las características visuales de una impresión en papel a la sal (Fig. 2A); sin embargo, el análisis elemental de XRF reveló más información sobre esta impresión. Además de la plata (Ag), el oro (Au) y el azufre (S) también están presentes en la imagen (Fig. 2B). La detección de Au indica que la fotografía fue entonada usando una solución de sal de oro.



2.A

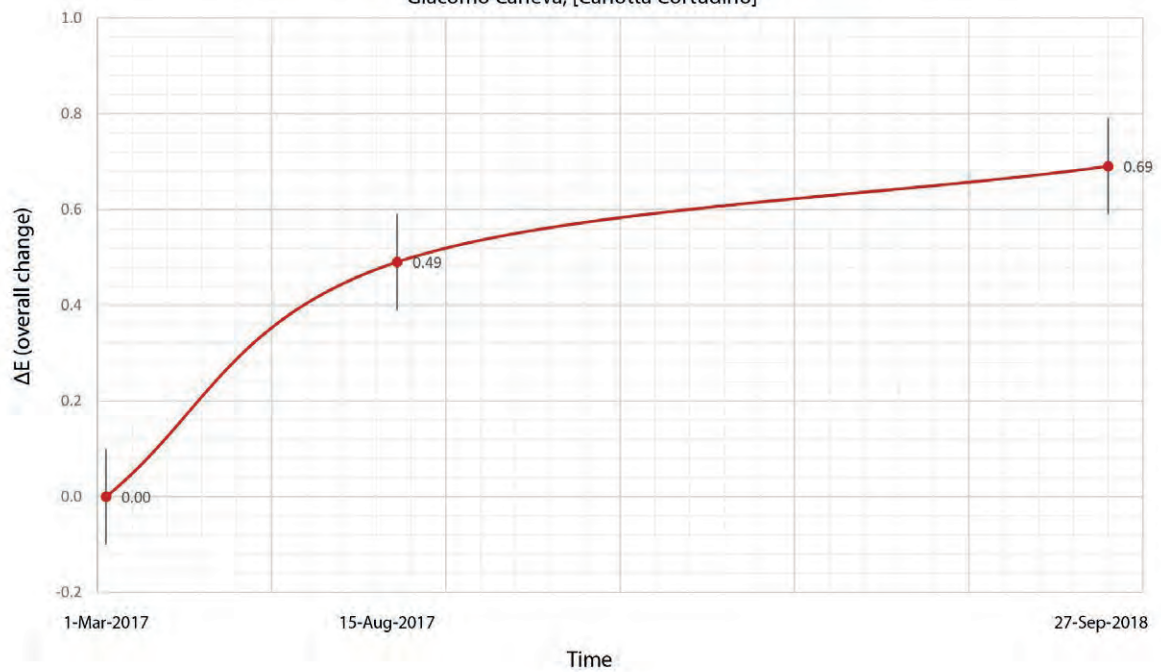
Figure 2. | A (above). Giacomo Caneva (Italian, 1812–1865, [*Carlotta Cortudino*], ca. 1852, Salted paper print from paper negative. The Metropolitan Museum of Art, Gilman Collection, Purchase, Joseph M. Cohen Gift, 2005, (2005.100.57). Image courtesy The Metropolitan Museum of Art. **B (next page, above).** XRF spectra acquired in areas of maximum (green trace), medium (red trace), and minimum image density (blue trace). Photomicrographs of the spots where these spectra were acquired are included as insets at the top, from left to right, respectively. **C (next page, below).** Spectrophotometric measurements taken on a medium-density site on the salted paper print shown in A. March 2017 - August 2017 represent an exhibition period and August 2017 - September 2018 represent a storage period.

Figura 2. | A (arriba). Giacomo Caneva (italiano, 1812–1865, [*Carlotta Cortudino*], ca. 1852, Impresión en papel a la sal de un negativo de papel. The Metropolitan Museum of Art, Colección Gilman, Compra, Joseph M. Cohen Gift, 2005, (2005.100.57) Imagen cortesía de The Metropolitan Museum of Art. **B (página siguiente, arriba).** Espectros XRF adquiridos en áreas de densidad de imagen máxima (traza verde), media (traza roja) y mínima (traza azul). Las microfotografías de los puntos donde se adquirieron estos espectros se incluyen como recuadros en la parte superior, de izquierda a derecha, respectivamente. **C (página siguiente, abajo).** Las mediciones espectrofotométricas tomadas en un área de densidad media en la impresión de papel a la sal que se muestran en A; de marzo de 2017 - agosto de 2017 representan un período de exposición y agosto de 2017 - septiembre de 2018 representan el período de almacenamiento.



2.B

ΔE from Spectrophotometer Measurements Salted Paper Print
 ΔE de las mediciones del espectrofotómetro para impresiones de papel a la sal
Giacomo Caneva, [Carlotta Cortudino]



2.C

density (darker) areas and no peaks due to halides are observed, indicating that the image was fixed (Reilly, 1980; Reilly, 1986; Ware, 1994; Barro et al., 2020).

The presence of S in the portrait was confirmed by acquiring *in-situ* Raman spectra that showed characteristic Ag-S modes. Sulfur in salted paper prints may originate from materials used for toning, poor processing, or exposure to sulfur in the environment (Sessa et al., 2016). It has been proposed that when the Ag/S peak intensity ratio is approximately constant and close to 1 over the entire image, the presence of S is likely due to toning. When these ratios are smaller than 1, S is most likely due to environmental contamination or to residues from thiosulfate fixing (Sessa et al., 2016; Barro et al., 2020). Here, the Ag/S peak intensity ratio is close to 1 all over the image (Fig. 2B). These results, together with the visual appearance of the print, point to S originating from toning rather than environmental contamination (Barro et al., 2020).

During visual analysis, blue pigment particles were observed to be embedded in the paper support of this print. They were identified by Raman spectroscopy as ultramarine blue (Barro et al., 2020). In the nineteenth century, blue pigments were added to paper pulps to counteract the natural yellowing of papers (Herring & Croly, 1856; Prouteaux et al., 1866; Krill, 2002).

In addition to an analysis of the structure of the photograph, several areas of the image were tested using the MFT, which revealed a light sensitivity closest to the more stable BWS 3 (Fig. 3). The same areas were measured with a spectrophotometer prior to and immediately following a 22-week exhibition, then again following 13 months in storage. The graph in Figure 2C plots the ΔE in a medium density area of the image from before exhibition to the end of the storage period. There was a faster

En los espectros de XRF, los picos característicos de Ag son más intensos en las áreas de alta densidad de imagen (más oscuras) y no se observan picos asociados a los haluros, lo que indica que la imagen fue fija (Reilly, 1980; Reilly, 1986; Ware, 1994; Barro et al., 2020).

La presencia de S en el retrato se confirmó mediante espectroscopía Raman *in situ* cuyos espectros mostraban señales características de Ag-S. El azufre en las impresiones de papel a la sal puede provenir de materiales utilizados para el entonado, el procesado deficiente o la exposición al azufre en el ambiente (Sessa, Barro, Centeno, et al., 2016). Cuando la relación Ag / S de intensidad máxima sea aproximadamente constante y cercana a 1 en toda la imagen, es probable que la presencia de S se deba al entonado. Cuando estas proporciones son inferiores a 1, lo más probable es que la presencia de S se deba a contaminación ambiental o residuos de la fijación de tiosulfato (Sessa et al., 2016; Barro et al., 2020). Aquí, la relación de intensidad máxima de Ag / S es próxima a 1 en toda la imagen (Fig. 2B). Estos resultados, junto con la apariencia visual de la impresión, apuntan a que el S se origina debido al entonado en lugar de a la contaminación ambiental (Barro et al., 2020).

Durante el análisis visual, se observó que las partículas de pigmento azul estaban incrustadas en el soporte de papel de esta impresión. Las partículas fueron identificadas por espectroscopía Raman como azul ultramar (Barro et al., 2020). En el siglo XIX, se añadían pigmentos azules a las pulpas de papel para contrarrestar el amarilleo natural de los papeles (Herring y Croly, 1856; Prouteaux et al., 1866; Krill, 2002).

Además de un análisis de la estructura de la fotografía, se estudiaron varias áreas de la imagen usando MFT, lo que reveló una sensibilidad a la luz cercana al BWS 3 más estable (Fig. 3). Las mismas áreas se midieron con un espectrofotómetro antes e inmediatamente después de una exposición de 22 semanas, y luego nuevamente después de 13 meses de almacenamiento. El gráfico de la Figura 2C traza el ΔE en un área de densidad media de la imagen desde antes de la exposición hasta el final del período

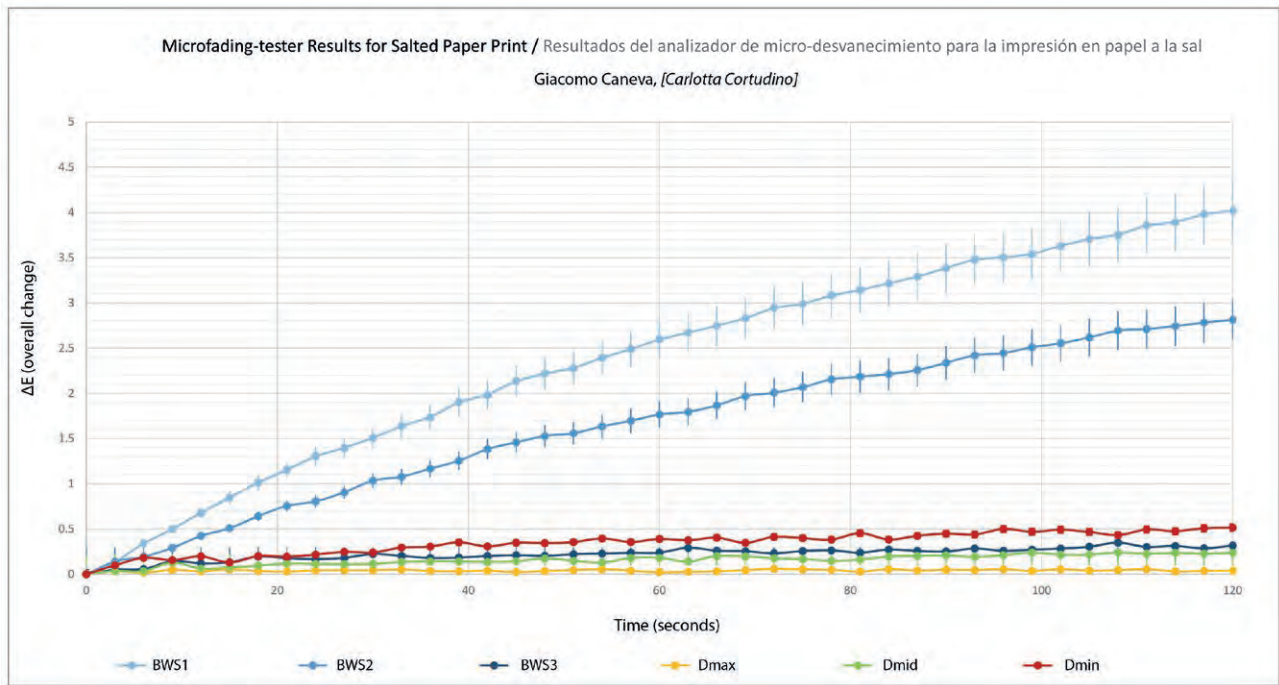


Figure 3 | Microfading-tester results for the salted paper print by Giacomo Caneva, [Carlotta Cortudino] (2005.100.57) (Fig. 2A). Three measurement sites in minimum (Dmin), medium (Dmid), and maximum (Dmax) image-density areas are juxtaposed against Blue Wool Standards 1-3 data gathered during the same session. All three test sites have a sensitivity equivalent to BWS 3, indicating that the photograph is less susceptible to light-induced color change.

Figura 3 | Resultados del analizador de micro-desvanecimiento para la impresión en papel a la sal de Giacomo Caneva, [Carlotta Cortudino] (2005.100.57) (Fig. 2A). Tres áreas de medición en zonas de densidad de imagen mínima (Dmin), media (Dmid) y máxima (Dmax) yuxtapuestas con los datos de Blue Wool Standards 1-3 recopilados durante la misma sesión. Las tres áreas de medición tienen una sensibilidad equivalente a BWS 3, lo que indica que la fotografía es poco susceptible al cambio de color inducido por la luz.

change rate during exhibition at a light level of 40 lux (dosage: 78,500 lux hours) and average climate conditions of 21°C and 53% relative humidity (RH) followed by a slower change rate when the photograph was housed in dark storage at an average of 21°C and 55% RH. This general trend is consistent across photographic collections, with more rapid change rates observed while on exhibit than during periods of storage. The amount of color shift during the exhibition was, however, well below the JND threshold, which is common for most well-processed photographs.

de almacenamiento. Se observa una tasa de cambio más rápida durante la exposición a un nivel de luz de 40 lux (dosis: 78,500 lux hora) y condiciones climáticas promedio 21°C y 53% de humedad relativa (HR), seguida de una tasa de cambio más lenta cuando la fotografía se colocó en almacenamiento oscuro a un promedio de 21°C y 55% de HR. Esta tendencia general es consistente en todas las colecciones fotográficas, con tasas de cambio más rápidas observadas mientras están en exposición que durante los períodos de almacenamiento. Sin embargo, la cantidad de cambio de color durante la exposición estuvo muy por debajo del umbral JND, que es común para la mayoría de las fotografías bien procesadas.

A Gelatin Silver Print by E.J. Bellocq (American, 1873-1949)

There are times when a photograph may appear to have stability issues based on its appearance. Discoloration of the image material or binder of a print signal that something may be amiss. It may even be discoloration of the verso of the print that indicates the print is unstable. In 2010, visual analysis of a gelatin silver DOP print attributed to E. J. Bellocq that was being considered for exhibition showed strong pink and orange discoloration in the highlights, suggesting that it may not have been fully fixed and therefore was still light sensitive (Fig. 4A). XRF analysis revealed Ag in highlights (low image density areas) (Fig. 4B), another telltale sign that the photograph might still be light sensitive.

The photograph had been displayed between 1993 and 1994 during a multi-venue traveling exhibition, amounting to six months of exposure. Because the photograph was considered an important addition to the proposed exhibition, a decision was made to exhibit the print behind a curtain, which visitors would lift for viewing, significantly reducing its overall light exposure. Weekly visual examinations were conducted in the gallery and spectrophotometer measurements were taken before display and then part way through the exhibition to track any color shifts. There was an understanding that if the data revealed a significant change that the print would be removed from the exhibition.

When a significant color change was measured, the photograph was removed from display (Fig. 5A). In the minimum and medium density areas, the measured changes were just over the JND threshold; the maximum density areas showed less overall change. These observations aligned with expectations for this type of photograph: with remaining light-sensitive silver halides present in greater amounts in the lighter areas, light exposure would have caused the

Impresión en gelatina de plata de E.J. Bellocq (estadounidense, 1873-1949)

Hay ocasiones en las que una fotografía puede parecer tener problemas de estabilidad en función de su apariencia. La decoloración del material de la imagen o el aglutinante de una impresión indican que algo puede estar mal. Incluso se puede observar decoloración del reverso de la impresión que indique que la impresión es inestable. En 2010, el análisis visual de una impresión DOP de gelatina de plata atribuida a E.J. Bellocq que se estaba considerando para exposición reveló una fuerte decoloración rosada y naranja en los reflejos, lo que sugería que era probable que no se hubiera fijado completamente y que por tanto, todavía era sensible a la luz (Fig. 4A). El análisis XRF reveló la presencia de Ag en los detalles (áreas de baja densidad de imagen) (Fig. 4B), otra señal reveladora de que la fotografía aún podría ser sensible a la luz.

La fotografía se había expuesto entre 1993 y 1994 durante una exposición itinerante en varios lugares, acumulando seis meses de exposición. Debido a que la fotografía se consideró una adición importante a la exposición propuesta, se tomó la decisión de exponer la impresión detrás de una cortina, que los visitantes levantarían para verla, reduciendo significativamente su exposición general a la luz. Se llevaron a cabo exámenes visuales semanales en la galería y se tomaron medidas con espectrofotómetro antes de la exposición y a mitad de la muestra para detectar cualquier cambio de color. Se entendió que, si los datos revelaban un cambio significativo, la impresión sería retirada de la exposición.

Cuando se observó un cambio de color significativo, la fotografía se eliminó de la exposición (Fig. 5A). En las áreas de densidad mínima y media, los cambios medidos estuvieron un poco por encima del umbral JND; las áreas de densidad máxima mostraron un cambio general menor. Estas observaciones se compararon con las expectativas para este tipo de fotografía: con haluros de plata fotosensibles restantes presentes en mayores cantidades en las áreas más claras, la exposición a la luz

4.A



4.B

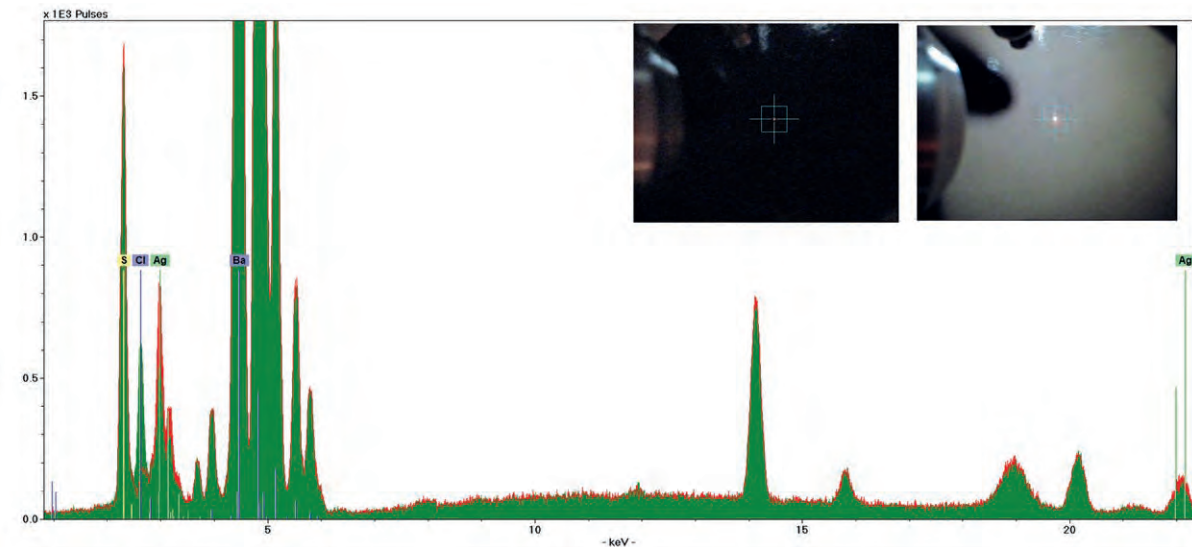
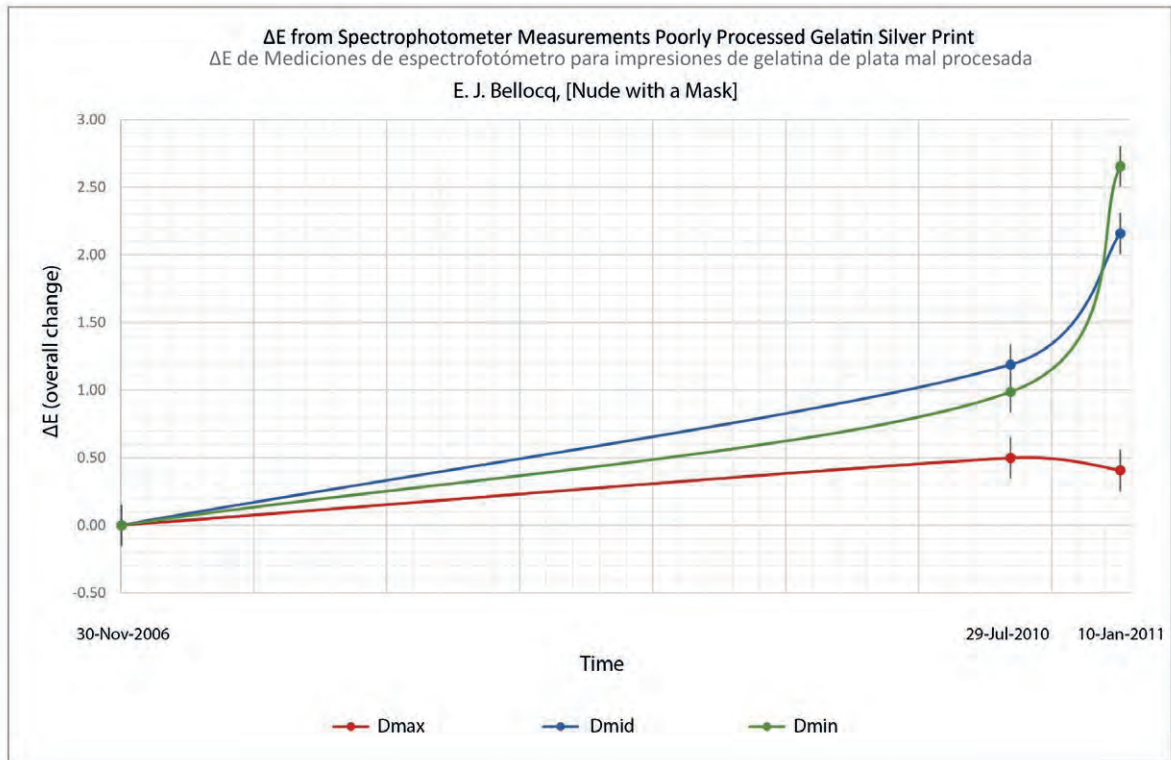


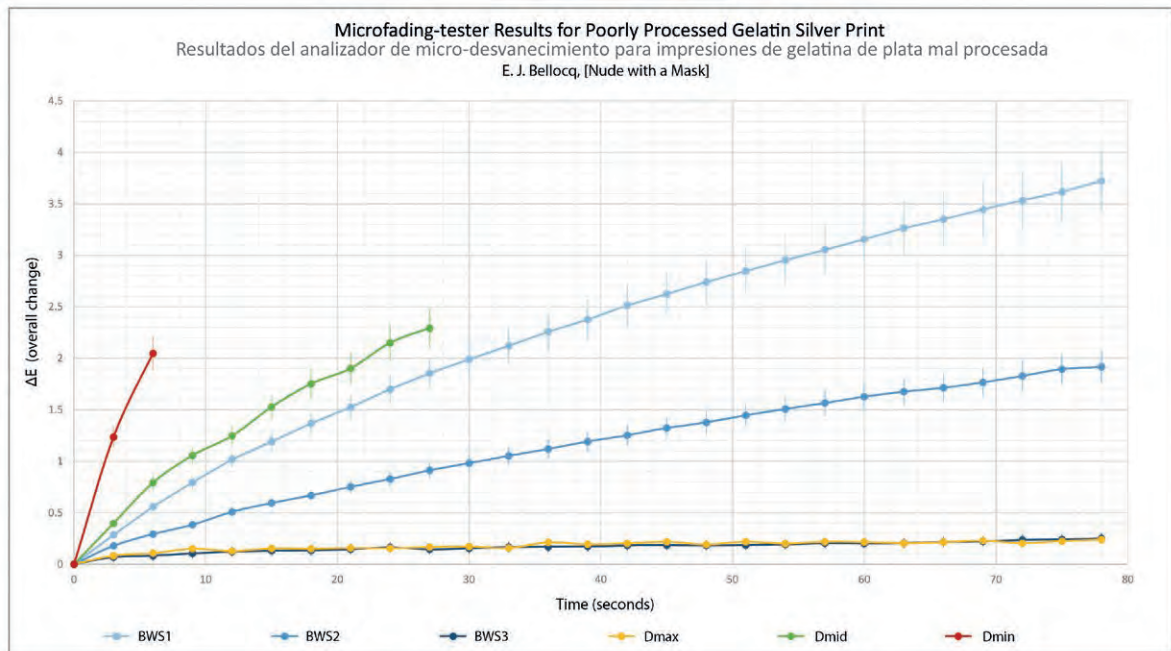
Figure 4 | A. E. J. Bellocq (American, 1873–1949), *[Nude with a Mask]*, ca. 1912, Gelatin silver print from glass negative. The Metropolitan Museum of Art, Gilman Collection, Purchase, Ann Tenenbaum and Thomas H. Lee Gift, 2005, (2005.100.130). Image courtesy The Metropolitan Museum of Art. **B.** XRF spectra acquired in areas of maximum (red trace) and minimum (green trace) image density. Photomicrographs of these spots are included as insets at the top, at left and right, respectively. In the XRF spectra, characteristic peaks for barium (Ba) are shown out of range for the sake of clarity.

Figura 4 | A. E. J. Bellocq (americano, 1873-1949), *[Nude with a Mask]*, ca. 1912, impresión en gelatina de plata a partir de un negativo de vidrio. The Metropolitan Museum of Art, Colección Gilman, Compra, Ann Tenenbaum y Thomas H. Lee Gift, 2005, (2005.100.130). Imagen cortesía de The Metropolitan Museum of Art. **B.** Espectros XRF adquiridos en áreas de densidad de imagen máxima (traza roja) y mínima (traza verde). Las microfotografías de estos puntos se incluyen en recuadros en la parte superior, a la izquierda y a la derecha, respectivamente. En los espectros XRF, los picos característicos del bario (Ba) se muestran fuera de rango para mayor claridad.

5.A



5.B



formation of printed-out metallic silver, producing the pink discoloration.

As the Museum did not own a MFT prior to exhibition, testing was carried out afterwards. The results made clear the degree of light sensitivity of the photograph (Fig. 5B), with minimum and medium density sites far more sensitive than BWS 1 and the maximum density area closer to BWS 3. These data supported the findings from the spectrophotometer. Had the print been tested with the MFT prior to exhibition, it is likely that a decision would have been made to exclude the photograph from the exhibition altogether. However, the initial XRF analysis played a critical role in prompting extra caution to mitigate exposure during the exhibition.

A Gelatin Silver Print Published by United Press International (March 8, 1975)

There are times when a photograph is assumed to be sensitive but analysis reveals that it is more stable than expected. In the case of a security camera photograph published by United Press

habría causado la formación de una impresión de plata metálica, produciendo la decoloración rosada.

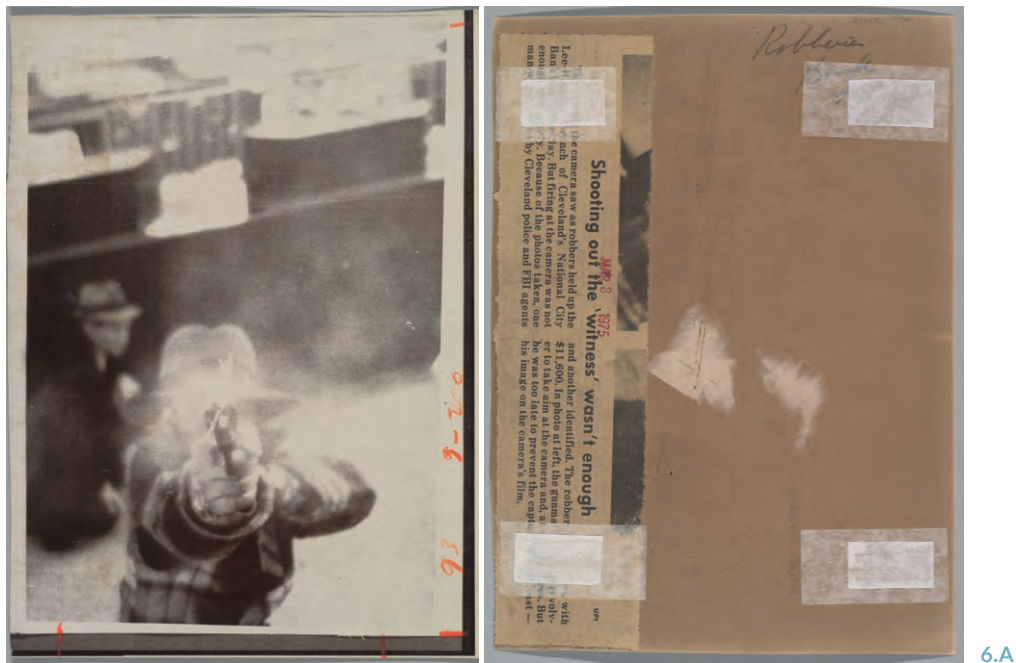
Como el Museo no poseía un MFT antes de la exposición, las pruebas se llevaron a cabo posteriormente. Los resultados dejaron claro el grado de sensibilidad a la luz de la fotografía (Fig. 5B), con áreas de densidad mínima y media mucho más sensibles que BWS 1 y el área de densidad máxima más cercana a BWS 3. Estos datos respaldaron los hallazgos del espectrofotómetro. Si la impresión hubiera sido estudiada con el MFT antes de la exposición, es probable que se hubiera tomado la decisión de excluir la fotografía de la exposición por completo. Sin embargo, el análisis inicial de XRF jugó un papel fundamental al generar información útil para tomar precauciones adicionales y mitigar la exposición durante la muestra.

Una impresión en gelatina de plata publicada por United Press International (8 de marzo de 1975)

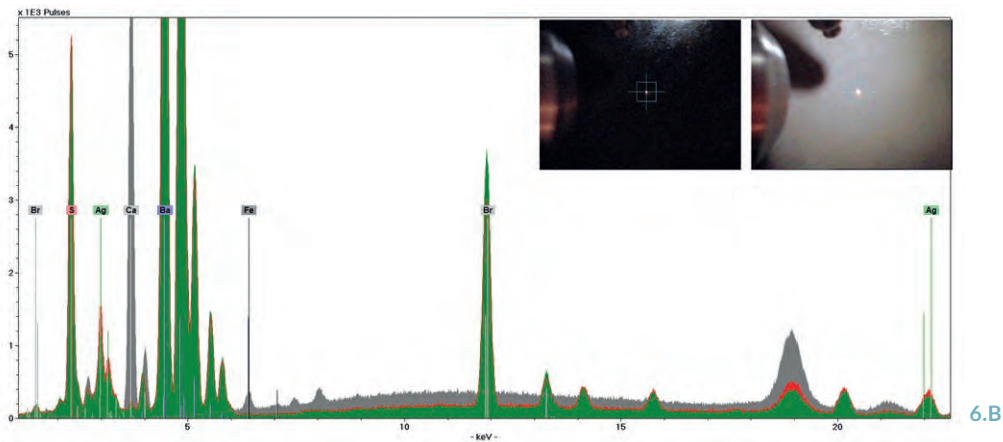
Hay ocasiones en las que se supone que una fotografía es sensible, pero el análisis revela que es más estable de lo esperado. En el caso de una fotografía de

Figure 5 | (previous page, above) A. Spectrophotometer measurements taken on minimum (Dmin), medium (Dmid), and maximum (Dmax) image-density sites on a poorly processed gelatin silver developed-out print by E. J. Bellocq (2005.100.130). November 2006 - July 2010 represent a storage period and July 2010 - January 2011 represent an exhibition period. The ΔE for each plot is calculated off the baseline measurement, so the negative trend in the Dmax site suggests that the darkest areas of the print tend to change differently in storage than they do on display. **(previous page, below) B.** Microfading-tester results for a poorly processed gelatin silver developed-out print by E. J. Bellocq (2005.100.130). Three measurement sites in minimum (Dmin), medium (Dmid), and maximum (Dmax) image-density areas are juxtaposed against Blue Wool Standards 1-3 data gathered during the same session. The Dmin and Dmid tests were stopped early due to the rapid change recorded; both are more sensitive than BWS1. The Dmax site is equivalent to BWS3, indicating greater stability than the lighter areas of the print.

Figura 5 | (página anterior, arriba) A. Mediciones del espectrofotómetro tomadas en sitios de densidad de imagen mínima (Dmin), media (Dmid) y máxima (Dmax) en una impresión revelada en gelatina de plata mal procesada por E. J. Bellocq (2005.100.130). Noviembre de 2006 - julio de 2010 representa un período de almacenamiento y julio de 2010 - enero de 2011 representa un período de exhibición. El ΔE para cada gráfico se calcula a partir de la medición de la línea de base, por lo que la tendencia negativa en el área de Dmax sugiere que las áreas más oscuras de la impresión tienden a cambiar de manera diferente durante el almacenamiento en comparación con la exposición. **(página anterior, abajo) B.** Resultados del analizador de micro-desvanecimiento para una impresión revelada de gelatina de plata mal procesada por E. J. Bellocq (2005.100.130). Tres áreas de medición en zonas de densidad de imagen mínima (Dmin), media (Dmid) y máxima (Dmax) se juxtaponen con los datos de Blue Wool Standards 1-3 recopilados durante la misma sesión. Las pruebas Dmin y Dmid se interrumpieron antes de tiempo debido al rápido cambio registrado; ambas son más sensibles que BWS1. El sitio Dmax es equivalente a BWS3, lo que indica una mayor estabilidad que las áreas más claras de la impresión.



6.A



6.B

Figure 6 | A. United Press International (American), [*Bank Robber Aiming at Security Camera, Cleveland, Ohio*], March 8, 1975, Gelatin silver print. The Metropolitan Museum of Art, Twentieth-Century Photography Fund, 2015 (2015.278). Image courtesy The Metropolitan Museum of Art. **B.** XRF spectra acquired in areas of maximum (red trace) and minimum (green trace) image-density, and in the secondary support (grey trace). Photomicrographs of the spots in the maximum and minimum image-density areas where the spectra shown were acquired are included as insets at the top, at left and right, respectively. In the XRF spectra, characteristic peaks for barium (Ba) and calcium (Ca) are shown out of range for the sake of clarity.

Figura 6 | A. United Press International (estadounidense), [*Bank Robber Aiming at Security Camera, Cleveland, Ohio*], 8 de marzo de 1975, impresión en gelatina de plata. The Metropolitan Museum of Art, Fondo de Fotografía del Siglo XX, 2015 (2015.278). Imagen cortesía de The Metropolitan Museum of Art. **B.** Espectros XRF adquiridos en áreas de máxima (traza roja) y mínima (traza verde) densidad de imagen, y en el soporte secundario (trazo gris). Las microfotografías de los puntos en las áreas de densidad de imagen máxima y mínima donde se adquirieron los espectros mostrados se incluyen como recuadros en la parte superior, a la izquierda y a la derecha, respectivamente. En los espectros XRF, los picos característicos del bario (Ba) y el calcio (Ca) se muestran fuera de rango para mayor claridad.

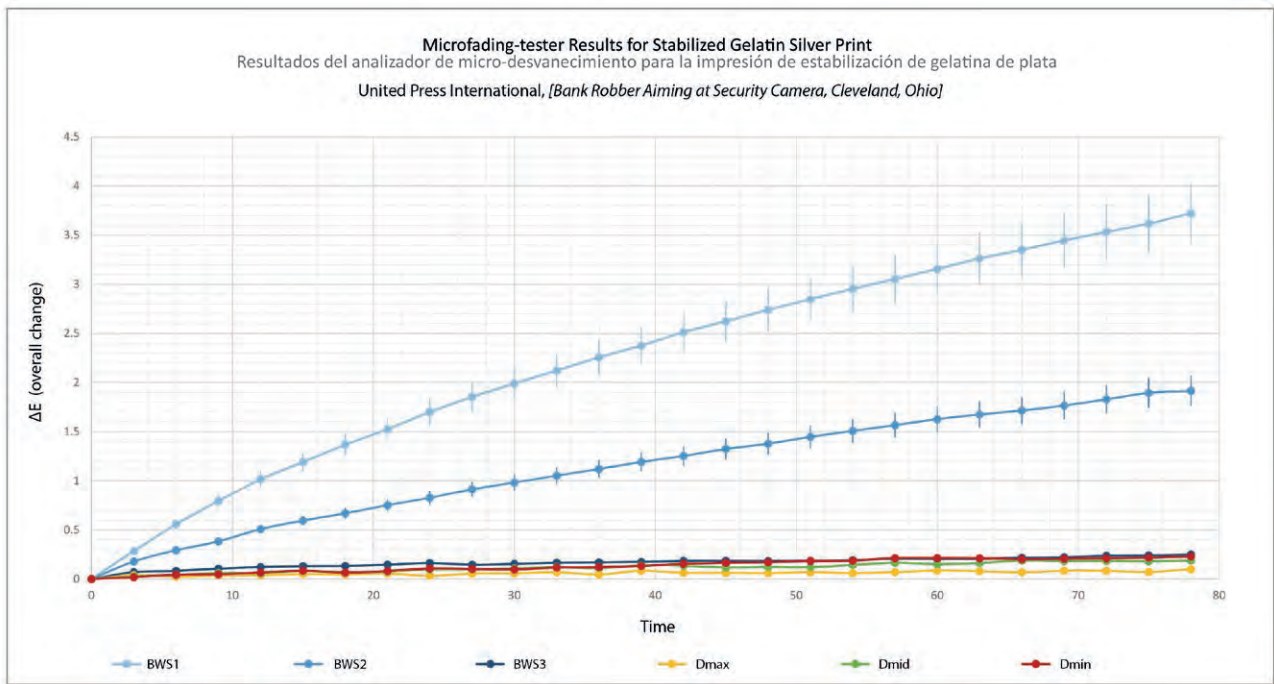


Figure 7 | Microfading-tester results for the gelatin silver stabilization print by United Press International (2015.278) shown in Figure 6A. Three measurement sites in minimum (Dmin), medium (Dmid), and maximum (Dmax) image-density areas are juxtaposed against Blue Wool Standards 1-3 data gathered during the same session. All three test sites have a sensitivity equivalent to BWS3, indicating that the photograph is less susceptible to light-induced color change.

Figura 7 | Resultados del analizador de micro-desvanecimiento para la impresión de estabilización de gelatina de plata de United Press International (2015.278) mostrada en la Figura 6A. Tres áreas de medición en zonas de densidad de imagen mínima (Dmin), media (Dmid) y máxima (Dmax) se juxtaponen con los datos de Blue Wool Standards 1-3 recopilados durante la misma sesión. Las tres áreas de medición tienen una sensibilidad equivalente a BWS3, lo que indica que la fotografía es poco susceptible al cambio de color inducido por la luz.

International (UPI), dated March 8, 1975. Visual examination revealed the warm brown verso discoloration typical of a stabilization print (Fig. 6A), a gelatin silver print made using an instant processing technique that stabilizes but does not fully fix the print, leaving some light-sensitive silver halides behind (Murphy, 2009). These prints were originally used by press photographers as well as some artists as a quick proof printing method and were not intended to be permanent. XRF analysis of this print revealed the presence of Ag in the highlights (low

una cámara de seguridad publicada por United Press International (UPI), fechada el 8 de marzo de 1975. El examen visual reveló una decoloración marrón cálida en el reverso típica de una impresión de estabilización (Fig. 6A), una impresión de gelatina de plata hecha con un procesamiento instantáneo técnica que estabiliza, pero no fija completamente la impresión, dejando atrás algunos haluros de plata sensibles a la luz (Murphy, 2009). Estas impresiones fueron utilizadas originalmente por fotógrafos de prensa, así como por algunos artistas, como un método rápido de pruebas de impresión y no estaban destinadas a ser permanentes. El análisis

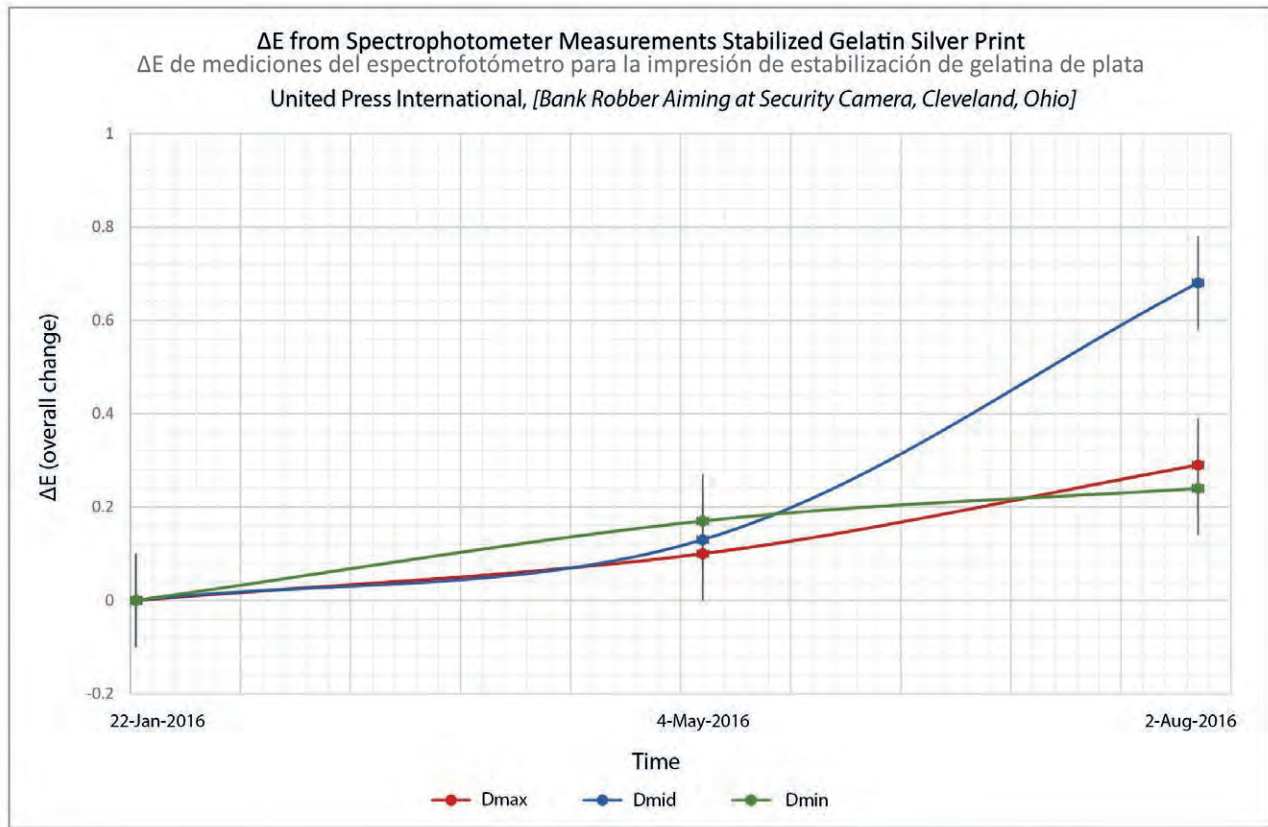


Figure 8 | Spectrophotometer measurements taken on minimum (Dmin), medium (Dmid), and maximum (Dmax) image-density sites on the gelatin silver stabilization print by United Press International (2015.278) shown in Figure 6A. The three data points represent the pre-exhibition baseline, mid-exhibition, and post-exhibition.

Figura 8 | Mediciones del espectrofotómetro tomadas en áreas de densidad de imagen mínima (Dmin), media (Dmid) y máxima (Dmax) en la impresión de estabilización de gelatina de plata de United Press International (2015.278) que se muestra en la Figura 6A. Los tres puntos de datos representan la línea base previa a la exposición, durante la exposición y posterior a la exposición.

image density areas) (Fig. 6B), confirming that it had never been fully fixed.

The print was tested using the MFT, which showed a low level of light sensitivity, corresponding with BWS 3, in all measurement sites (Fig. 7). The decision was made to display it at a low light level (40 lux), without a curtain, with weekly visual examination and spectrophotometric measurement

por XRF de esta impresión reveló la presencia de Ag en los detalles más destacados (áreas de baja densidad de imagen) (Fig. 6B), lo que confirma que nunca se había fijado por completo.

La impresión se estudió utilizando un MFT, que mostró un bajo nivel de sensibilidad a la luz, correspondiente con BWS 3, en todas las zonas en las que se realizó la medición (Fig. 7). Se tomó la decisión de mostrarla a un

part way through the exhibition to track any changes. Like the Bellocq, the print would be removed from display if the mid-exhibition measurements revealed changes that were too great. Halfway through the exhibition, analysis revealed minimal color change had occurred, akin to a well-processed gelatin silver print, so the decision was made to keep the photograph on exhibit. When the ΔE was determined again at the end of the show, some additional color change was noted, but this was well below the JND threshold and very different from what would have been expected of typical stabilization prints, which are considered to be light sensitive (Fig. 8).

The Bellocq and UPI case studies illustrate how color measurements can reveal that an artwork is either more or less susceptible to light-induced color change than expected. In reality, most photographs tend to change very little during normal periods of display under appropriate climate and lighting conditions, with ΔE values smaller than those presented in Figures 2C, 5A, and 8. However, even small changes are significant when considering that light exposure is cumulative and irreversible. Tracking incremental color change with a spectrophotometer, combined with other methods of technical analysis, informs future decisions relevant to long-term preservation efforts.

Materials Testing Case Studies

Single-coated adhesives for housing photographs

A series of single-coated adhesive tapes was Oddy tested to see if they were safe for use in the vicinity of, but not in contact with, photographs. Two questions were posed: “were there tapes that received a permanent rating?”, meaning they could be used indefinitely near a print; if not, “were there tapes that did not tarnish the silver coupons used as

nivel de luz bajo (40 lux), sin una cortina, con un examen visual semanal y medición espectrofotométrica a mitad de la exposición para rastrear cualquier cambio. Al igual que el Bellocq, la impresión se retiraría de la muestra si las mediciones durante la exposición revelaban cambios demasiado grandes. A mitad de la exposición, el análisis reveló que se había producido un cambio de color mínimo, similar a una impresión de gelatina de plata bien procesada, por lo que se tomó la decisión de mantener la fotografía en exposición. Cuando se determinó el ΔE nuevamente al final del programa, se percibió un cambio de color adicional, pero estaba muy por debajo del umbral JND y muy diferente de lo que se hubiera esperado de impresiones de estabilización típicas, consideradas sensibles a la luz (Fig. 8).

Los estudios de caso de Bellocq y UPI ilustran cómo las mediciones de color pueden revelar que una obra de arte es más o menos susceptible al cambio de color inducido por la luz de lo esperado. En realidad, la mayoría de las fotografías tienden a cambiar muy poco durante períodos normales de visualización en condiciones climáticas y de iluminación adecuadas, con valores de ΔE más pequeños que los presentados en las Figuras 2C, 5A y 8. Sin embargo, incluso los cambios pequeños son significativos cuando se considera que la exposición a la luz es acumulativa e irreversible. El seguimiento del aumento del cambio de color con un espectrofotómetro, combinado con otros métodos de análisis técnico, proporciona información relevante para futuras decisiones relacionadas con la preservación a largo plazo.

Casos de estudio de ensayos de materiales

Adhesivos de una sola capa para el montaje de fotografías

Se analizaron una serie de cintas adhesivas de una capa utilizando el test Oddy para ver si su uso próximo a las fotografías, pero no en contacto con ellas, era seguro.

Table 1 | Summary of the manufacturer, product name, backing material, adhesive, color, and Oddy test results of a series of single-coated adhesive tapes tested for use in the vicinity of photographs. Permanent (P) means suitable for long-term use near art. Temporary (T) means can be used near art for 3-6 months. Unsuitable (U) means should not be used near art.

Tabla 1 | Resumen del fabricante, nombre del producto, material de soporte, adhesivo, color y resultados de la prueba Oddy de una serie de cintas adhesivas de una sola capa probadas para su uso cerca de fotografías. Permanente (P) significa adecuado para un uso prolongado cerca de objetos artísticos. Los medios temporales (T) se pueden utilizar cerca de la obra de arte durante 3-6 meses. Los medios inadecuados (U) no deben usarse cerca de objetos artísticos.

| Manufacturer/ Fabricante | Product Name / Nombre del producto | Backing Material / Material de soporte | Adhesive / Adhesivo | Color / Color | Copper Oddy Score / Puntuación de Oddy en cobre | Silver Oddy Score / Puntuación de Oddy en plata | Lead Oddy Score / Puntuación de Oddy en plomo | Final Oddy Score / Puntuación Oddy final |
|-----------------------------|--|---|-----------------------------------|-----------------------|---|---|---|---|
| 3M | Scotch® 3650 Long Lasting Storage Packaging Tape / Cinta de embalaje de larga duración | Polypropylene / Polipropileno | Acrylic / Acrílico | Clear / Transparente | P | P | T | T |
| Intertape Polymer Group | 530 Utility-Grade Flatback Packaging Tape / Cinta de embalaje de reverso plano | Paper / Papel | Natural/ synthetic rubber blend | Brown / Marrón | U | U | T | U |
| Klug Conservation | Gummed paper tape / Cinta de papel engomado | Bleached cellulose paper / Papel de celulosa blanqueado | Potato starch / Almidón de patata | White / Blanco | P | T | T | T |
| Lineco | Self-adhesive Frame sealing tape in blue-gray / Cinta de sellado autoadhesiva para marcos en azul-gris | Paper and aluminum / Papel y aluminio | Acrylic / Acrílico | Blue-gray / Azul-gris | P | P | P | P |
| Lineco | Self-adhesive Frame sealing tape in white / Cinta de sellado autoadhesiva para marcos en blanco | Paper and aluminum / Papel y aluminio | Acrylic / Acrílico | White / Blanco | T | P | P | T |
| Lineco | Abaca.sa Paper Hinging Tape / Cinta de papel para bisagras | Paper / Papel | Acrylic / Acrílico | White / Blanco | P | P | T | T |
| Neschen | Filmoplast SH Gummed 'linen' Tape / Cinta de 'lino' engomado | Rayon / Seda artificial | Acrylic / Acrílico | White / Blanco | U | U | U | U |
| ProArt | Black Artist Tape | Paper / Papel | Rubber | Black / Negro | U | U | T | U |
| Shurtape | J-Lar® | Polypropylene / Polipropileno | Acrylic / Acrílico | Clear / Transparente | T | P | U | U |
| Shurtape | FP-227 high adhesion flatback paper tape | Paper / Papel | Rubber | White / Blanco | U | U | T | U |
| Shurtape | CP 631 General Purpose Masking Tape | Paper / Papel | Synthetic rubber | White / Blanco | U | U | T | U |
| Specialty Tapes | Framer's Tape II Clear | Polyethylene terephthalate / Tereftalato de polietileno | Proprietary / Patentado | Clear / Transparente | P | P | T | T |
| Uline | Painter's masking tape, / Cinta adhesiva de pintor, S-13752 | Paper / Papel | Synthetic rubber / Goma sintética | Blue / Azul | T | T | U | U |

sensors to detect damage in the Oddy test?” Table 1 summarizes the thirteen commercially available tapes analyzed in this study. Three tapes were proposed for matting photographs, including Lineco Abaca.sa paper hinging tape, Neschen Filmoplast SH gummed linen tape, and Shurtape J-Lar tape. The remaining ten tapes were proposed for use sealing photographs in packages for exhibition.

The last column of Table 1 shows that, of the three matting adhesives, none received a permanent rating in the Oddy test. Abaca.sa paper hinging tape performed best, with a permanent rating for the copper and silver coupons and a temporary rating for the lead. While off-gassed acids from a tape might be mitigated if buffered boards are used to mount photographs, adhesives receiving a temporary rating overall should only be used in the vicinity of photographs for short periods, up to six months. J-Lar tape received a permanent rating for the silver coupons; however, it failed the Oddy test overall due to corrosion of the lead coupons and was therefore not recommended for use. Filmoplast SH corroded all three coupons and was similarly deemed to be unsuitable for use.

Regarding tapes for packaging photographs, one received a permanent Oddy score, the Lineco self-adhesive frame sealing tape in blue/gray. This tape was therefore deemed acceptable for use in packaging photographs for long periods. Of the remaining nine tapes, three were recommended for use during temporary exhibitions, the Lineco self-adhesive frame sealing tape in white, the 3M Scotch 3650, and the Framer’s Tape II. The remaining six tapes were not recommended for use as they failed the Oddy test overall.

Figure 9 highlights the range of corrosion that silver coupons may exhibit following exposure to VOCs during the course of the Oddy test. Figure 9A shows an image of artificially aged

Se plantearon dos preguntas: “¿existen cintas que hayan sido clasificadas como permanente?”, lo que significa que pueden usarse indefinidamente cerca de una impresión; de lo contrario, “¿existen cintas que no oscurezcan las lengüetas de plata que sirven de sensor para detectar daños en el test Oddy?” La Tabla 1 resume las trece cintas comerciales analizadas en este estudio. Se estudiaron tres cintas adhesivas para montar fotografías, incluida la cinta adhesiva de papel para bisagras Lineco Abaca.sa, la cinta adhesiva de lino engomado Neschen Filmoplast SH y la cinta adhesiva Shurtape J-Lar. Las diez cintas adhesivas restantes se usaban para sellar fotografías en sobres para exposición.

La última columna de la Tabla 1 muestra que, de las tres cintas adhesivas de montaje, ninguna recibió una calificación permanente en el test Oddy. La cinta para bisagras de papel Abaca.sa obtuvo los mejores resultados, con una calificación permanente para las lengüetas de cobre y plata y una calificación temporal para el plomo. Si bien los ácidos desprendidos de una cinta pueden mitigarse utilizando paneles con reserva para montar fotografías, los adhesivos que reciben una calificación general temporal solo deben usarse en las proximidades de las fotografías durante períodos cortos, máximo de seis meses. La cinta J-Lar recibió una calificación permanente para las lengüetas de plata; sin embargo, no pasó la prueba Oddy en general debido a la corrosión de las lengüetas de plomo y, por lo tanto, no se recomendó su uso. Filmoplast SH corroyó las tres lengüetas y se consideró igualmente inadecuado para su uso.

En cuanto a las cintas adhesivas para embalaje de fotografías, se obtuvo una puntuación Oddy permanente, para la cinta autoadhesiva de sellado de marcos Lineco en azul/ gris. Por lo tanto, esta cinta adhesiva se considera aceptable para su uso en el embalaje de fotografías durante períodos prolongados. De las nueve cintas restantes, se recomiendan tres para su uso durante exposiciones temporales, la cinta autoadhesiva de sellado de marcos Lineco en blanco, la 3M Scotch 3650 y la Framer’s Tape II. No se recomienda el uso de las seis

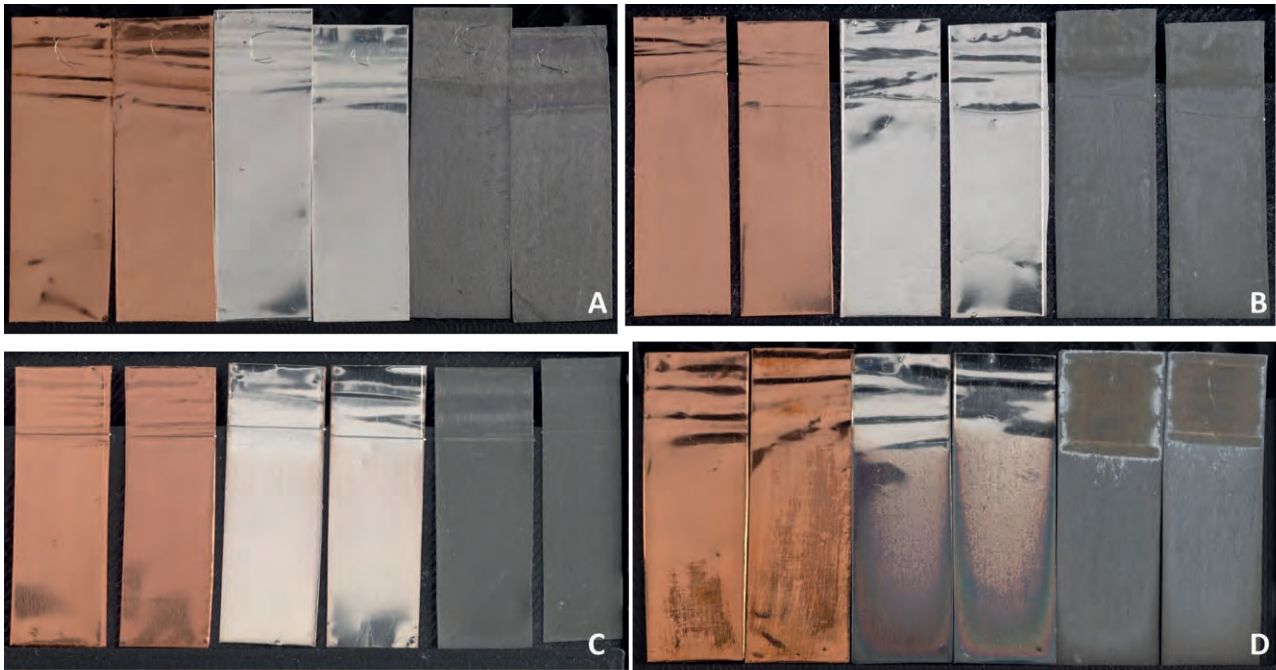


Figure 9 | Photographs of Oddy test coupons artificially aged with single-coated tapes for 28 days at 60°C, followed by silver coupon tarnish assessment and Silver Oddy Score. **A.** Control (no tarnish). **B.** Lineco Abaca.ca paper hinging tape (no tarnish, permanent). **C.** Klug Conservation gummed paper tape (pale purple tarnish, temporary). **D.** Neschen Filmoplast SH (dark purple and rainbow tarnish, unsuitable).

Figura 9 | Fotografías de lengüetas utilizadas durante la prueba Oddy envejecidas artificialmente con cintas de una sola capa durante 28 días a 60 ° C, seguidas de la evaluación de corrosión de la lengüeta de plata y la puntuación del Silver Oddy Score. **A.** Control (sin corrosión). **B.** Cinta para bisagras de papel Lineco Abaca.ca (sin corrosión, permanente). **C.** Cinta de papel engomado Klug Conservation (corrosión morado pálido, temporal). **D.** Neschen Filmoplast SH (morado oscuro y corrosión con arco iris, inadecuado).

controls, coupons aged with no commercial material present. As expected, no corrosion was observed. Figure 9B shows coupons artificially aged with Lineco Abaca.sa Paper Hinging tape; here too, the silver was unaffected. Figure 9C shows that silver coupons aged with the Klug gummed paper tape received a temporary score due to a pale purple coating over both coupons. The silver coupons aged with Neschen Filmoplast SH (Fig. 9D) showed dark purple and rainbow tarnishing, warranting an unsuitable score.

cintas adhesivas restantes, ya que fallaron la prueba Oddy en general.

La Figura 9 muestra el rango de corrosión que las lengüetas de plata pueden exhibir tras ser expuesta a VOCs en el transcurso de la prueba Oddy. La Figura 9A muestra una imagen de los controles envejecidos artificialmente, lengüetas envejecidos sin material comercial presente. Como era de esperar, no se observó corrosión. La Figura 9B muestra lengüetas envejecidos artificialmente con cinta Lineco Abaca.sa Paper Hinging; aquí también, la plata no se vio afectada. La Figura 9C

Papers used for matting or mounting photographs

Five black papers were Oddy tested to see whether they were safe for use mounting or matting photographs. Results reported below were specific to the black papers tested; other colored papers from the same manufacturer and product line would likely give different Oddy test results. Table 2 shows that three of the five papers received a permanent rating, meaning they were suitable for use in the vicinity of photographs for long periods. These papers included the Strathmore Artagain drawing paper (Fig. 10B), the Hahnemühle Antique Endleaf Bugra paper, and the Antique Endleaf paper distributed by Talas (the manufacturer of this paper was not disclosed). The Stonehenge neutral pH paper received a temporary score overall due to slight darkening of the lead coupons (Fig. 10C) and was therefore only suitable for use near photographs for short periods. The Canson Ingres high rag content paper was deemed unsuitable as VOCs from this paper heavily tarnished the silver coupons (Fig. 10D). Two possible sources of silver tarnish could be kraft fibers included in the paper pulp or colorants used to make the paper black as both may contain sulfur. Further work would be necessary to validate either hypothesis.

The overarching goal of Oddy testing materials is to prolong the life of a photograph. It is important to consider not only the changes to the art itself but also the environment around the art as this can accelerate the degradation of photographs. Testing of materials deemed suitable for use near art, even if only for short periods, should be repeated on a biannual basis as manufacturers often modify the composition of materials without alerting customers; these modifications can have a positive or negative impact on collections.

muestra que las lengüetas de plata envejecidas con la cinta adhesiva de papel engomado Klug recibieron una puntuación temporal debido a una capa de color púrpura pálido sobre ambas lengüetas. Las lengüetas de plata envejecidas con Neschen Filmoplast SH (Fig. 9D) mostraron un empañamiento de color púrpura oscuro y arco iris, lo que garantiza una puntuación inadecuada.

Papeles utilizados para montar fotografías

Se estudiaron cinco papeles negros con el test Oddy para ver si eran seguros de usar en el montaje de fotografías. Los resultados reportados a continuación son específicos de los papeles negros estudiados; otros papeles de colores del mismo fabricante y línea de productos probablemente darían resultados diferentes a el test Oddy. La Tabla 2 muestra que tres de los cinco artículos recibieron una calificación permanente, lo que significa que eran adecuados para su uso en las proximidades de fotografías durante períodos prolongados. Estos papeles incluyen el papel de dibujo Strathmore Artagain (Fig. 10B), el papel Hahnemühle Antique Endleaf Bugra y el papel Antique Endleaf distribuido por Talas (se desconoce el fabricante de este papel). El papel de pH neutro de Stonehenge recibió en general una puntuación temporal debido a un ligero oscurecimiento de las lengüetas de plomo (Fig. 10C) y, por tanto, su uso cerca de fotografías solo es adecuado durante períodos cortos. El papel Canson Ingres de alto contenido de trapo se consideró inadecuado ya que los VOC de este papel oscurecieron en gran medida las lengüetas de plata (Fig. 10D). Dos posibles fuentes de deslustre de la plata podrían ser las fibras kraft incluidas en la pulpa del papel o los colorantes utilizados para hacer que el papel sea negro, ya que ambos pueden contener azufre. Sería necesario seguir investigando para validar cualquiera de las hipótesis.

El objetivo principal de testar los materiales con el test Oddy es prolongar la vida útil de una fotografía. Es importante considerar no solo los cambios en el arte en sí, sino también el entorno que lo rodea, ya que esto puede acelerar la degradación de las fotografías. El estudio

Table 2 | Summary of the manufacturer or distributor, name, color, and Oddy test results of a series of black papers slated for use matting photographs. Permanent (P) means suitable for long-term use near art. Temporary (T) means can be used near art for 3-6 months. Unsuitable (U) means should not be used near art.

Tabla 2 | Resumen del fabricante o distribuidor, nombre, color y resultados de las pruebas Oddy de una serie de papeles negros usados para montar fotografías. Permanente (P) significa adecuado para un uso prolongado cerca del arte. Los medios temporales (T) se pueden utilizar cerca del arte durante 3-6 meses. Los medios inadecuados (U) no deben usarse cerca del arte.

| Manufacturer-Distributor/ <i>Fabricante/Distribuidor</i> | Product Name/ <i>Nombre del producto</i> | Color/ <i>Color</i> | Copper Oddy Score / <i>Puntuación de Oddy en cobre</i> | Silver Oddy Score / <i>Puntuación de Oddy en plata</i> | Lead Oddy Score / <i>Puntuación de Oddy en plomo</i> | Final Oddy Score / <i>Puntuación Oddy final</i> |
|---|--|-------------------------|--|--|--|---|
| Canson Ingres | High rag content, gelatin sized, not acid-free; 100gsm <i>Alto contenido de trapo, tamaño de gelatina, no libre de ácido; 100 gramos/m²</i> | Black / <i>Negro</i> | P | U | P | U |
| Hahnemuhle Ingres | Antique Endleaf Bugra paper, #313; 100% alpha cellulose, duo-surface paper; 130gsm <i>Papel antiguo Endleaf Bugra, n.º 313; 100% alfa celulosa, papel de doble superficie; 130 g/m²</i> | Black / <i>Negro</i> | P | P | P | P |
| Stonehenge Paper | Neutral pH buffered with CaCO ₃ ; chlorine free; 250gsm <i>PH neutro tamponado con CaCO₃; libre de cloro; 250 g/m²</i> | Black / <i>Negro</i> | P | P | T | T |
| Strathmore | Artagain drawing paper; 30% acid free, post consumer material; 160gsm <i>Papel de dibujo Artagain; 30% libre de ácido, material postconsumo; 160 g/m²</i> | Black / <i>Negro</i> | P | P | P | P |
| Talas | Antique Endleaf paper; acid free; lignin free; minimum of 2% alkaline reserve; 104gsm. <i>Papel Antique Endleaf; libre de ácido; libre de lignina; mínimo 2% de reserva alcalina; 104 g/m²</i> | Black / <i>Negro</i> | P | P | P | P |

Conclusion

Photographs are constantly changing but most prints tend to change relatively little when displayed and stored under appropriate conditions. To assess the relative stability of a photograph, conservators and conservation scientists typically

de los materiales considerados adecuados para su uso cercano al arte, debe repetirse cada dos años, aunque solo sea por períodos cortos, ya que los fabricantes a menudo modifican la composición de los materiales sin alertar a los clientes, y estas modificaciones pueden tener un impacto positivo o negativo en las colecciones.

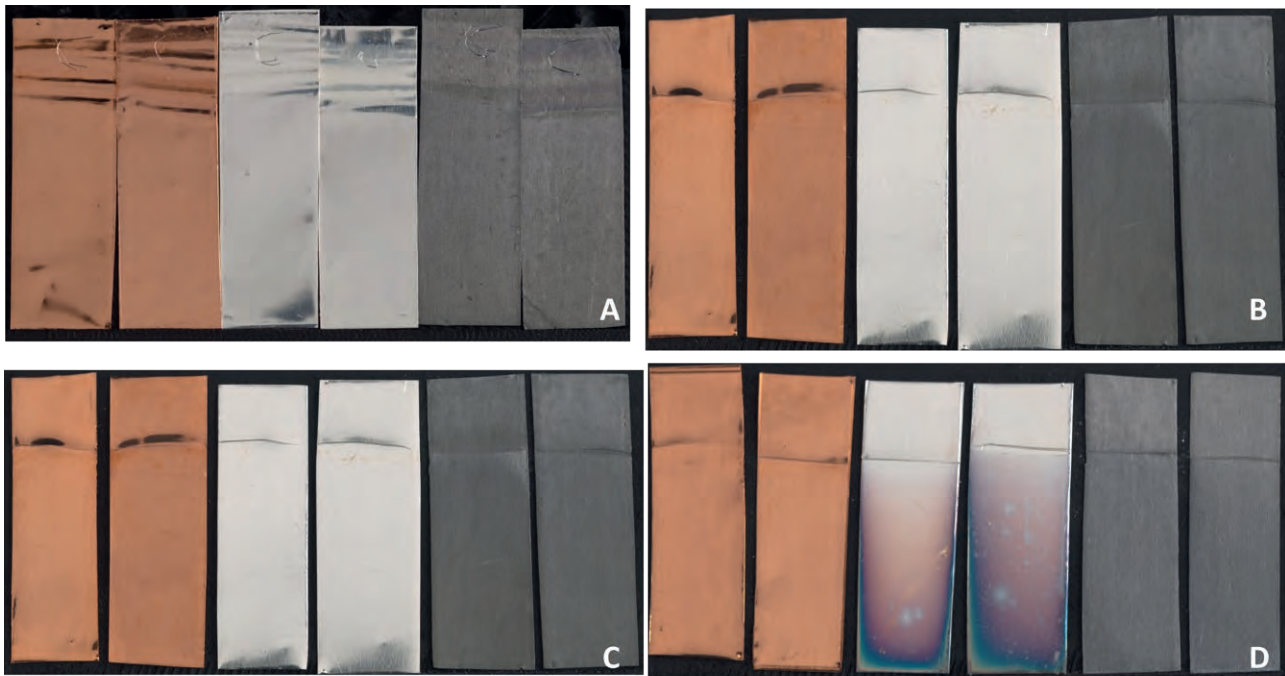


Figure 10 | Photographs of Oddy test coupons artificially aged with black papers for 28 days at 60°C followed by Final Oddy Score. **A.** Control (no score). **B.** Strathmore Artagain drawing paper (permanent). **C.** Stonehenge Neutral pH buffered with CaCO₃ paper (temporary). **D.** Canson Ingres High rag content paper (unsuitable).

Figura 10 | Fotografías de lengüetas utilizadas durante la prueba Oddy envejecidas artificialmente con papeles negros durante 28 días a 60°C, acompañadas de la puntuación Oddy final. **A.** Control (sin puntuación). **B.** Papel de dibujo Strathmore Artagain (permanente). **C.** Stonehenge pH neutro tamponado con papel CaCO₃ (temporal). **D.** Papel Canson Ingres con alto contenido de trapo (inadecuado).

start by identifying the photographic process and the materials that compose the image and support, but the rate of change depends on how these materials interact with each other, the housing materials, and the surrounding environment.

Based on current knowledge, it is not possible to predict, with an acceptable degree of certainty, how all the variables that rule the interactions of the photographic components, among themselves or with the environment, will play out for a particular photograph during exhibition and storage. Sometimes a photograph may appear stable when

Conclusión

Las fotografías cambian constantemente, pero la mayoría de las impresiones tienden a cambiar relativamente poco cuando se exponen y almacenan en condiciones adecuadas. Para evaluar la estabilidad relativa de una fotografía, los conservadores y los científicos especializados en conservación suelen comenzar por identificar el proceso fotográfico y los materiales que componen la imagen y el soporte, pero la velocidad del cambio depende de cómo estos materiales interactúan entre sí, de los propios materiales y del ambiente circundante.

examined with the naked eye; there are other times when a print appears to be unstable. The only way to be sure is to examine the image more closely.

The analysis of a photograph's materials and techniques is combined with spectrophotometric measurements in the same spots, before, during and after periods of exhibition or storage. These measurements often identify changes before they are detectable by the human eye and may reveal trends in behavior that can help explain how different photographs may change under similar conditions.

The main goal of characterization, measurement of color change, and materials testing is to answer practical questions about how to safely exhibit and store photographic materials. Since changes incurred in photographs over time are cumulative and irreversible, decisions about the use and storage of collections play an important role in the management of this non-renewable resource. Ideal conditions for long-term preservation of photographs would be uninterrupted storage in a cold, dry, and dark environment. However, fine art photographs are intended to be viewed, making light exposure and ambient environmental conditions an unavoidable reality. Preservation efforts must therefore establish an acceptable balance between display and storage; an in-depth understanding of how photographs are affected by their environment is the most effective way to achieve this.

Basándonos en los conocimientos actuales, no es posible predecir, con un grado aceptable de certeza, cómo se desarrollarán todas las variables que rigen las interacciones de los componentes fotográficos, entre ellos o con el entorno, para una fotografía en particular durante su exposición y almacenamiento. A veces, una fotografía puede parecer estable cuando se examina a simple vista; hay otras ocasiones en las que una impresión parece inestable. La única forma de estar seguro es examinar la imagen más de cerca.

El análisis de los materiales y técnicas de una fotografía se puede combinar con mediciones espectrofotométricas de una misma área, antes, durante y después de los períodos de exposición o almacenamiento. Estas mediciones a menudo identifican cambios antes de que sean visibles al ojo humano y pueden revelar tendencias en el comportamiento que pueden ayudar a explicar cómo diferentes fotografías pueden cambiar en condiciones similares.

El objetivo principal de la caracterización, la medición del cambio de color y el testado de materiales es responder a preguntas prácticas sobre cómo mostrar y almacenar materiales fotográficos de manera segura. Dado que los cambios experimentados en las fotografías a lo largo del tiempo son acumulativos e irreversibles, las decisiones sobre el uso y almacenamiento de las colecciones juegan un papel importante en la gestión de este recurso no renovable. Las condiciones ideales para la conservación de fotografías a largo plazo serían el almacenamiento ininterrumpido en un ambiente frío, seco y oscuro. Sin embargo, las fotografías artísticas están concebidas para ser observadas, lo que hace que la exposición a la luz y las condiciones ambientales sean una realidad inevitable. Ello hace que la conservación deba establecer un equilibrio aceptable entre exposición y almacenamiento; la forma más eficaz de lograrlo es haber entendido en profundidad cómo el entorno afecta a las fotografías.

Methods and Experimental Conditions

X-ray fluorescence spectra at specific locations were acquired using a Bruker ARTAX 400, with a Rh tube operated at 50 kV and 700 μ A, and flushing He, for a 200 s live time for [*Carlota Cortudino*] and [*Bank Robber Aiming at Security Camera*, Cleveland, Ohio] and 100 s for [*Nude with a Mask*]. Spectra acquired in areas with different image densities, maximum density (Dmax), medium density (Dmid) and minimum density (Dmin), and in the mounts were compared to determine which elements are associated with the image material.

In-situ Raman measurements were done using a Renishaw System 1000 spectrometer configured with a Leica DM LM microscope, using a 785 nm laser line for excitation. The laser beam was focused on the different areas of the photographs placed on the stage of the microscope using a 20x long working distance objective. Neutral density filters were used to set the laser power at the sample to values between 0.5 and 2.0 mW. A 1200 lines/mm grating was used and 20–120 scans were acquired in each spot. The wavenumber stability and the accuracy were checked by recording the Raman spectrum of a silicon wafer (520 cm^{-1}).

Spectrophotometer measurements were taken using X-Rite 968 and X-Rite eXact Advanced handheld reflectance spectrophotometers with 0°/45° internal geometry. The eXact was used in M0 mode. Both instruments have a 4 mm aperture and were used with Standard Illuminant C and a 2° Standard Observer. All readings were taken using a Mylar template with measurement sites marked and cut out. Each complete measurement is the average of five individual measurements taken in succession, lifting and repositioning the instrument between each reading. ΔE_{ab} values were calculated using the 1976 formula.

Métodos y condiciones experimentales

Los espectros de fluorescencia de rayos X en zonas puntuales se obtuvieron con un Bruker ARTAX 400, con un tubo Rh operado a 50 kV y 700 μ A, y flujo de He, durante 200 s tiempo de permanencia [*Carlota Cortudino*] y [*Atracador de banco apuntando a cámara de seguridad*, Cleveland, Ohio] y 100 s para [*Desnudo con máscara*]. Los espectros adquiridos en áreas con diferentes densidades de imagen, densidad máxima (Dmax), densidad media (Dmid) y densidad mínima (Dmin), y se compararon los montajes para determinar qué elementos estaban asociados con el material de la imagen.

El análisis *in situ* Raman se realizó con un espectrómetro Renishaw System 1000 acoplado a un microscopio Leica DM LM, utilizando un láser de 785 nm como fuente de excitación. El haz láser se enfocó hacia diferentes áreas de las fotografías colocadas sobre una platina del microscopio usando un objetivo de 20x para una distancia de trabajo larga. Se utilizaron filtros de densidad neutra para ajustar la potencia del láser en la muestra a valores entre 0,5 y 2,0 mW. Se utilizó una rejilla de 1200 líneas/mm y se adquirieron de 20 a 120 escaneos en cada punto. La estabilidad del número de onda y la precisión se comprobaron registrando el espectro Raman de una oblea de silicio (520 cm^{-1}).

Las mediciones de espectrofotometría se tomaron utilizando espectrofotómetros de reflectancia portátiles X-Rite 968 y X-Rite eXact Advanced con una geometría interna de 0°/45°. El eXact se utilizó en modo M0. Ambos instrumentos tienen una apertura de 4 mm y se utilizaron con Standard Illuminant C y un ángulo de 2°. Todas las lecturas se tomaron utilizando una plantilla de Mylar con los puntos de medición marcados y recortados. Cada medición completa es el promedio de cinco mediciones individuales tomadas sucesivamente, levantando y reposicionando el instrumento entre cada lectura. Los valores de ΔE_{ab} se calcularon utilizando la fórmula de 1976.

Microfade testing was performed using the original MFT kit designed by Paul Whitmore and purchased from Newport Oriel (Whitmore et al.,1999). The equipment consists of a xenon arc lamp light source, a digital light controller, UV filter, spectrophotometer, and fiber optic cables arranged in a 0°/45° measurement geometry. Measurements were taken using standard illuminant D65 and 2° standard observer with Control Development Spec32 software. The ΔE_{ab} values were calculated using the 1976 formula. For each test, two measurements were taken in adjacent areas at each site and averaged. The data are presented here juxtaposed against measurements taken on ISO BW1–BW3.

Oddy testing was completed using The Met's latest 3-in-1 protocol (AIC, 2019). Three high purity metal coupons, including copper, silver, and lead, were hung from a 3D printed nylon holder, sealed in a 125 mL Pyrex test jar with 0.5 mL 18 MW water and artificially aged at 60°C for 28 days (Stephens et al., 2018). After incubation, corrosion of test coupons was visually assessed by comparison to control coupons that were aged in the same way but with no tape or paper inside. Coupons that looked similar to the aged controls were rated “permanent”. Permanent materials can be used in contact with, or in the vicinity of, artwork for as long as desired. Coupons that displayed a change in color, darkening, small numbers of dark spots, or limited crystal formation were rated “temporary”. Temporary materials can be used near, but not in contact with, artwork for up to six months. Coupons that showed severe darkening, color change, or significant crystal formation were rated “unsuitable”. Unsuitable materials should not be used near artwork under any circumstance. Individual scores are combined to generate a Final Oddy score. This score is based on the lowest score from all three metals and is

El análisis de micro-desvanecimiento se realizó con un kit MFT original diseñado por Paul Whitmore y comprado a Newport Oriel (Whitmore et al.,1999). El equipo consta de una fuente de luz de arco una lámpara de xenón, un controlador de luz digital, filtro UV, espectrofotómetro y cables de fibra óptica con una geometría de medición de 0°/45°. Las medidas se tomaron usando el estándar de iluminación D65 y un ángulo de observación estándar de 2° con el software Control Development Spec32. Los valores de ΔE_{ab} se calcularon utilizando la fórmula de 1976. Para cada prueba, se tomaron dos mediciones en áreas adyacentes en cada punto y se promediaron. Los datos presentados aquí están yuxtapuestos a las mediciones tomadas en ISO BW1 – BW3.

Los test de Oddy se realizaron utilizando el último protocolo 3 en 1 desarrollado por The Met (AIC, 2019). Se colocaron tres lengüetas de metal de alta pureza, que incluían cobre, plata y plomo, colgando de un soporte de nylon impreso en 3D, y se sellaron en un frasco de prueba Pyrex de 125 mL con 0,5 mL de agua 18 MW y se envejecieron artificialmente a 60°C durante 28 días (Stephens et al., 2018). Después de la incubación, la corrosión de las lengüetas de prueba se evaluó visualmente en comparación con las lengüetas de control que se envejecieron de la misma manera, pero sin cinta ni papel en el interior. Las lengüetas que lucían similares a los controles envejecidos se clasificaron como “permanentes”. Los materiales permanentes se pueden usar en contacto con, o cerca de, obras de arte durante el tiempo que se desee. Los cupones que mostraban un cambio de color, oscurecimiento, pequeñas cantidades de manchas oscuras o una formación de cristales limitada se clasificaron como “temporales”. Los materiales temporales se pueden usar cerca de obras de arte, pero no en contacto con ellas, hasta un máximo de seis meses. Los cupones que mostraban un oscurecimiento severo, cambio de color o una formación significativa de cristales se clasificaron como “inadecuados”. No se deben utilizar materiales inadecuados cerca de obras de arte bajo ninguna circunstancia.

used to guide decisions regarding whether or not to use a material near art.

Aged Oddy test coupons were photographed using a Canon EOS 80D digital camera bolted to a custom-built imaging station. The camera's mirror was held open and an ISO100 setting was used to keep image noise to a minimum. Diffuse lighting illumination was created using a Rosco 12"×12" LitePad HO90 Daylight-Balanced LED Softlight. An ISA Rez Checker color chart was photographed alongside each set of coupons so that raw data photographs could be color-corrected and processed using a standardized procedure in Adobe Lightroom Classic software.

Acknowledgements

The authors are indebted to Lisa Barro, formerly a Photograph Conservator at The Met and currently at Barro Conservation LLC, for carrying out the initial acquisition of some of the spectra using traditional XRF; Andrea Schlather, formerly an Annette de la Renta Fellow at The Met, for her assistance in some of the XRF measurements; as well as Nora Kennedy and Georgia Southworth in the Department of Photograph Conservation at The Met for their support and input.

Oddy testing was supported by the Institute of Museum and Library Services (IMLS) National Leadership Grant [MG-30-16-0083]. Eric Breitung, Alayna Bone, and Isabella Buscarino are thanked for their assistance with this work. The Oddy test information discussed here is intended to be used for general reference and educational purposes only. The Metropolitan Museum of Art does not endorse, approve, or recommend any product. Readers are solely responsible for determining appropriate products and treatment for their individual circumstances.

Las puntuaciones individuales se combinan para generar una puntuación final de Oddy. Esta puntuación se basa en la puntuación más baja de los tres metales y se utiliza para orientar las decisiones sobre si utilizar o no un material cercano a una obra de arte.

Las lengüetas envejecidas con el test Oddy se fotografiaron utilizando una cámara digital Canon EOS 80D sujeta a una estructura personalizada. El espejo de la cámara se mantuvo abierto y se ajustó a ISO100 para mantener el ruido de la imagen al mínimo. La iluminación con luz difusa se creó utilizando una luz suave LED con equilibrio de luz diurna LitePad HO90 de Rosco de 12"×12". Junto con cada conjunto de lengüetas se fotografió una tabla de colores ISA Rez Checker para que las fotografías de datos sin procesar pudieran corregirse y procesarse mediante el procedimiento estándar con el software Adobe Lightroom Classic.

Agradecimientos

Los autores agradecen a Lisa Barro, anteriormente conservadora de fotografías en The Met y actualmente en Barro Conservation LLC el realizar la adquisición inicial de algunos de los espectros utilizando XRF tradicional; a Andrea Schlather, anteriormente becaria Annette de la Renta en The Met por su ayuda en algunas de las mediciones de XRF; así como a Nora Kennedy y Georgia Southworth del Departamento de Conservación de Fotografías de The Met por su apoyo y sugerencias.

Los test Oddy fueron financiadas por la Beca de Liderazgo Nacional del Instituto de Servicios de Museos y Bibliotecas (IMLS) [MG-30-16-0083]. Se agradece a Eric Breitung, Alayna Bone e Isabella Buscarino por su ayuda. La información de la prueba Oddy que se describe aquí está destinada a ser utilizada únicamente con fines educativos y de referencia general. The Metropolitan Museum of Art no respalda, aprueba ni recomienda ningún material. Los lectores son los únicos responsables de determinar los materiales y el tratamiento adecuados para sus circunstancias particulares.

References | Bibliografía

- Abbaspour, M., Daffner, L.A. & Hambourg, M.M. (2014). Object: Photo. Modern photographs: The Thomas Walther Collection 1909–1949 at The Museum of Modern Art. Retrieved July 16, 2020 from https://www.moma.org/interactives/objectphoto/materials/material_analysis.html
- American Institute for Conservation (AIC). (2019). *Oddy Test Protocols*. Retrieved September 9, 2020 from https://www.conservation-wiki.com/wiki/Oddy_Test_Protocols
- American Institute for Conservation (AIC). (2020). *Oddy Test Results: Exhibition Fabrics*. Retrieved September 9, 2020 from https://www.conservation-wiki.com/wiki/Oddy_Test_Results:_Exhibition_Fabrics
- Ashley-Smith, J., Derbyshire, A. & Pretzel, B. (2002). The Continuing Development of a Practical Lighting Policy for Works of Art on Paper and Other Object Types at the Victoria and Albert Museum. In R. Vontobel (Ed.). *ICOM-CC 13th Triennial Meeting Preprints, Rio de Janeiro, 22–27 September 2002* (pp. 3-8). London: James & James.
- Bamberger, J.A., Howe, E.G. & Wheeler, G. (1999). A variant Oddy Test Procedure for Evaluating Materials Used in Storage and Display Cases. *Studies in Conservation*, 44(2), 86-90. <https://doi.org/10.1179/sic.1999.44.2.86>
- Barro, L., Sanderson, S., Centeno, S.A. & Saunders, B. (2020). The Exhibition and Characterization of Seven Salted Paper Prints. *Journal of the American Institute for Conservation*, 1-15. <https://doi.org/10.1080/01971360.2019.1696914>
- Berns, R.S., Billmeyer, F.W. & Saltzman, M. (2000). *Billmeyer and Saltzman's Principles of Color Technology*. New York: Wiley.
- Bradley, S. (2005). Preventive Conservation Research and Practice at the British Museum. *Journal of the American Institute for Conservation*, 44(3), 159-173. <https://doi.org/10.1179/019713605806082248>
- Bullock, L. & Saunders, D. (2001). Measurement of Cumulative Exposure Using Blue Wool Standards. *Journal of the Society of Archivists*, 22, 21–26.
- Carroll, B.H., Higgins, G.C. & James, T.H. (1986). *Introduction to Photographic Theory: The Silver Halide Process*. Rochester, New York: Eastman Kodak Company.
- Čechák, T., Kopecká, I., Trojek, T., Štanzel, T. & Bártová, H. (2015). Application of X-ray Fluorescence in an Investigation of Photographic Heritage. *Radiation Physics and Chemistry*, 116, 8-13. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2015.05.015>
- Centeno, S.A., Kennedy, N.W., Romer, G.B., Schlather, A. & Cervera Xicotencatl, A. (2019). Un daguerreotype monster. In S. Pinson (Ed.) *Monumental Journey. The Daguerreotypes of Girault de Prangey* (pp. 112-116). New York and London: The Metropolitan Museum of Art/Distributed by Yale University Press
- Centeno, S.A., Meller, T., Kennedy, N.W. & Wypyski, M.T. (2008). The Daguerreotype Surface as a SERS Substrate: Characterization of Image Deterioration in Plates from the Nineteenth-Century Studio of Southworth & Hawes. *Journal of Raman Spectroscopy*, 39(7), 914-921. <https://doi.org/10.1002/jrs.1934>
- Chen, J.J. & Smith, T.J. (2019). Documentation of Salted Paper Prints with a Modified Digital Camera. *Journal of the American Institute for Conservation*, 59(3-4), 271-285. <https://doi.org/10.1080/01971360.2019.1643527>
- Clarke, M.L., McCabe, C. & Maines, C.A. (2014). Unraveling the Modified Surface of the Photographic Paper 'Japine'. *Analytical Methods*, 6, 147-155. <https://doi.org/10.1039/C3AY41630E>
- Clarke, M.L., McCabe, C., Maines, C.A., Centeno, S.A., Barro, L. & Vila, A. (2015). An Investigation into Japine Platinum Photographs: William Willis's Proprietary Paper. *Journal of the American Institute for Conservation (JAIC)*, 54(4), 213-223. <https://doi.org/10.1179/1945233015Y.0000000009>
- Dandridge, P. (2005). The Exhibition of Unlacquered Silver at The Metropolitan Museum of Art. *Journal of the American Institute for Conservation*, 44(3), 175-183. <https://doi.org/10.1179/019713605806082257>
- Daniels, V. & Ward, S. (1982). A Rapid Test for the Detection of Substances which will Tarnish Silver. *Studies in Conservation*, 27(2), 58-60. <https://doi.org/10.1179/sic.1982.27.2.58>

- Derrick, M.R., Stulik, D.C. & Landry, J.M. (1999). *Infrared Spectroscopy in Conservation Science*. Los Angeles, CA: Getty Conservation Institute.
- Eaton, G.T. (1987). History of Processing and Image Stability. In D.H. Norris and J.J. Gutierrez (Eds.) *Issues in the Conservation of Photographs* (pp. 212-226). Los Angeles, CA: Getty Conservation Institute.
- Freeman, S., Druzik, J., Harnly, M. & Pesme, C. (2014). Monitoring Photographic Materials with a Microfade Tester. In J. Bridgland (Ed.) *ICOM-CC 17th Triennial Conference Preprints, Melbourne, September 2014* (9 pp.). Paris: International Council of Museums.
- Green, L.R. & Thickett, D. (1995). Testing Materials for Use in the Storage and Display of Antiquities—a Revised Methodology. *Studies in Conservation*, 40(3), 145-152. <https://doi.org/10.1179/sic.1995.40.3.145>
- Grieten, E. & Casadio, F. (2010). X-ray Fluorescence Portable Systems for the Rapid Assessment of Photographic Techniques in Notable Art Collections: The Alfred Stieglitz Collection. *X-Ray Spectrometry*, 39, 221-229. <https://doi.org/10.1002/xrs.1234>
- Haist, G.M. (1979). *Modern Photographic Processing* (Vol. 1). New York: Wiley.
- Hendriks, K.B. (1991). On the Mechanism of Image Silver Degradation. In D.H. Norris & J.J. Gutierrez (Eds.) *Issues in the Conservation of Photographs* (pp. 227-235). Los Angeles, CA: Getty Conservation Institute.
- Herring, R. & Croly, G. (1856). *Paper & Paper Making, Ancient and Modern* (2nd ed.) London: Longman, Brown, Green, and Longmans.
- Howard, D.L., de Jonge, M.D., Paterson, D. & Thurrowgood, D. (2018). Chemical Processing of an Early Salt Print Photograph Revealed with X-ray Fluorescence Elemental Mapping. *Microscopy and Microanalysis*, 24, 488-489. <https://doi.org/10.1017/S1431927618014678>
- Johnson, C.R., Messier, P., Sethares, W.A., Klein, A.G., Brown, C., Do, A.H., Klausmeyer, P., Abry, P., Jaffard, S., Wendt, H., Roux, S., Pustelnik, N., Van Noord, N., Van Der Maaten, L., Postma, E., Coddington, J., Daffner, L.A., Murata, H., Wilhelm, H., Wood, S. & Messier, M. (2014). Pursuing Automated Classification of Historic Photographic Papers from Raking Light Images. *Journal of the American Institute for Conservation*, 53(3), 159-70. <https://doi.org/10.1179/1945233014Y.0000000024>
- Kennedy, N.W., Smieska, L., Centeno, S.A. & Ruiz-Molina, M. (2018). A Hidden Photograph by Julia Margaret Cameron. *Metropolitan Museum Journal*, 53, 162-173. <https://doi.org/10.1086/701748>
- Korenberg, C., Keable, M., Phippard J. & Doyle, A. (2018). Refinements Introduced in the Oddy Test Methodology. *Studies in Conservation*, 63(1), 2-12. <https://doi.org/10.1080/00393630.2017.1362177>
- Krill, J. (2002). *English Artists' Paper: Renaissance to Regency* (2nd ed., expanded and corrected). New Castle, Winterthur, DE: Oak Knoll Press.
- Lavédrine, B., Lavédrine, J., Gandolfo, J.-P., Lavédrine, P., & Monod, S. (2003). *A guide to the Preventive Conservation of Photograph Collections*. Los Angeles: Getty Conservation Institute.
- Lavédrine, B. (2009). *Photographs of the Past: Process and Preservation*. Los Angeles: Getty Conservation Institute.
- McCabe, C. (Ed.). (2005). *Coatings on Photographs: Materials, Techniques, and Conservation*. Washington, D.C.: American Institute for Conservation.
- McClelland, A., Bulat, E., Bernier, B. & Murphy, E.L. (2019). Specular Reflection FTIR: A Non-Contact Method for Analyzing Coatings on Photographs and Other Cultural Materials. *Journal of the American Institute for Conservation*, 59(2), 123-136. <https://doi.org/10.1080/01971360.2019.1660546>
- McGlinchey, C., Maines, C. & Christensen, M.C. (2005). Chemistry and Analysis of Coating Materials. In C. McCabe (Ed.) *Coatings on Photographs: Materials, Techniques, and Conservation* (1st ed., pp. 22-47). Ardmore PA: The Photographic Materials Group of the American Institute for Conservation of Historic & Artistic Works.
- Messier, P. (2008). Les Emulsion industrielles. In A. Cartier- Bresson (Ed.), *Le Vocabulaire technique de la photographie* (pp. 454-456). Paris: Les Editions Marval.

- Messier, P. (2011). Photographic Papers in the 20th Century: Methodologies for Research Authentication and Dating. *PAULMESSIER: Conservation of Photographs & Works on Paper*. https://b4671031-ead1-4a4a-9f25-3dd095e9f9d0.filesusr.com/ugd/750e25_d15c2c281198407093eb512139ca226b.pdf. Retrieved July 30, 2020.
- Messier, P. (2014). Image Isn't Everything: Revealing Affinities across Collections through the Language of the Photographic Print. In M. Abbaspour, L.A. Daffner, & M. Morris Hambourg (Eds.) *Object: Photo. Modern Photographs: The Thomas Walther Collection 1909-1949. An Online Project of The Museum of Modern Art*. New York: The Museum of Modern Art. <http://www.moma.org/interactives/objectphoto/assets/essays/Messier.pdf>. Retrieved July 30, 2020.
- Messier, P., Baas, V., Tafilowski, D. & Varga, L. (2005). Optical Brightening Agents in Photographic Paper. *Journal of the American Institute for Conservation*, 44(1), 1-12. <https://doi.org/10.1179/019713605806082392>
- Murphy, E. (2009). XRF Identification of 20th Century Developer-Incorporated Stabilized Prints. In *Topics in Photographic Preservation* (Vol. 3, pp. 100-109). Washington, DC: American Institute for Conservation of Historic & Artistic Works.
- Neblette, C.B. & Sturge, J.M. (1977). *Neblette's Handbook of Photography and Reprography: Materials, Processes and Systems*. New York: Van Nostrand Reinhold.
- Oddy, W.A. (1973). An Unsuspected Danger in Display. *Museums Journal*, 73(1), 27-28.
- Ohta, N. & Robertson, A.R. (2005). *Colorimetry: Fundamentals and Applications*. Chichester, West Sussex, England: J. Wiley. <https://doi.org/10.1002/0470094745>
- Palomar, T., Ramirez Barat, B. & Cano, E. (2018). Evaluation of Cleaning Treatments for Tarnished Silver: The Conservator's Perspective. *International Journal of Conservation Science*, 9(1), 81-90.
- Pretzel, B. (1992). Analysis of Comparative Colour Changes Occurring in a Set of 19th Century Photographs by Lady Hawarden. In *Conference Proceedings: The Imperfect Image - Photographs, their Past, Present and Future, Windermere, Cumbria, England* (pp. 165-181). London: Centre for Photographic Conservation.
- Prouteaux, A., Lenormand, L.S, Paine, H. & Brown, H.T. (1866). *Practical Guide for the Manufacture of Paper and Boards*. Philadelphia: Henry Carey Baird.
- Reilly, J.M. (1980). *The Albumen and Salted Paper Book: The History and Practice of Photographic Printing* (2nd ed., pp. 1840-1895). Rochester, New York: RIT Cary Press.
- Reilly, J.M. (1986). *Care and Identification of 19th-Century Photographic Prints*. Rochester, NY: Eastman Kodak Co.
- Richardson, C. & Saunders, D. (2007). Acceptable Light Damage – A Preliminary Investigation. *Studies in Conservation*, 52(3), 117-187. <https://doi.org/10.1179/sic.2007.52.3.177>
- Samide, M.J., Liggett, M.C., Mill, J. & Smith, G.D. (2018). Relating Volatiles Analysis by GC-MS to Oddy Test Performance for Determining the Suitability of Museum Construction Materials. *Heritage Science*, 6(1), 47-57. <https://doi.org/10.1186/s40494-018-0213-2>
- Sanderson, K. (2015). A Comparative Study of Hand-Held Reflectance Spectrophotometers. In *Topics in Photographic Preservation* (Vol. 16, pp 47-62). Washington, DC: The American Institute for Conservation of Historic & Artistic Works.
- Sessa, C., Barro, L., Centeno, S.A., Bagán, H., Caró, F. & Garcia, J.F. (2016). Investigation of the Possible Origins of Sulphur in 19th Century Salted Paper Photographs by X-ray Fluorescence Spectroscopy. *X-ray Spectrometry*, 45, 176-184. <https://doi.org/10.1002/xrs.2684>
- Severson, D.G. (1986). The Effects of Exhibition on Photographs. In *Topics in Photographic Preservation* (Vol. 1, 47-62). Washington, DC: The American Institute for Conservation of Historic & Artistic Works.
- Shugar, A., Lough, K. & Chen, J.J. (2014). Characterization of a Surface Tarnish Found on Daguerreotypes Revealed under Shortwave Ultraviolet Radiation. *Mater. Res. Soc. Symp. Proc.*, 1656, 319-333. <https://doi.org/10.1557/opl.2014.706>
- Stephens, C.H., Buscarino, I. & Breitung, E. (2018). Updating the Oddy Test: Comparison with Volatiles Identified Using Chromatographic Techniques. *Studies in Conservation*, 63(sup1), 425-427. <https://doi.org/10.1080/00393630.2018.1471887>

- Stulik, D.C. & Kaplan, A. (2012). Application of a handheld XRF Spectrometer in Research and Identification of Photographs. In A.N. Shugar, J.L. Mass. (Eds.). *Handheld XRF for Art and Archaeology* (pp. 75-130). Leuven, Belgium: Leuven University Press. <https://doi.org/10.2307/j.ctt9qdzfs.7>
- Stulik, D.C. & Khanjian, H.P. (2003). Insight into Early Photographic Processes: Quantitative XRF Approach. In H. Townsend, K. Eremin & A. Adriaens (Eds.). *Conservation Science 2002*. Edinburgh, Scotland: Archetype Publications.
- Thickett, D. & Lee, L.R. (2004). Selection of Materials for the Storage or Display of Museum Objects. *British Museum Occasional Papers*, 111, 1-30.
- Tsukada, M., Rizzo A. & Granzotto, C. (2012). A New Strategy for Assessing off-Gassing from Museum Materials: Air Sampling in Oddy Test Vessels. *AIC Newsletter*, 37(1), 1-7.
- Vila, A. & Centeno, S.A. (2013). FTIR, Raman and XRF Identification of the Image Materials in Turn of the 20th Century Pigment-Based Photographs. *Microchemical Journal*, 106, 255-262. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2012.07.016>
- Vila, A., Centeno, S.A., Barro, L. & Kennedy, N.W. (2013). Understanding the Gum Dichromate Process in Pictorialist Photographs: A Literature Review and Technical Study. *Studies in Conservation*, 58(3), 176-188. <https://doi.org/10.1179/2047058412Y.0000000072>
- Vila, A., Centeno, S.A. & Kennedy, N.W. (2014). A Closer Look at Two Red Pictorialist Photographs by Demachy and Le Bègue. *Metropolitan Museum Studies in Art, Science & and Technology*, 2, 167-172.
- Ware, M. (1994). *Mechanisms of Image Deterioration in Early Photographs: The Sensitivity to Light of W.H.F. Talbot's Halide-Fixed Images* (pp. 1834-1844). London: Science Museum and National Museum of Photography, Film & Television.
- Whitmore, P.M., Pan, X. & Bailie, C. (1999). Predicting the Fading of Objects: Identification of Fugitive Colorants through Direct Nondestructive Lightfastness Measurements. *Journal of the American Institute for Conservation*, 38(3), 395-409. <https://doi.org/10.1179/019713699806113420>
- Whitmore, P.M., Bailie, C. & Connors, S.A. (2000). Micro-Fading Tests to Predict the Result of Exhibition: Progress and Prospects. *Studies in Conservation*, 45(1), 200-205. <https://doi.org/10.1179/sic.2000.45.Supplement-1.200>
- Whitmore, P.M. (2002). Pursuing the Fugitive: Direct Measurements of Light Sensitivity with Micro-Fading Tests. In H.K. Stratis & B.Salvesen (Eds.). *The Broad Spectrum: Studies in the Materials, Techniques, and Conservations of Color on Paper* (pp. 241-44). London: Archetype.
- Wilhelm, H. (1981). Monitoring the Fading and Staining of Color Photographic Prints. *Journal of the American Institute for Conservation*, 21(1), 49-64. <https://doi.org/10.1179/019713681806028613>