



II JORNADAS DE INVESTIGADORES JÚNIOR EN PATRIMONIO

Jornadas JIP - 2, 3 y 4 de abril de 2025

Ge-conservación
Conservação | Conservation

¿Qué ocurre cuando sellamos una trasera en pintura sobre lienzo? Estudio de los contaminantes gaseosos a través del pH microambiental

Daniel Morales-Martín, Alicia Sánchez-Ortiz

Resumen: El sellado perimetral de las traseras en pinturas sobre lienzo puede favorecer la concentración de compuestos volátiles emitidos tanto por los materiales de protección como por la propia obra, comprometiendo la estabilidad química del microclima en el reverso. El presente estudio evalúa dicha problemática mediante el análisis del pH ambiental en una serie de maquetas elaboradas con distintos materiales y sistemas de sellado comúnmente empleados en conservación. La medición cuantitativa de este parámetro se llevó a cabo mediante los sensores ópticos de pH ambiental. Los resultados de la metodología aplicada revelaron variaciones asociadas con la naturaleza de los productos testados y el grado de estanqueidad del sistema de cierre, lo que permitió valorar su influencia en la acumulación de contaminantes. De este modo, la investigación aporta datos relevantes para optimizar la elección de materiales y estrategias de sellado en esta medida pasiva de conservación preventiva.

Palabras clave: sensores sol-gel, pH ambiental, emisiones volátiles, conservación preventiva, pintura sobre lienzo

What happens when a backboard is sealed in canvas paintings? A study of gaseous contaminants via microenvironmental pH

Abstract: The perimeter sealing of backing in canvas paintings can promote the accumulation of volatile compounds emitted both by the protective materials and the artwork itself, thereby compromising the chemical stability of the microenvironment. This study evaluates this issue through the analysis of microenvironmental pH in a series of mock-ups constructed with various materials and sealing systems commonly used in conservation. Quantitative measurements of this parameter were carried out using optical pH sensors. The results revealed variations associated with the nature of the tested materials and the degree of airtightness of the sealing system, allowing for an assessment of their influence on contaminant accumulation. In this way, the research provides relevant data to optimize the selection of materials and sealing strategies in this passive preventive conservation measure.

Keywords: sol-gel sensors, environmental pH, volatile emissions, preventive conservation, canvas painting

Introducción

En el ámbito de la conservación-restauración de pintura sobre lienzo, la instalación de traseras se ha consolidado como una estrategia pasiva de conservación preventiva, orientada a minimizar el impacto de agentes de degradación extrínsecos. Estos sistemas de protección indirecta del reverso pueden clasificarse en función de su grado de ventilación: traseras selladas y traseras ventiladas. Las primeras se caracterizan por un cierre perimetral con cintas adhesivas o burletes, con el fin de estabilizar el microclima, reducir la pérdida de aire y amortiguar las vibraciones del soporte durante la manipulación o el

transporte (Green 1991; Daly Hartin 2016; Roonthiva y Bagan 2017). Las segundas, por el contrario, permiten una mayor circulación de aire a través de su estructura o mediante aberturas, con el propósito principal de prevenir la condensación de humedad en el interior del reverso y evitar el desarrollo de microorganismos (Michalski 2005).

El debate sobre las ventajas e inconvenientes de ambos sistemas se remonta a principios del siglo XX y continúa vigente en la actualidad (Achternkamp 1991; Roche 2016). A partir de la década de 1980, las traseras ventiladas comenzaron a caer en desuso, hasta ser consideradas un método *antiguo* en los años noventa (Lebret 1994; Buckley

2008). Aun así, se han seguido utilizando en contextos específicos, como el enmarcado de obras ubicadas en climas tropicales o cuando se emplean planchas sintéticas en espacios donde la humedad relativa (HR) supera el 80 % durante más de 30 días (Dixon 2012; Daly Hartin 2016). No obstante, se ha demostrado que perforar las traseras no evita el fenómeno de condensación, y que puede llegar a tener el efecto contrario si el aire exterior es húmedo y presenta un punto de rocío (Tdp) cercano a la temperatura (T) de la cara interna del material de protección (Padfield *et al.* 2020). Asimismo, también se ha recomendado realizar orificios de ventilación para evitar la acumulación de compuestos orgánicos volátiles (COVs) derivados de las traseras (Bouchayer 1991; Ballard 2012). Sin embargo, un estudio reciente, basado en la aplicación de los sensores ópticos de pH ambiental desarrollados por el grupo de investigación CERVITRUM del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), ha determinado que esta práctica no siempre mitiga dicho riesgo (Morales-Martín, Pastor Valls y Sánchez Ortiz 2024).

Además, se debe tener en cuenta que uno de los principales problemas asociados a las traseras selladas es la acumulación de COVs emitidos tanto por los materiales constitutivos de la obra como por los componentes de la propia trasera (Hackney 1990; Roche 2003). En función de las características técnico-materiales de la obra, dicho factor puede generar un microclima cuya composición química resulte desfavorable para su conservación (Morales-Martín y Sánchez Ortiz 2024). Además, según otros autores, este riesgo puede intensificarse en espacios confinados de pequeño volumen, donde se ha observado que la concentración de contaminantes puede superar la estimación esperada (Hackney 2020). No obstante, Padfield *et al.* (2020) demostraron que el sellado perimetral de la trasera no genera una cámara completamente estanca, sino que permite cierto grado de intercambio con el aire exterior, lo que, en teoría, favorecería la dilución de los COVs acumulados en el reverso de la obra.

A pesar del interés que ha suscitado esta problemática, hasta la fecha no ha sido objeto de un análisis exhaustivo. Los estudios previos se han centrado mayoritariamente en evaluar la acidez ambiental generada por un número muy limitado de materiales de protección (Hackney 2016). Sin embargo, los productos empleados en la confección de las traseras y en los sistemas de sellado son muy variados en cuanto a su distinta naturaleza y calidad (Morales-Martín 2023). Por tanto, cada uno de ellos puede influir de manera distinta en el pH del aire confinado, tal y como se demostró en el estudio mencionado anteriormente sobre traseras ventiladas (Morales-Martín, Pastor Valls y Sánchez Ortiz 2024).

En este contexto, el objetivo principal de la presente investigación es evaluar el impacto del sellado perimetral de distintos materiales de trasera sobre la acumulación de COVs en el reverso de pinturas sobre lienzo, mediante la medición del pH microambiental generado.

Los objetivos específicos son:

1. Evaluar la eficacia del sellado de los distintos tipos de trasera.
2. Analizar el comportamiento microclimático de diferentes materiales de sellado y su incidencia en la estabilidad química del espacio confinado entre la obra y la trasera.
3. Validar la metodología de medición mediante sensores ópticos de pH como herramienta cuantitativa para determinar el efecto de los materiales de protección sobre el microclima generado en el reverso de las pinturas.

Materiales y métodos

—Estudios experimentales con materiales artísticos de referencia

Para alcanzar los objetivos planteados en la presente investigación, se partió de la elaboración de las maquetas, concebidas como modelos experimentales para simular el comportamiento microambiental en el reverso de una pintura sobre lienzo protegida con diferentes materiales. Su proceso de construcción se articuló en dos etapas diferenciadas: la reproducción del supuesto pictórico, y la selección y colocación de distintos materiales de trasera.

El supuesto pictórico consistió en la recreación de una pintura no tradicional^[1] sobre lienzo, de reciente creación. La maqueta, con unas dimensiones exteriores de 44 × 34 × 2,5 cm, se compuso de un lienzo de algodón tensado sobre un bastidor de madera de pino. La superficie pictórica fue ejecutada con técnica mixta, combinando distintos acabados característicos de este tipo de obras: zonas de soporte visto impermeabilizado con cola animal, aplicación directa de pintura acrílica, preparación vinílica artesanal y pintura al óleo.

La selección de los materiales de trasera objeto de estudio se basó en dos criterios principales: en primer lugar, los productos que obtuvieron mayor número de menciones en una encuesta realizada en 2022, dirigida a profesionales del sector a nivel nacional e internacional; y en segundo lugar, los mejor valorados por su capacidad para amortiguar las oscilaciones de HR, según la clasificación elaborada por Debra Hartin para la wiki del American Institute for Conservation (Gridley 2023; Morales-Martín y Sánchez Ortiz 2024).

Conforme al primer criterio, se seleccionaron los siguientes materiales: cartón pluma libre de ácido, plancha alveolar de policarbonato (PC), cartón corrugado libre de ácido y cartón pluma común. En relación con el segundo criterio, se escogieron la plancha alveolar de polipropileno (PP) con

cartón en el interior, la plancha alveolar de PP, la plancha de polimetilmetacrilato (PMMA), el cartón laminado y el tablero de fibras duras de madera (MDF).

Adicionalmente, y en coherencia con los objetivos de esta investigación, se incorporaron los materiales que se muestran a continuación:

- Tableros de contrachapado crudo y fenólico, incluidos por su uso tradicional como traseras, a pesar de sus limitaciones asociadas a sus emisiones ácidas y a su peso (Achternkamp 1991).

- Chapa de aluminio, incorporada por su reciente propuesta como sistema de barrera frente a variaciones térmicas provenientes del muro de exposición (Padfield et al., 2020; Ferrer et al. 2022).

- Film de poliéster (PET), seleccionado por su ligereza y transparencia, especialmente útil para obras en exposición permanente que no requieren manipulación frecuente (Mills, Steehouder y Gardener 2010).

Para el sellado perimetral de las traseras se seleccionaron cuatro productos: dos cintas adhesivas, una de aluminio y otra de papel Kraft engomado, y dos tipos de burletes autoadhesivos, uno de espuma de policloruro de vinilo (PVC) y otro de espuma de etileno-propileno-dieno-

monómero (EPDM). Este último se incluyó a pesar de estar desaconsejado por el Canadian Conservation Institute (CCI) debido a la posible emisión de compuestos nocivos (Daly Hartin, 2016). No obstante, como señalaron Mills, Steehouder y Gardene, (2010), ciertos materiales no recomendados por su naturaleza o calidad, han continuado utilizándose en la práctica profesional, lo que justifica su inclusión en este estudio.

La instalación de las traseras^[2] y de los burletes se realizó siguiendo las directrices establecidas por el CCI (Daly Hartin 2016). En el caso de las cintas adhesivas, debido a la ausencia de pautas específicas en la bibliografía consultada, su aplicación se basó en criterios propios. Con el fin de optimizar su eficacia, se colocaron por debajo de los puntos de fijación, evitando así la formación de pliegues en las zonas correspondientes a los tornillos [Figura 1].

Junto a los modelos de trasera individual se realizaron otros de control. Por un lado, una maqueta sin protección y, por otro, una plancha de vidrio embutida en el bastidor para conocer el pH microambiental generado únicamente por los elementos del conjunto pictórico. Finalmente, en función de los distintos materiales de trasera y de sellado seleccionados [Figura 2], así como de los modelos de control, se elaboró un total de 67 maquetas experimentales, tal como se detalla en la Tabla 1.

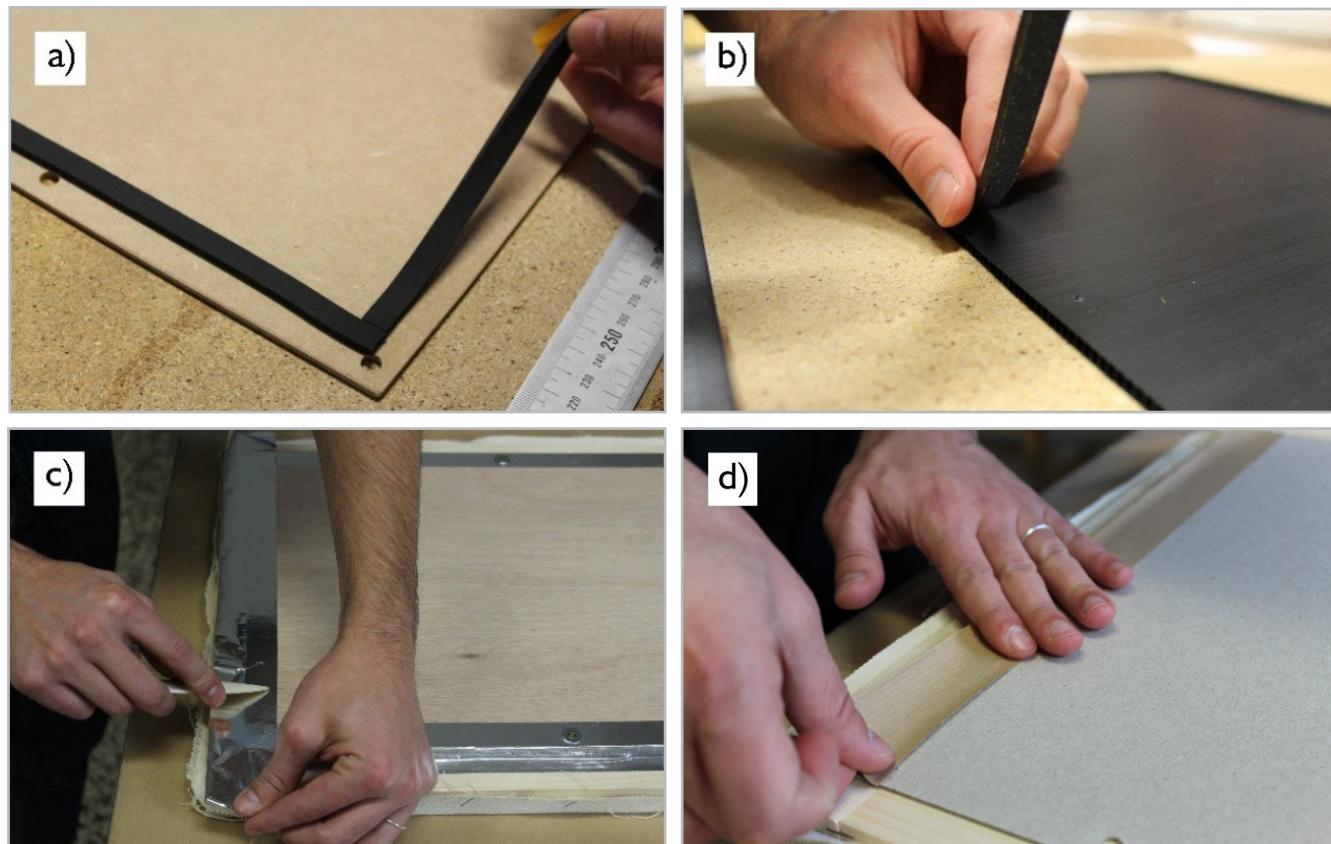


Figura 1.- Sellado perimetral de traseras con distintos materiales: a) burlete de PVC en tablero de fibras de madera; b) burlete de PVC en plancha alveolar de PP; c) cinta autoadhesiva de aluminio en contrachapado fenólico; d) cinta de papel Kraft en cartón laminado. Fuente: elaboración propia.

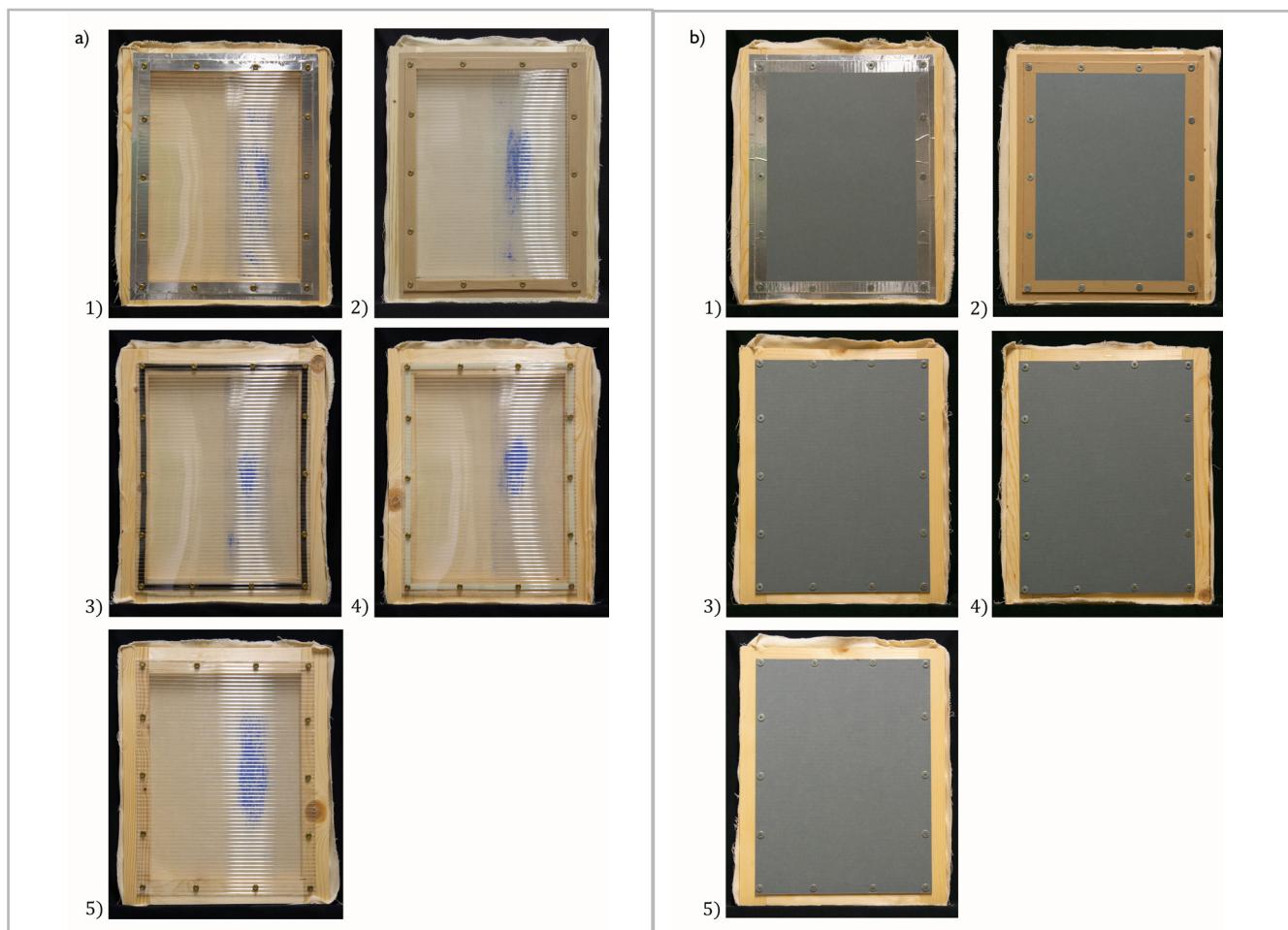


Figura 2.- Modelos con distintos sistemas de sellado perimetral: a) trasera de PC; b) trasera de cartón corrugado libre de ácido. En ambos casos: 1) cinta de aluminio, 2) cinta de papel engomado, 3) burlete de PVC, 4) burlete de EPDM, 5) sin sellado. Fuente: elaboración propia.

Modelos de traseras, con sellado y sin sellado perimetral							
Ref.	Material de barrera	Sellado				Sin sellado	
		cintas adhesivas		burletes			
		Aluminio (Miarco®)	Papel Kraft (Central®)	PVC (Axton®)	EPDM (Axton®)		
m.01	Tablero de MDF (Kronospan®)	a	b	c	d	e	
m.02	Tablero de contrachapado crudo (Salimer®)	a	b	c	d	e	
m.03	Tablero de contrachapado fenólico (Salimer®)	a	b	c	d	e	
m.04	Plancha de PMMA (Altuglas®)	a	b	c	d	e	
m.05	Chapa de aluminio (Mesima® Bilbao)	a	b	c	d	e	
m.06	Plancha alveolar de PP (Cipaflexi®)	a	b	c	d	e	
m.07	Plancha alveolar de PP (Cipaflexi®) + cartón (Canson®)	a	b	c	d	e	
m.08	Plancha alveolar de PC (Lexan® Thermoclear plus)	a	b	c	d	e	
m.09	Cartón pluma libre de ácido (Moldiber® serie Museum)	a	b	c	d	e	
m.10	Cartón pluma común (Canson® classic)	a	b	c	d	e	
m.11	Cartón corrugado libre de ácido (Schempp®)	a	b	c	d	e	
m.12	Cartón laminado (Eska® board)	a	b	c	d	e	
m.13	Film de PET (Mylar/Melinex®)	a	b	c	d	e	
Modelos de control							
c.01	Placa de vidrio embutida en el bastidor						
c.02	Sin trasera						

Tabla 1.- Relación de las diferentes maquetas realizadas para el estudio experimental. Fuente: elaboración propia.

Condiciones experimentales del ensayo

El ensayo experimental se diseñó con el objetivo de evaluar, de forma natural y a corto plazo, el pH microambiental generado en el reverso de las distintas maquetas realizadas. Por ello, y tomando como referencia los conocimientos previos sobre el grado de emisión de los materiales (Elkin y Norris 2019; García Fernández 2013; Gibson 2010; VV.AA. 2022), los modelos no fueron sometidos a procesos de envejecimiento acelerado en cámara climática. Esta decisión se fundamentó en la evidencia de que la mayor emisión de COVs se produce en materiales sin envejecer.

Antes de la colocación de las diferentes traseras, se estableció un periodo de acondicionamiento natural de los supuestos pictóricos de 30 días en una sala con una HR media comprendida entre el 30 % y el 40 %, y una T de entre 18 y 20 °C. Transcurrido este tiempo, y una vez colocadas las traseras, se mantuvieron otros 30 días en las mismas condiciones antes de iniciar las mediciones del pH ambiental. Esta medida se adoptó siguiendo la metodología descrita por Dupont y Tétreault (2000), quienes evaluaron las concentraciones de COVs ácidos en el interior de diversas cajas de conservación.

El entorno de exposición de los modelos durante la evaluación del pH microambiental fue concebido para simular un espacio museográfico sin climatización activa. Para ello, mediante un humidificador ultrasónico con control de humedad (Conopu® OZJ21S07), se recrearon oscilaciones irregulares de HR (30–75 %) y de T (20–30 °C) en una sala del aula-taller A012 de la Facultad de Bellas Artes de la Universidad Complutense de Madrid.

Por último, el periodo de evaluación de las maquetas se estableció en siete meses, con el propósito de abarcar el tiempo de vida útil recomendado para materiales de uso temporal (VV.AA. 2021).

Evaluación del pH microambiental con sensores ópticos de pH

Los sensores ópticos de pH empleados en este estudio fueron sintetizados en el Laboratorio de Conservación del Patrimonio del Instituto de Historia (CSIC), siguiendo el procedimiento descrito en la patente *Sistema para la determinación de acidez ambiental y método que hace uso del mismo* (Villegas *et al.* 2010). Su fabricación se basa en la tecnología sol-gel, mediante la cual se aplica una película porosa reactiva sobre portaobjetos de vidrio, utilizando tetraetilortosilicato (TEOS) como matriz inorgánica y rojo de clorofenol como indicador cromático. El recubrimiento de las láminas de vidrio se realizó por inmersión controlada, y se estabilizó térmicamente a 60 °C durante 72 horas en una estufa de aire forzado. Posteriormente, se eliminaron los defectos físicos mediante corte y pulido, obteniéndose sensores activos por ambas caras, con una superficie útil aproximada de 4 × 2,5 cm.

Para este estudio se fabricaron 34 sensores, calibrados específicamente en función del rango de pH previsto. El

proceso de calibración consistió en registrar el espectro visible (380–750 nm) de cada sensor y medir la absorbancia en el pico característico de 575,44 nm, utilizando soluciones tampón con valores de pH 6,0, 7,0 y 8,0. A partir de estas mediciones, se elaboraron curvas de calibración individualizadas mediante el promedio de tres lecturas por punto, ajustadas por regresión lineal. Este procedimiento permitió alcanzar una precisión de 0,1 unidades en la escala de pH.

Durante las mediciones, los sensores permanecieron en el interior de las maquetas durante un periodo continuo de cuatro días, conforme al protocolo de exposición previamente establecido para el análisis de este microclima (Morales-Martín y Sánchez Ortiz 2024). La lectura posterior a la exposición se realizó *in situ* utilizando la unidad de medida portátil desarrollada por los miembros del grupo CERVITRUM para este propósito (Llorente-Alonso *et al.* 2013). Con el fin de no alterar las condiciones internas de la cámara de aire, la instalación y retirada de los sensores se llevaron a cabo sin desmontar la trasera, simplemente levantando el borde superior del lienzo, fijado con puntas metálicas

Junto a cada sensor se colocó un termohigrómetro digital FY-12 LCD con sonda externa (Reland Sun®), que permitió registrar puntualmente la T y la HR en el interior de cada maqueta en el momento de realizar cada evaluación [Figura 3]. En total, se realizaron siete campañas de medición,^[3] separadas por intervalos de treinta días para permitir la estabilización del microclima en el reverso de los modelos.



Figura 3.-Instalación del sensor de pH de la sonda del termohigrómetro en el interior del modelo m.13a. Fuente: elaboración propia.

Evaluación del grado de sellado de las traseras de los modelos

Para determinar el nivel de estanqueidad de la cámara de aire generada por los distintos sistemas de sellado, se llevó a cabo una medición de la tasa de intercambio de aire^[4] (TIA) utilizando dióxido de carbono (CO₂) como gas traza. Esta metodología se basa en el principio de introducción de CO₂ en una cámara cerrada y en el registro de su concentración a lo largo del tiempo, lo que permite estimar la velocidad de pérdida de gas por ventilación natural. El procedimiento se llevó a cabo siguiendo la metodología establecida por Calver *et al.* (2005).

En esta fase del estudio, el análisis se centró exclusivamente en el tipo de sellado, sin considerar las propiedades de los materiales de trasera. De este modo, la evaluación se efectuó sobre un total de seis modelos: los cuatro métodos de sellado perimetral, la trasera sin sellar y la maqueta de control con vidrio.

El registro de la concentración del gas se realizó con un medidor portátil de CO₂ Dioxcare® modelo DX700 PDF, equipado con un sensor NDIR SenseAir S8 de alta precisión, homologado con marcado CE. Este equipo permite la monitorización continua de CO₂, en un rango de 0 a 9999 ppm (± 40 ppm $\pm 3\%$), y con una resolución de 0,01 unidades [Figura 4a].

La instalación del equipo en el interior de las maquetas seleccionadas requirió modificar su estructura para adaptar el espacio a las dimensiones del medidor (140 x 134 x 33 mm). Para ello, se duplicó el grosor de la cámara de aire mediante la incorporación de un segundo bastidor con las mismas dimensiones que el original. La unión entre ambas estructuras se hizo colocando grapas en los cantos, y las juntas se sellaron con cinta de aluminio para evitar fugas del gas traza [Figura 4b]. Una vez calibrado y alojado el detector, se reinstaló el lienzo en su posición original.

El CO₂ se introdujo por la parte superior del modelo, reproduciendo el sistema empleado para incorporar los sensores de pH. El gas se injectó con un sifón de hostelería de 0,5 L (Ibili®), utilizando cargas de CO₂ de 8 g (Lacor®) [Figura 4a]. Una vez saturada la cámara, se inició el registro automático cada 5 minutos durante un total de 48 horas.

La TIA se calculó posteriormente mediante la aplicación de la fórmula de decaimiento logarítmico de la concentración de CO₂ en función del tiempo transcurrido. De acuerdo con las indicaciones descritas en el trabajo anteriormente citado, esta se analizó en cuatro momentos concretos: a las 6 y 12 horas, para obtener valores de referencia inicial, y a las 24 y 48 horas, con el fin de validar la coherencia de los resultados.

Resultados y discusión

—Evaluación del pH microambiental con sensores ópticos de pH

Con los resultados de pH microambiental obtenidos durante las distintas campañas de evaluación, se analizaron los siguientes parámetros: pH promedio (media aritmética de todos los valores registrados por cada sensor para cada maqueta); pH máximo (valor máximo registrado por cada sensor en el total de las evaluaciones realizadas en cada modelo); pH mínimo (valor mínimo registrado por cada sensor en el total de las evaluaciones realizadas en cada maqueta); y Δ pH (diferencia entre el pH máximo y mínimo registrados por cada sensor en cada modelo) [Tabla 2]. El análisis de estos valores permitió establecer una relación significativa entre la naturaleza del material de trasera, el tipo de sellado aplicado, y la estabilidad química del microclima generado en el reverso de las maquetas a lo largo de siete meses.

Los modelos m.04, m.05, m.06, m.08 y m.13, confeccionados con materiales considerados inertes, mostraron una notable estabilidad, con valores medios de pH comprendidos entre 6,9 y 7,1 y diferencias entre pH máximo y mínimo generalmente inferiores a 0,2 unidades. Estos resultados

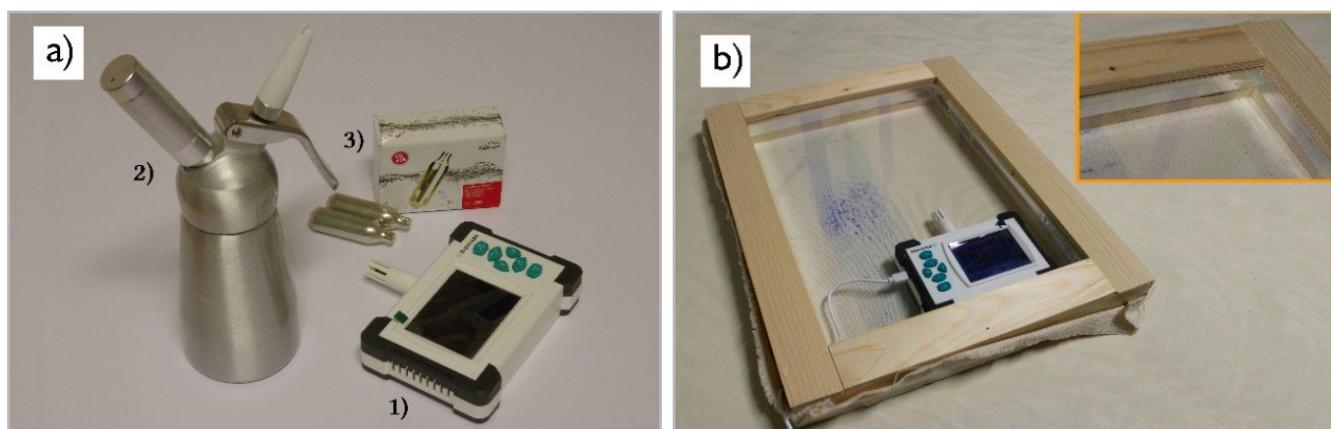


Figura 4.- a) Presentación del equipo y de los materiales empleados para el cálculo de la TIA mediante gas traza: 1) Medidor de CO₂ portátil, 2) Sifón y 3) Cargas de CO₂; b) Instalación del medidor de CO₂ en el interior del modelo c.01. En el recuadro de la esquina superior derecha se muestra un detalle del sellado de la junta de los dos bastidores. Fuente: elaboración propia.

	a				b				
	pH	pH máx.	pH min.	Δ pH	pH	pH máx.	pH min.	Δ pH	
m.01	6,9	6,9	6,9	0,0	6,9	7,0	6,8	0,2	
m.02	6,9	7,0	6,9	0,1	6,9	7,0	6,9	0,1	
m.03	6,9	6,9	6,9	0,0	7,0	7,0	6,9	0,1	
m.04	7,0	7,1	6,9	0,2	7,0	7,0	6,9	0,1	
m.05	6,9	6,9	6,9	0,0	6,9	7,1	6,9	0,2	
m.06	7,1	7,2	7,0	0,2	7,0	7,1	6,9	0,2	
m.07	7,1	7,3	7,0	0,3	7,1	7,5	7,0	0,5	
m.08	7,0	7,1	6,8	0,3	7,0	7,1	6,9	0,2	
m.09	7,1	7,3	7,0	0,3	7,1	7,3	7,0	0,3	
m.10	7,0	7,3	6,9	0,4	7,0	7,2	6,9	0,3	
m.11	7,1	7,3	7,0	0,3	7,1	7,4	7,0	0,4	
m.12	7,1	7,4	7,0	0,4	7,1	7,4	7,0	0,4	
m.13	7,0	7,1	6,9	0,2	7,0	7,0	6,9	0,1	
c				d					
	pH	pH máx.	pH min.	Δ pH	pH	pH máx.	pH min.	Δ pH	
m.01	6,8	6,9	6,8	0,1	6,9	6,9	6,8	0,1	
m.02	6,9	6,9	6,8	0,1	6,9	6,9	6,9	0,0	
m.03	6,9	7,0	6,9	0,1	7,0	7,0	6,9	0,1	
m.04	7,0	7,0	6,8	0,2	7,1	7,2	7,0	0,2	
m.05	6,9	7,0	6,8	0,2	7,0	7,1	6,9	0,2	
m.06	7,1	7,3	7,0	0,3	7,0	7,1	7,0	0,1	
m.07	7,2	7,2	7,1	0,1	7,1	7,2	7,0	0,2	
m.08	7,0	7,1	7,0	0,1	7,0	7,1	6,9	0,2	
m.09	7,2	7,5	7,0	0,5	7,1	7,4	7,0	0,4	
m.10	7,0	7,1	6,9	0,2	7,0	7,1	7,0	0,1	
m.11	7,1	7,2	7,0	0,2	7,1	7,2	6,9	0,3	
m.12	7,1	7,2	7,0	0,2	7,0	7,1	7,0	0,1	
m.13	7,0	7,0	7,0	0,0	7,0	7,1	7,0	0,1	
e									
	pH	pH máx.	pH min.	Δ pH					
m.01	6,8	7,0	6,8	0,2					
m.02	6,9	6,9	6,8	0,1					
m.03	7,0	7,0	6,9	0,1					
m.04	7,0	7,1	7,0	0,1					
m.05	7,0	7,1	6,9	0,2					
m.06	7,1	7,1	7,0	0,1					
m.07	7,1	7,2	7,0	0,2					
m.08	7,0	7,1	6,9	0,2					
m.09	7,0	7,0	6,9	0,1					
m.10	7,0	7,1	6,9	0,2					
m.11	7,1	7,2	7,0	0,2					
m.12	7,1	7,3	7,0	0,3					
m.13	7,0	7,0	6,9	0,1					
control									
	pH	pH máx.	pH min.	Δ pH					
c.01	7,0	7,1	7,0	0,1					
c.02	7,0	7,0	7,0	,0,0					

Tabla 2.- Resultados de los valores del pH medio, máximo, mínimo y Δ pH registrados en cada modelo. Fuente: elaboración propia.

indican un comportamiento neutro y estable del microclima, sin indicios de acumulación significativa de COVs.

En los modelos m.07, m.09 y m.11, confeccionados con distintos tipos de cartones libres de ácido, también se registraron valores de pH promedio próximos a la neutralidad, comprendidos entre 7,2 y 7,0. En estos casos, el pH alcanzó un valor máximo de 7,5 (m.09c) y mínimos de 7,0, con una diferencia de hasta 0,5 unidades. Esta ligera tendencia alcalina puede atribuirse a la presencia de carbonato cálcico en los cartones, cuya proporción, según las fichas técnicas de los productos utilizados, se encuentra entre el 2 % y el 4 % (Pensold & Brandt 2017; Moldiber s.f; Productos de Conservación S.A., s.f.).

Por el contrario, los modelos construidos con materiales derivados de la madera (m.01, m.02 y m.03) mostraron un comportamiento distinto. Aunque los valores medios de pH también se mantuvieron próximos a la neutralidad (entre 6,8 y 7,0), las fluctuaciones entre los valores máximos y mínimos indican un microclima ligeramente más ácido en comparación con el resto de las maquetas. Según las fichas técnicas, los productos utilizados están clasificados como tableros de bajas emisiones de formaldehído, con certificación E1 conforme al estándar europeo (Kronospan MDF S.L. 2021; Salimer, s.f.). Sin embargo, estas certificaciones no contemplan otros COVs de carácter ácido, como el ácido acético, que puede liberarse como producto de la hidrólisis de grupos acetilo presentes en la hemicelulosa de la madera (Schiweck y Salthammer 2011).

En relación con el tipo de sellado perimetral, los resultados obtenidos indican que, si bien las variaciones de pH no difieren sustancialmente entre los distintos materiales empleados, los modelos con traseras selladas tienden a mostrar mayores oscilaciones entre los valores máximo y mínimo. Este comportamiento sugiere una acumulación temporal más significativa de compuestos volátiles en el reverso, especialmente en los modelos sellados con cinta de aluminio (grupo a), donde se registraron diferencias de hasta 0,5 unidades de pH. Por el contrario, los modelos no sellados (grupo e) presentaron variaciones menores, con diferencias de pH generalmente entre 0,1 y 0,2 unidades, lo que apunta a una mayor estabilidad del microclima en ausencia del cierre perimetral.

En cuanto a los burletes de espuma de PVC y EPDM (grupo c y d respectivamente), a pesar de haber sido identificados en la literatura como materiales potencialmente emisores de COVs, durante el periodo de evaluación no se observaron cambios significativos en el pH ambiental. Este comportamiento puede explicarse por su clasificación comercial como A+ en el sistema francés *Étiquetage des produits de construction et de décoration sur leurs émissions en polluants volatils*, que identifica los materiales con emisiones muy bajas de COVs (Axton, s.f. b, s.f. a).

Por último, los modelos de control presentaron valores de pH ambiental neutros y estables, lo que sugiere que el supuesto pictórico, en las condiciones de exposición recreadas, no genera por sí mismo un microclima químicamente inestable.

Evaluación del grado de sellado de las traseras de los modelos

Los resultados obtenidos en el análisis de la TIA muestran la evolución del tiempo de vida media del CO₂ ($t_{1/2}$, en minutos) en cuatro momentos distintos tras su inyección en la cámara de aire de cada modelo [Tabla 3]. La variabilidad observada refleja la influencia directa del tipo de sellado perimetral en el comportamiento microambiental de cada uno.

En las mediciones iniciales (0 h), todos los modelos registraron valores bajos de $t_{1/2}$, comprendidos entre 226 y 332 minutos, lo que indica un elevado intercambio de aire con el exterior. Esta tendencia puede atribuirse a un aumento momentáneo de presión en la cámara de aire derivado de la alta concentración de CO₂ inyectado (alrededor de 10.000 ppm), lo cual habría favorecido una ventilación acelerada en las primeras horas tras la saturación (Calver *et al.* 2005).

A partir de las 12 horas, se observó un incremento progresivo de los valores de $t_{1/2}$ en todos los modelos, reflejando una estabilización del sistema. Las mediciones realizadas a las 24 y 48 horas confirmaron que, aunque el sellado perimetral limita el intercambio, la cámara de aire no es completamente estanca, como señalaron Padfield *et al.* (2020), y se produce una renovación gradual del aire confinado.

Entre las maquetas selladas, el modelo a presentó el valor de $t_{1/2}$ más alto, lo que indica una mayor capacidad de retención del gas y, por tanto, un sellado más eficaz. En contraste, el modelo c mostró la menor eficacia de cierre, posiblemente debido a defectos en el burlete, separación de las juntas en las esquinas o fugas en los puntos de sujeción. Los resultados del modelo con trasera sin sellar (e) determinaron una tendencia comparable a la de las maquetas selladas, lo que sugiere que, incluso en ausencia de un sistema de cierre perimetral, la trasera puede limitar significativamente la ventilación del reverso.

Tipo de trasera	Tiempo transcurrido desde la inyección del CO ₂			
	0 h	12 h	24 h	48 h
Sellado cinta de aluminio (a)	297	20790	8316	13860
Sellado cinta de papel engomado (b)	249	20790	13860	4158
Sellado burlete de espuma de PVC (c)	255	3199	5940	1980
Sellado burlete de espuma de EPDM (d)	226	2970	5198	2970
Sin sellado (e)	333	41580	13860	5198
Vidrio (c.01)	227	3199	41580	20790

Tabla 3.- Resultados del tiempo de vida media estimado ($t_{1/2}$, en minutos) en distintos intervalos tras la inyección de CO₂ en la cámara de aire de los modelos seleccionados para este estudio. Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

Los resultados de esta investigación confirman que (1) el sellado perimetral de las traseras, aunque no genera una cámara completamente estanca, sí favorece la acumulación de compuestos gaseosos en el reverso de las pinturas. Se ha observado que, a corto plazo y en condiciones ambientales inestables, la técnica pictórica no influye significativamente en el pH ambiental, mientras que el tipo de sellado y la naturaleza de los materiales de trasera sí lo hacen. En particular, los materiales derivados de la madera tienden a inducir una ligera acidez, frente a otros que muestran un comportamiento más neutro. Del mismo modo, (2) se ha podido determinar que, en las condiciones de este ensayo, algunos materiales como los burletes de espuma de PVC y de EPDM, no presentan, a priori, un efecto significativo sobre las características del microclima, por lo que no comprometen de forma evidente su estabilidad química. Por último, (3) la metodología basada en sensores ópticos de pH ha demostrado ser útil para evaluar el impacto de los materiales de protección sobre el microclima, revelando ligeras desviaciones hacia ambientes más ácidos o alcalinos según su composición. Estos hallazgos destacan la importancia de seleccionar cuidadosamente los materiales y sistemas de sellado en esta medida de conservación preventiva.

Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento al Ministerio de Universidades de España por la concesión del contrato predoctoral de Formación del Profesorado Universitario (FPU20/00384), gracias al cual ha sido posible llevar a cabo la presente investigación. Asimismo, se agradece al grupo de investigación CERVITRUM del CSIC por su colaboración, en particular por facilitar el acceso a los sensores ópticos de pH ambiental y al equipo técnico necesario para su aplicación.

Notas

[1] La pintura no tradicional se define como aquella realizada mediante medios no convencionales, es decir, distintos a las técnicas clásicas como el óleo, el temple o la encáustica, e incluye el uso de resinas sintéticas, productos de formulación industrial y otros materiales adheridos al soporte. Esta categoría abarca tanto el empleo de medios tradicionales aplicados de manera innovadora, como la utilización de materiales industriales en combinación con procedimientos derivados de las técnicas académicas convencionales (Elkin y Norris, 2019).

[2] La instalación del film de PET se realizó mediante dos métodos distintos. Para el sellado con burletes de espuma se aplicó el diseño descrito por Mills, Steehouder y Gardener (2010), utilizando un marco de madera sobre el que se grapó el film en su cara interior. En cambio, en los modelos sellados con las cintas adhesivas se siguió el método de Harwood (1996), grapando el film directamente al bastidor y colocando después las cintas.

[3] Para garantizar la estabilidad de la señal, los sensores fueron acondicionados antes y después de cada campaña de evaluación

mediante una inmersión de diez minutos en una solución tampón neutra (pH 7,0).

[4] Parámetro que se define como el tiempo necesario para que la totalidad del aire contenido en un volumen determinado sea reemplazado por aire del exterior.

Referencias

- ACHTERNKAMP, P. (1991). "Die Rückseitenschutz von Gemälden: Historische und zeitgenössische Praxis", *Zeitschrift für Kunsttechnologie und Konservierung*, 5 (1): 17–47.
- AXTON (sin fecha a). *Burlete aislante adhesivo estándar de caucho EPDM para ventanas y puertas*. Ficha técnica.
- AXTON (sin fecha b). *Burlete aislante de espuma PVC para ventanas y puertas*. Ficha técnica.
- BALLARD, S. (2012). *Protection du revers d'une peinture sur toile. Association des amis de l'atelier du temps passé*. Disponible en: <http://3atp.org/Protection-du-revers-d-une> [consulta: 02/04/2023].
- BOUCHAYER, G. (1991). *Recherche sur la protection des peintures sur toile au revers*. Tesis de maestría no publicada. Institut National du Patrimoine.
- BUCKLEY, B.A. (2008). "Backing boards". En *Painting conservation catalog*. Volume 2: Stretchers and strainers, Buckley, B.A. (ed.). Washington, D.C.: The paintings speciality group of the American Institute for Conservation, 284–287.
- CALVER, A., HOLBROOK, A., THICKETT, D. et al. (2005). "Simple methods to measure air exchange rates and detect leaks in display and storage enclosures". En *ICOM Committee for Conservation. Triennial meeting*, 14th, The Hague, Netherlands, 2005, Verger, I. (ed.). London: James and James/Earthscan, 597–609.
- DALY HARTIN, D. (2016). *Dos protecteurs pour les peintures sur toile. Notes de l'Institut canadien de conservation (ICC)*. Disponible en: <https://www.canada.ca/fr/institut-conservation/services/publications-conservation-preservation/notes-institut-canadien-conservation/dos-protecteurs-peintures-toile.html> [consulta: 10/04/203].
- DIXON, T. (2012). "Framing, glazing, backing, and hanging of paintings on canvas". En *Conservation of easel painting*, Stoner, J. H. y Rushfield, R. (eds.). London: Routledge 727–732.
- DUPONT, A.-L. y TÉTREAULT, J. (2000). "Cellulose Degradation in an Acetic Acid Environment", *Studies in Conservation*, 45(3): 201–210. <https://doi.org/10.2307/1506766>
- ELKIN, L. y NORRIS, C. A. (eds.) (2019). *Preventive conservation: collection storage*. New York: Society for the Preservation of Natural History Collections.
- FERRER, S. CAMPO-FRANCÉS, G., GRAU-BOVÉ, J. et al. (2022). "RH simulation model for canvas paintings protected by an aluminium backplate and an additional hygroscopic layer", *Heritage Science*, 10(1). <https://doi.org/10.1186/s40494-022-00741-2>
- GARCÍA FERNÁNDEZ, I. (2013). *La conservación preventiva de bienes culturales*. Madrid: Alianza forma.
- GIBSON, L.T. (2010). "Acetic and formic acids emitted from wood samples and their effect on selected materials in museum environments", *Corrosion Science*, 52(1): 172–178. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2009.08.054>
- GREEN, T. (1991). "Vibration control: Paintings on canvas supports". En *Art in transit. Studies in the transport of paintings*, Mecklenburg, M. (ed.). Washington, D.C.: National Gallery of Art, 59–67.
- GRIDLEY, M. (2023). *Backing boards*, American Institute for Conservation Wiki. Disponible en: https://www.conservation-wiki.com/wiki/Backing_Boards [consulta: 20/09/2024].
- HACKNEY, S. (1990). "Framing for conservation at the Tate Gallery", *The Conservator*, 14: 44–53.
- HACKNEY, S. (2016). "Colour measurement of acid-detector strips for the quantification of volatile organic acids in storage conditions", *Studies in Conservation*, 61: 55–69. <https://doi.org/10.1080/00393630.2016.1140935>
- HACKNEY, S. (2020). *On canvas: preserving the structure of paintings*. Los Angeles: The Getty Conservation Institute.
- HARWOOD, C. (1996). "The National Trust's backing Project", *The picture restorer*, 10: 19–21.
- KRONOSPACE MDF S.L. (2021). *Tablero de fibras de alta densidad*. Ficha técnica.
- LEBRET, C. (1994). "Le transport des peintures sur toile: protection et emballage de l'œuvre", *Conservation-Restauro des Biens Culturels*, 6: 28–32.
- LLORENTE-ALONSO, A., PEÑA POZA, J., DE ARCAS, G. et al. (2013). "Interface electronic system for measuring air acidity with optical sensors", *Sensor Actuat A-Phys*, 194: 67–74.
- MICHALSKI, S. (2005). "Risk Analysis of Backing Boards for Paintings: Damp Climates vs Cold Climates". En *Minimo intervento conservativo nel restauro dei dipinti. CESMAR7 Secondo congresso internazionale Colore e Conservazione*, 29–30 ottobre 2004. Saonara: Il Prato, 21–27.
- MILLS, L., STEEHOUWER, P. y GARDENER, P. (2010). "Protective and supportive backings for canvas paintings at Tate", *The picture restorer*, 37: 36–40.
- MOLDIBER (sin fecha). *Ficha técnica cartón pluma museum*. Ficha técnica.
- MORALES-MARTÍN, D. (2023). "Materiales para la protección indirecta del reverso en pintura sobre lienzo. características, usos y propiedades" [póster]. En *CIBA 3. Congreso de Investigación en Bellas Artes. Conectando redes de conocimiento*, Madrid: Universidad Complutense de Madrid.

MORALES-MARTÍN, D., PASTOR VALLS, M.T. y SÁNCHEZ ORTIZ, A. (2024). "Traseras en pintura contemporánea: análisis del impacto por acumulación de gases contaminantes en el microclima resultante". En *25as Jornadas de Conservación de Arte Contemporáneo*, Ortega Gallego, M., Blanco, C. y Medina García, L. (eds.). Madrid: Museo Nacional Centro de Arte Reina Sofía, 43–60.

MORALES-MARTÍN, D. y SÁNCHEZ ORTIZ, A. (2024a). "What do conservators think today about the protection of the back of painting on canvas?" [póster]. En *Expect the Unexpected: Embracing and Managing Change, Uncertainty, and Surprise*. Salt Lake City.

MORALES-MARTÍN, D. y SÁNCHEZ ORTIZ, A. (2024b). "A new perspective on the study of microenvironments created by the backings on canvas paintings: use of environmental pH sensors" [póster]. En *V International Congress Science and Technology for the Conservation of Cultural Heritage*. Santiago de Compostela.

MORALES-MARTÍN, D. y SÁNCHEZ ORTIZ, A. (2024c). "El cuidado de los reversos en pintura contemporánea: reflexiones sobre los métodos de protección indirectos", *Saitabi. Revista de la Facultat de Geografia i Història*, 74: 81–98.

PADFIELD, T., PADFIELD, N., LEE, D. S-H. et al. (2020). "Back protection of canvas paintings", *Heritage Science*, 8: 96. <https://doi.org/10.1186/s40494-020-00435-7>

PENSOLD, S. y BRANDT (2017). *Test report: Photographic Activity Test according to ISO 18915:2007. PTS fibre based solutions*.

PRODUCTOS DE CONSERVACIÓN S.A. (sin fecha). *Cartones corrugados Schempp*. Disponible en: <https://www.productosdeconservacion.com/eshop/carton-conservacion/3243-carton-corrugado-16-mm-grosor-gris-blanco.html> [consulta: 29/04/2025].

ROCHE, A. (2003). *Comportement mécanique des peintures sur toile. Dégradation et prévention*. Paris: CNRS.

ROCHE, A. (2016). *La conservation des peintures modernes et contemporaines*. Paris: CNRS.

ROONTHIVA, V. y BAGAN, R. (2017). "La funció del conservador-restaurador en les exposicions temporals. El cas de la pintura sobre taula i la pintura sobre tela". En *Moviment d'obres d'art: préstecs, manipulació, conservació i exhibició*, Millet Bonaventura, I. y Córdoba Ríos, D.A. (eds.). Barcelona: Associació de Museòlegs de Catalunya, 82-99.

SALIMER (sin fecha). *Características técnicas del tablero contrachapado salipin extra - radiata*. Ficha técnica.

SCHIEWECK, A. y SALTHAMMER, T. (2011). "Indoor air quality in passive-type museum showcases", *Journal of Cultural Heritage*, 12(2): 205–213. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2010.09.005>

VILLEGAS, M.A. GARCÍA-HERAS, M., PEÑA-POZA, J. et al. (2010). *Sistema para la determinación de acidez ambiental y método que hace uso del mismo*. Patente P201003107.

VV.AA. (2021). *Oddy Tests: Materials Databases*. American Institute for Conservation Wiki. Disponible en: https://www.conservation-wiki.com/wiki/Materials_Testing_Results [consulta: 08/10/2024].

VV.AA. (2022). *Oddy Test Protocols*. American Institute for Conservation Wiki. Disponible en: https://www.conservation-wiki.com/wiki/Oddy_Test_Protocols [consulta: 13/11/2024].

Autor/es



Daniel Morales-Martín
damora03@ucm.es

Departamento de Pintura y Conservación- Restauración de la Facultad de Bellas Artes de la Universidad Complutense de Madrid
<https://orcid.org/0000-0003-1966-0511>

Conservador-Restaurador de Bienes Culturales por la Universidad de Granada (2013–2018) y Máster en Diagnóstico del Estado de Conservación del Patrimonio Histórico por la Universidad Pablo de Olavide (2018–2019). Actualmente es investigador predoctoral en el Departamento de Pintura y Conservación-Restauración de la Facultad de Bellas Artes de la Universidad Complutense de Madrid, en el marco de un contrato de Formación del Profesorado Universitario (FPU20/00384) financiado por el Ministerio de Universidades de España. Es miembro del grupo de trabajo "Conservación de Arte Contemporáneo y Nuevos Medios" del Grupo Español de Conservación del International Institute for Conservation (GE-IIC). Ha participado en congresos y jornadas científicas de ámbito nacional e internacional y es autor de diversos artículos de investigación relacionados con la conservación preventiva, los materiales contemporáneos y la evaluación del microclima en entornos museográficos.



Alicia Sánchez-Ortiz
alicisan@ucm.es

Departamento de Pintura y Conservación- Restauración de la Facultad de Bellas Artes de la Universidad Complutense de Madrid
<https://orcid.org/0000-0002-3358-1943>

Profesora Titular en el Departamento de Pintura y Conservación- Restauración de la Facultad de Bellas Artes (UCM) desde 1993. Doctora en 1997, sus líneas de investigación están relacionadas con las nuevas estrategias metodológicas para la conservación- restauración del patrimonio histórico-artístico pictórico y científico-técnico, en especial de modelos anatómicos históricos de carácter didáctico. Ha dirigido 3 proyectos competitivos de I+D+i y 2 Santander-UCM, y ha formado parte del equipo investigador en 6 proyectos nacionales. También ha dirigido o participado en más de 80 contratos de investigación art.60 LOSU. Es coautora de 2 patentes nacionales. Ha difundido el resultado

de sus investigaciones en 50 artículos publicados en revistas indexadas, en 2 monografías y en 25 cap. de libro en editoriales de prestigio. Ponente en más de 80 congresos, seminarios y cursos de especialización. Forma parte del panel de expertos en la ANECA, la AEI, AVAP y ACSUCyL. Es revisora de artículos en revistas indexadas de la especialidad y dirige desde 2020 el Grupo de Investigación UCM IMPACT:Imagen, Patrimonio, Arte, Conservación y Tecnología (Ref. 970923).



<https://doi.org/10.37558/gec.v28i1.1438>