

eman ta zabal zazu



Universidad  
del País Vasco

Euskal Herriko  
Unibertsitatea

# LOS PLÁSTICOS EMISORES DE CONTAMINANTES GASEOSOS EN LAS COLECCIONES DE ARTE CONTEMPORÁNEO

PROPUESTA DE UN NUEVO PROTOCOLO PARA SU CONSERVACIÓN

**Sara Liébana Molina**

Directoras: María Pilar Bustinduy Fernández  
Concepción Elorza Ibáñez de Gauna

Programa de Doctorado: Estrategias Científicas Interdisciplinarias en Patrimonio y Paisaje (ECIPP)  
Leioa, 2021



eman ta zabal zazu



Universidad  
del País Vasco

Euskal Herriko  
Unibertsitatea

CAMPUS OF  
INTERNATIONAL  
EXCELLENCE

2021. Bilbao. Universidad del País Vasco. Departamento de Pintura.

Quedan reservados todos los derechos de este volumen al autor del mismo para su uso y distribución.

TESIS DOCTORAL (2021)

# LOS PLÁSTICOS EMISORES DE CONTAMINANTES GASEOSOS EN LAS COLECCIONES DE ARTE CONTEMPORÁNEO

PROPUESTA DE UN NUEVO PROTOCOLO PARA SU CONSERVACIÓN

PROGRAMA DE DOCTORADO: ESTRATEGIAS CIENTÍFICAS INTERDISCIPLINARIAS EN PATRIMONIO Y PAISAJE (ECIPP)

Memoria para optar al Grado de Doctor presentada por: Sara Liébana Molina

Directoras: María Pilar Bustinduy Fernández y Concepción Elorza Ibáñez de Gauna

## Resumen

---

La conservación de las obras de arte realizadas en plásticos viene siendo objeto de estudio desde los años noventa. Sin embargo, se ha podido constatar que la problemática de los plásticos emisores no ha sido estudiada en profundidad desde el campo de la conservación preventiva; así como que no existen protocolos específicos para la conservación de este material, el plástico.

En esta tesis doctoral, se profundiza en el estudio de la problemática de los plásticos emisores mediante el desarrollo de un ensayo práctico, gracias al cual se ha dado respuesta a las lagunas detectadas en la revisión bibliográfica: el nivel de virulencia de cada plástico emisor, la relación entre su grado de envejecimiento y su tasa de emisión, la existente entre el volumen del contenedor que alberga la obra de arte, el tiempo de exposición y la concentración de contaminantes volátiles; así como la falta de evidencias científicas que demuestren que el polimetilmetacrilato no emite ningún tipo de sustancia volátil nociva.

Fruto de esta investigación bibliográfica y práctica, se ha elaborado una propuesta de protocolo que viene a facilitar el control de estos parámetros en grandes colecciones.

## Laburpena

---

90eko hamarkadaz geroztik plastikoz egindako artelanen kontserbazioa ikasten hasi zen. Hala ere, egiaztatu da plastikoen igorleen problematika ez dela aztertu kontserbazio prebentiboaren ikuspuntutik; bestalde, ez daude material honen kontserbaziorako protokolo zehatzik.

Doktorego-tesi honetan plastikoen igorleen problematikan sakontzen da entsegu praktiko baten bidez. Bibliografia ikerketan aurkitutako hutsuneei erantzuna ematen die entsegu praktiko honek: plastikoen igorleen birulentzia, zahartze maila eta emisio tasaren arteko harremana, artelanaren edukiontzia bolumena, esposizio denbora eta kutsatzaile lurrunkorren kontzentrazioen arteko zerikusia, eta polimetilmetakrilatoak ez duela substantzia lurrunkor kaltegaririk isurtzen frogatzen duten nabaritasun zientifikoen gabezia.

Ikerketa bibliografiko eta praktiko honen bitartez, protokolo proposamen bat landu da kolezio handietan parametro hauen kontrola errazteko.

## Abstract

---

The conservation of plastic artworks has been considered a subject of study since the 1990s. However, it has been confirmed that the issue of emitter plastics has not been thoroughly studied with regard to preventive conservation. On top of that, it is known that there are no specific protocols for the preservation of plastic.

This thesis deepens the study of the emitter plastics issue by developing a practical trial, which has enabled the solving of the deficiencies found in the bibliographical review. These deficiencies were: the varying levels of plastic virulence; the relationship between its aging degree and its emission rate; the one between the volume of the container holding the artwork, the time of exposure and the concentration of volatile pollutants; and the lack of scientific evidence to prove that polymethylmethacrylate does not emit any kind of harmful volatile substances.

As a result of this bibliographical and practice research, a model protocol has been made in order to facilitate the control of these parameters in bigger collections.

# AGRADECIMIENTOS

Quiero dar las gracias a todas las personas que han cedido parte de su tiempo para ayudarme y apoyarme, sin las cuales este proyecto no hubiera sido posible.

Y en especial a mi directora la Dra. María Pilar Bustinduy Fernández por haber sido fundamental en este trabajo, sin su esfuerzo y generosidad, esta tesis no hubiera salido adelante. Muchas gracias por tu paciencia, apoyo y cariño; y sobretodo por haberme enseñado tanto de esta profesión tan apasionante.

También quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi directora la Dra. Concepción Elorza Ibáñez de Gauna por haber confiado en este proyecto.

A la Universidad del País Vasco por financiar parte de esta investigación a través de la ayuda para la formación del personal investigador.

Al Museo Guggenheim de Bilbao por proporcionarme toda la información relativa al proyecto de conservación de la obra *Éxtasis, Status, Estatua* de Juan Luis Moraza, el cual ha sido de gran interés para la elaboración de esta tesis; así como por responder amablemente a las cuestiones sobre las pautas que siguen para la conservación de las obras de su colección realizadas en plástico. En especial a Ainhoa Sanz, jefa de conservación; a Aitziber Velasco, conservadora de la colección permanente y a Almudena Arana, por sus atentas respuestas.

A las Doctoras Alba González y Lourdes Irusta de Instituto Polymat por abrirme las puertas de sus instalaciones y ayudarme a realizar toda la caracterización material y a interpretar los resultados; y a las Doctoras Margarita San Andrés y Ruth Chércoles por su ayuda desinteresada.

A la Unidad de Análisis y Tratamiento Fotocatalítico de Contaminantes en Aire de la División de Energías Renovables del CIEMAT, y en especial a su responsable, el Dr. Benigno Sánchez Cabrero por haberme brindado la oportunidad de realizar una estancia de investigación en la que puede aprender sobre los distintos tipos de muestreos de compuestos volátiles y participar en su aplicación práctica en el Museo Arqueológico Nacional.

A todos los responsables de conservación de colecciones que han respondido amablemente a la encuesta, por sus inestimables aportaciones.

También quiero expresar mi agradecimiento a todos los compañeros y compañeras de trabajo que he conocido a lo largo de estos años, por interesarse por este proyecto, y por sus contribuciones y continuos mensajes de ánimo.

A Amaia y a Ainhoa por la traducción y corrección técnica del resumen al euskera; y a Noive por la traducción al inglés. A Juan por la maquetación y la paciencia con los interminables retoques finales.

Por último no me gustaría terminar sin expresar mi eterno agradecimiento a mis padres por inculcarme unos valores sin los cuales no hubiera llegado hasta aquí; y a mis amigas y amigos, en especial a Tamara, Naiara y Rocío que han sufrido cada momento de esta tesis, apoyándome y animándome en todo momento.

# ÍNDICE

|  |           |
|--|-----------|
| <b>RESUMEN / LABURPENA / ABSTRACT</b>  | <b>4</b>  |
| <b>PARTE I: ESTRUCTURA Y ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN</b>  | <b>13</b> |
| 1.1. Introducción  | 13        |
| 1.2. Objetivos   | 15        |
| 1.2.1 Objetivo general   | 15        |
| 1.2.2 Objetivos específicos  | 15        |
| 1.3. Metodología   | 16        |
| 1.4. Estado de la cuestión   | 17        |
| 1.4.1 Contexto y antecedentes de la problemática   | 19        |
| 1.4.2 Los plásticos emisores en las investigaciones centradas en la conservación de los plásticos  | 22        |
| 1.4.3 Los plásticos emisores en las investigaciones centradas en la contaminación en ambientes museísticos                               | 27        |
| 1.4.4 Situación actual de los protocolos de conservación de obras de arte realizadas en plástico en las Colecciones Contemporáneas       | 32        |
| 1.4.4.1 Datos extraídos de investigaciones especializadas  | 33        |
| 1.4.4.2 Datos extraídos mediante encuestas   | 35        |
| <b>PARTE II: LOS PLÁSTICOS EMISORES DE CONTAMINANTES GASEOSOS EN AMBIENTES MUSEÍSTICOS: DETECCIÓN, CONTROL, RECOMENDACIONES Y PAUTAS</b> | <b>39</b> |
| 2.1 Los plásticos emisores de contaminantes gaseosos en ambientes museísticos. Definición del problema                                   | 39        |
| 2.1.1 Principales agentes de degradación de los plásticos  | 42        |
| 2.1.1.1 Iluminación  | 43        |
| 2.1.1.2 Temperatura  | 44        |
| 2.1.1.3 Humedad relativa   | 46        |
| 2.1.1.4 Oxígeno  | 46        |
| 2.1.1.5 Contaminantes  | 47        |
| 2.1.2 Plásticos presentes en las colecciones de Arte Contemporáneo emisores de contaminantes gaseosos                                    | 48        |
| 2.1.2.1 Polimetilmetacrilato (PMMA)  | 50        |
| 2.1.2.2 Poliéster  | 54        |
| 2.1.2.3 Policloruro de vinilo (PVC)  | 59        |

---

|  |            |
|--|------------|
| 2.1.2.4 Caucho   | 65         |
| 2.1.2.5 Poliuretano  | 71         |
| 2.1.2.6 Acetato de celulosa  | 76         |
| 2.1.2.7 Nitrato de celulosa  | 79         |
| 2.1.3 Gases emitidos por este grupo de plásticos y sus características   | 83         |
| 2.1.3.1 Poliéster  | 83         |
| 2.1.3.2 PVC  | 84         |
| 2.1.3.3 Caucho   | 85         |
| 2.1.3.4 Poliuretano  | 87         |
| 2.1.3.5 Acetato de celulosa  | 88         |
| 2.1.3.6 Nitrato de celulosa  | 89         |
| 2.1.4 ¿A qué y a quiénes afecta?   | 91         |
| 2.1.4.1 Materiales sensibles a la acción de compuestos volátiles   | 92         |
| 2.1.4.1.1 Metales  | 92         |
| 2.1.4.1.2 Materiales celulósicos   | 96         |
| 2.1.4.1.3 Materiales fotográficos  | 98         |
| 2.1.4.1.4 Materiales de carbonato de calcio  | 99         |
| 2.1.4.1.5 Vidrio   | 100        |
| 2.1.4.1.6 Cerámica   | 100        |
| 2.1.4.1.7 Materiales proteicos   | 101        |
| 2.1.4.1.8 Tintes, pigmentos, pinturas  | 101        |
| 2.1.4.1.9 Tejidos y polímeros sintéticos   | 102        |
| 2.1.4.1.10 Piedras   | 102        |
| 2.1.4.2 Personal expuesto  | 110        |
| 2.1.4.3 Límites de exposición de los contaminantes gaseosos emitidos por los plásticos para materiales patrimoniales y personal expuesto | 111        |
| 2.1.4.4 Niveles máximos de contaminación recomendados en la actualidad   | 115        |
| 2.1.5 Los espacios cerrados y el aumento del riesgo de contaminación   | 119        |
| <b>2.2 La detección y control de contaminantes en ambientes museísticos</b>  | <b>121</b> |
| 2.2.1 Método analítico-empírico  | 121        |
| 2.2.2 Método científico  | 129        |
| 2.2.2.1 Dispositivos de muestreo pasivo  | 129        |
| 2.2.2.1.1 Las A-D Strips: ventajas, limitaciones y recomendaciones   | 133        |
| 2.2.2.1.2 Las A-D Strips: casuística de las aplicaciones prácticas   | 136        |

|  |            |
|--|------------|
| <b>2.3 Situación actual; recomendaciones y pautas para la conservación de los plásticos en las colecciones de Arte Contemporáneo</b> | <b>139</b> |
| 2.3.1 Situación actual; recomendaciones generales y específicas recogidas en investigaciones especializadas                          | 139        |
| 2.3.1.1 Generales  | 139        |
| 2.3.1.2 Control de la iluminación  | 140        |
| 2.3.1.3 Control de la temperatura  | 141        |
| 2.3.1.4 Control de la humedad relativa   | 143        |
| 2.3.1.5 Reducción del oxígeno ambiental  | 143        |
| 2.3.1.6 Reducción e inhibición de los contaminantes gaseosos   | 145        |
| 2.3.2 Situación actual; pautas de conservación generales y específicas recogidas mediante encuestas                                  | 148        |
| <br>   |            |
| <b>PARTE III. ESTUDIO EMPÍRICO</b>   | <b>153</b> |
| <br>   |            |
| <b>3.1 Ensayo práctico</b>   | <b>153</b> |
| 3.1.1 Introducción   | 153        |
| 3.1.2 Metodología experimental   | 154        |
| 3.1.2.1 Preparación de muestras  | 156        |
| 3.1.2.2 Envejecimiento acelerado   | 156        |
| 3.1.2.3 Caracterización de los plásticos   | 158        |
| 3.1.2.3.1 Equipo utilizado y condiciones de trabajo  | 158        |
| 3.1.2.3.2 Caucho   | 158        |
| 3.1.2.3.3 Acetato de celulosa  | 162        |
| 3.1.2.3.4 PVC  | 165        |
| 3.1.2.3.5 PMMA   | 168        |
| 3.1.2.3.6 Poliéster  | 171        |
| 3.1.2.3.7 Poliuretano  | 174        |
| 3.1.2.4 Preparación y montaje del sistema de medición  | 177        |
| 3.1.2.5 Lectura y análisis de datos  | 178        |
| 3.1.3 Lectura, análisis e interpretación de los resultados del ensayo  | 181        |
| 3.1.3.1 Lectura y análisis de los cambios colorimétricos   | 187        |
| 3.1.3.1.1 Acetato celulosa   | 187        |
| 3.1.3.1.2 Poliéster  | 193        |
| 3.1.3.1.3 Poliuretano  | 201        |
| 3.1.3.1.4 Caucho, PVC y PMMA   | 207        |
| 3.1.3.2 Relación entre los valores colorimétricos y la concentración ácida   | 216        |

---

|   |            |
|---|------------|
| 3.1.3.2.1 Correspondencia en el acetato de celulosa   | 217        |
| 3.1.3.2.2 Correspondencia en el poliéster   | 225        |
| 3.1.3.2.3 Correspondencia en el poliuretano   | 233        |
| 5.1.3.2.4 Correspondencia en el caucho, PVC y PMMA  | 241        |
| <b>3.2 Aplicación del ensayo práctico a un caso real</b>  | <b>250</b> |
| <br>  |            |
| <b>PARTE IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES</b>   | <b>259</b> |
| <br>  |            |
| 4.1 Discusión   | 259        |
| 4.2. Conclusiones   | 269        |
| <br>  |            |
| <b>PARTE V: PROPUESTA DE PROTOCOLO</b>  | <b>275</b> |
| <br>  |            |
| 5.1 Introducción  | 275        |
| 5.2 Descripción de la obra y su entorno   | 276        |
| 5.2.1 Descripción de la obra  | 276        |
| 5.2.2 Descripción del lugar de exposición y/o almacenamiento  | 279        |
| 5.3 Detección y control de los umbrales de riesgo de los agentes de deterioro de los plásticos emisores       | 280        |
| 5.3.1 Agentes de deterioro extrínsecos: temperatura, humedad relativa, iluminación y oxígeno                  | 280        |
| 5.3.2 Agentes de deterioro intrínsecos: contaminantes intrínsecos secundarios                                 | 282        |
| 5.3.2.1 Detección y control visual de signos de degradación en plásticos y materiales sensibles               | 282        |
| 5.3.2.2 Muestreo de compuestos volátiles ácidos con A-D Strips  | 285        |
| 5.3.2.3 Interpretación de los resultados obtenidos mediante la inspección visual y el muestreo con A-D Strips | 287        |
| 5.4 Inhibición y reducción de los procesos de alteración y degradación de los plásticos emisores              | 291        |
| 5.4.1 Mantenimiento, identificación, almacenamiento y manipulación  | 292        |
| 5.4.2 Luz   | 292        |
| 5.4.3 Temperatura y humedad relativa  | 293        |
| 5.4.4 Oxígeno   | 293        |
| 5.4.5 Contaminantes intrínsecos secundarios   | 294        |

---

|  |            |
|--|------------|
| 5.5 Modelo de propuesta de protocolo                               | 295        |
| 5.5.1 Fase 1: descripción de la obra y su entorno                  | 295        |
| 5.5.2 Fase 2: detección y control de los agentes de deterioro      | 296        |
| 5.5.3 Fase 3: reducción e inhibición de los procesos de alteración | 301        |
| <b>BIBLIOGRAFÍA</b>  | <b>305</b> |
| <b>RELACIÓN DE TABLAS Y FIGURAS</b>                                | <b>318</b> |
| RELACIÓN DE TABLAS   | 319        |
| RELACIÓN DE FIGURAS  | 324        |
| <b>ANEXOS</b>  | <b>334</b> |
| ANEXO I: LISTA DE OBRAS  | 334        |
| ANEXO II: ENCUESTAS REALIZADAS A MUSEOS E INSTITUCIONES            | 444        |



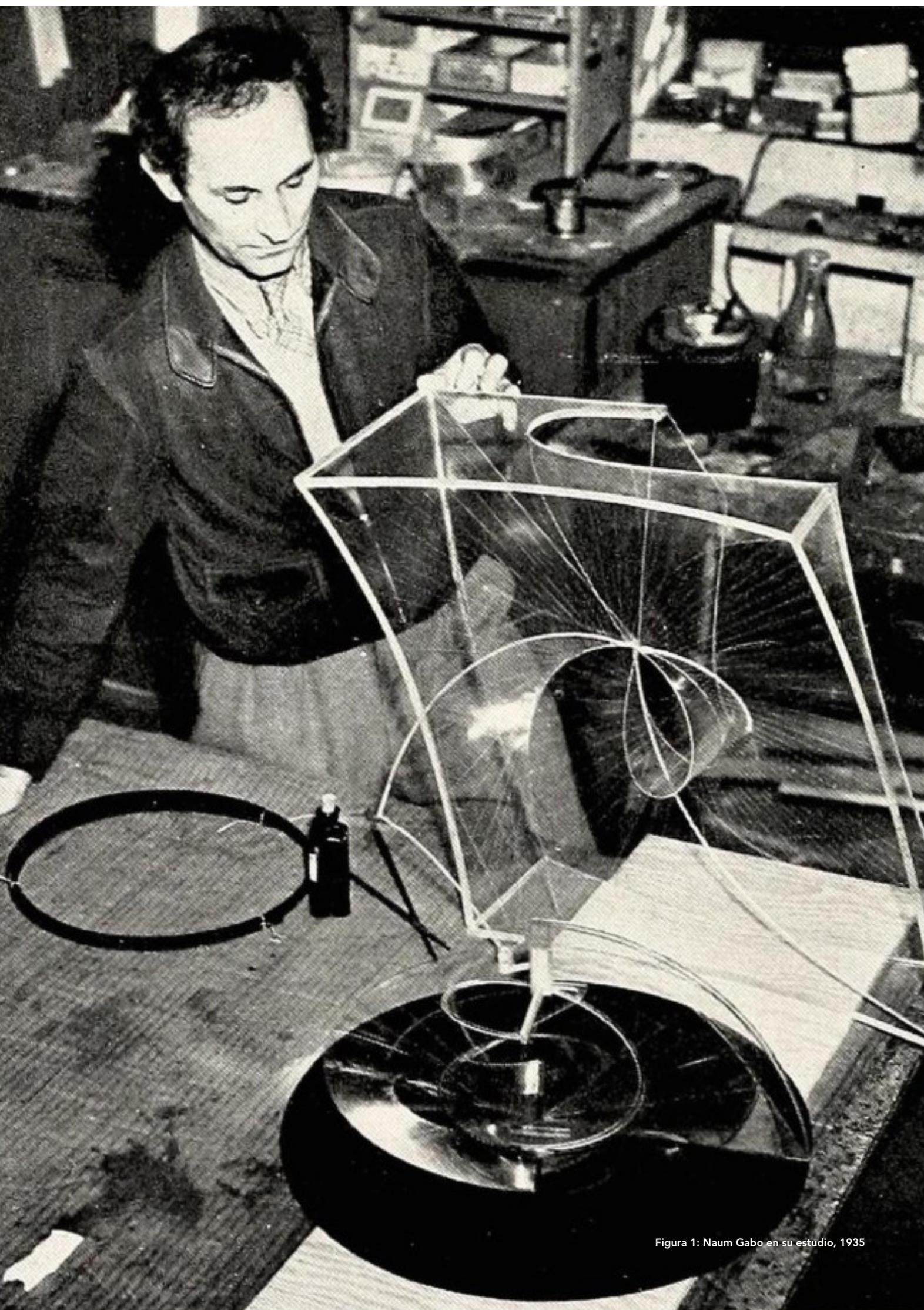


Figura 1: Naum Gabo en su estudio, 1935

# PARTE I: ESTRUCTURA Y ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

## 1.1. Introducción

Desde que algunos artistas constructivistas como Naum Gabo o Antoine Pevsner incorporaron el plástico como material expresivo en sus obras a comienzos del siglo XX, este material no ha dejado de ser utilizado en el campo de la creación artística, de tal modo que su presencia en las colecciones de Arte Contemporáneo hoy día, alcanza un elevado porcentaje, en comparación con otros materiales tradicionales.

Con apenas medio siglo de vida, esas primeras obras realizadas con plástico comenzaron a dar síntomas de inestabilidad y, en consecuencia, surgió la necesidad de investigar cómo afrontar esta nueva problemática. De este modo se iniciaron, en los años noventa estudios relacionados con la conservación de Arte Contemporáneo dentro de los cuales se abordaba la conservación de los plásticos; apareciendo los específicos para dicho material a principios del siglo XXI. Las investigaciones encaminadas a prolongar la esperanza de vida de los plásticos, desde que dieron comienzo a principios de los años noventa hasta hoy, se pueden dividir en tres grandes bloques. El primero de ellos, el correspondiente con la década de los noventa, cuando las investigaciones estaban centradas en la detección de las vías de deterioro de los plásticos; el segundo, desde finales de los noventa hasta principios del siglo XXI, donde los estudios tenían como objetivo desarrollar estrategias que permitiesen inhibir su degradación; mientras que en el tercero, que abarca desde principios del siglo XXI hasta nuestros días, los esfuerzos se concentran en la búsqueda de tratamientos de conservación preventiva (conservación intervencionista) y de restauración que permitan mantener un equilibrio entre la preservación de la intencionalidad del artista y el principio de reversibilidad (Shashoua, 2016).

Así, la conservación de los plásticos constituye un desafío que crece en importancia a medida que los materiales van siendo amenazados por el paso del tiempo, ya que sus procesos de degradación son irreversibles y en la mayoría

de los casos imposibles de detener. Si a esta realidad le añadimos que a día de hoy no existen datos fiables que nos permitan acometer intervenciones sobre las obras manteniendo su materia prístina; resulta fácil asumir que la mejor opción es la de desarrollar una serie de reglas que nos permitan preservarlas en las condiciones más óptimas con el objetivo de alargar su esperanza de vida.

Un grave problema para la conservación de plásticos en las colecciones de arte, es la presencia de los plásticos emisores<sup>1</sup>, es decir, aquellos que desprenden contaminantes gaseosos en todas o alguna de las fases de su vida útil; ya que pueden suponer un riesgo potencial tanto para los mismos plásticos como para otros materiales que se encuentren cercanos desencadenando o acelerando sus procesos de degradación.

Cabe señalar aquí, que en la revisión bibliográfica realizada, únicamente se han encontrado estudios que hacen referencia a dicho tema de forma muy superficial, ya que se limitan a enumerar algunos de los plásticos potencialmente emisores, y a señalar que pueden suponer una amenaza para las obras colindantes, refiriéndose a casos de obras concretas, o cuando no, proponiendo inhibidores de contaminantes solo para algunos tipos. Sin embargo, se detecta la ausencia de investigaciones que aborden la problemática en profundidad; lo que permitiría conocer cuáles son los plásticos emisores y sus características, qué presencia tienen en las colecciones patrimoniales, qué sustancias emiten, en qué fases de su vida son más virulentos, a qué y a quienes pueden afectar, qué factores influyen en la tasa de riesgo y cuáles son las pautas a seguir para reducirla.

Por tanto, dado que la investigación en esta materia está iniciada, pero es por el momento muy incipiente; y que, a día de hoy, la única forma de asegurar la perdurabilidad de las obras de arte realizadas en plástico pasa por establecer una estrategia de conservación que evite o ralentice su deterioro. Se ha considerado de gran interés para cubrir estas carencias realizar un estudio en profundidad de la citada problemática con el objetivo de llegar a formular una propuesta de protocolo de conservación específico para todo tipo de plásticos, incluidos los emisores.

---

1 También conocidos como *Malignant Plastics*, término acuñado por Williams (2002) para denominar a los plásticos que emiten volátiles nocivos que pueden causar daños a otros objetos, plásticos y no plásticos; y que en castellano podríamos denominar plásticos emisores.

## 1.2. Objetivos

### 1.2.1 Objetivo general

Esta tesis propone como objetivo general la elaboración de una propuesta de protocolo de conservación para obras de Arte Contemporáneo realizadas en plástico, haciendo especial hincapié en las estrategias para la preservación de los plásticos emisores.

### 1.2.2 Objetivos específicos

Asimismo, se ha considerado oportuno definir los siguientes objetivos específicos con el fin de analizar los aspectos más relevantes a tener en cuenta en la elaboración de la propuesta de protocolo de conservación:

- Determinar qué plásticos son considerados emisores potenciales de contaminantes gaseosos y cuál es su presencia en las colecciones de Arte Contemporáneo.
- Conocer la naturaleza de las emisiones y su repercusión tanto en la estabilidad de otros materiales, como en la salud de las personas.
- Determinar los principales agentes de deterioro de los plásticos y cómo repercuten en la emisión de contaminantes gaseosos.
- Identificar los factores que influyen en el aumento de concentración de contaminantes gaseosos.
- Revisar y analizar las recomendaciones ya existentes para la conservación de los plásticos publicadas por investigadores especializados.
- Conocer las pautas seguidas en los museos y centros de arte para la preservación de las obras realizadas en plástico.
- Revisar los diversos sistemas que existen para la detección y el control de los contaminantes gaseosos, y determinar cuál es el más adecuado para las emisiones derivadas de las obras de arte realizadas en plástico.
- Determinar el grado de peligrosidad de cada plástico emisor, así como la relación entre su grado de envejecimiento y su tasa de emisión; y la existente entre el riesgo de concentración de contaminantes gaseosos, el volumen del contenedor y el tiempo de exposición.

### 1.3. Metodología

La metodología escogida para realizar esta tesis se divide en tres grandes bloques: uno de carácter teórico, dedicado a la recopilación bibliográfica y documental; otro de carácter teórico-práctico, enfocado a la obtención de información mediante encuestas que incluye su diseño, envío, recogida y análisis; y el último de carácter práctico, dedicado al desarrollo de un ensayo empírico.

En la parte teórica, se ha recogido además de la bibliografía general sobre conservación de Arte Contemporáneo, conservación de bienes culturales realizados en plástico y contaminación en ambientes museísticos; la específica correspondiente a cada apartado, como son el problema de los plásticos emisores de contaminantes gaseosos, recomendaciones y pautas para su conservación, y sistemas de detección y control de las emisiones. Esta recopilación se fundamenta en publicaciones, tesis doctorales y resultados de proyectos de investigación relevantes; y nos ha permitido comprobar, como veremos en el estado de la cuestión, que el tema de investigación elegido no ha sido abordado hasta ahora en profundidad desde una visión global del problema.

En las encuestas se pueden distinguir dos fases con claridad. En la primera se efectuó un sondeo para conocer qué protocolos se utilizaban en los museos e instituciones para la conservación del patrimonio realizado en plástico, en el cual se pudo detectar la falta de protocolos específicos. Por ese motivo, se llevó a cabo un segundo acercamiento con el fin de conocer de primera mano qué pautas siguen y qué criterios guían las actuaciones de los conservadores de colecciones contemporáneas para preservar las obras realizadas en plástico. El cuestionario constaba de cinco preguntas con las que se pretendía profundizar tanto en los aspectos relativos a la conservación material de la obra como las condiciones ambientales, las rutinas de mantenimiento o si se toman medidas específicas para reducir los riesgos derivados de los plásticos emisores. Igualmente se atendió a la conservación de los aspectos conceptuales de las obras, para lo cual se preguntó sobre los criterios de intervención y las directrices en las que se apoyaban estos.

En cuanto a la selección de museos e instituciones, se escogieron aquellos que; bien por la importancia de sus colecciones, por poseer una colección en la que predominan los plásticos; o bien por su participación en proyectos relacionados con la conservación de este material, nos podían aportar una visión realista de en qué punto se encuentra la aplicación de los avances emanados de las distintas investigaciones en curso sobre esta materia.

Tras la recopilación, se efectuó una revisión crítica de la información obtenida con el fin de comprobar la existencia de lagunas en relación con nuestro tema de investigación y evaluar así su interés. Entre las carencias detectadas se encuentran el desconocimiento del nivel de virulencia de cada plástico (tasa de emisión) y de otras de las variables que influyen en la mayor o menor aparición de concentración de gases. En concreto, la relación entre su grado de envejecimiento y su tasa de emisión de contaminantes, y de la existente entre la concentración de contaminantes, el volumen del contenedor y el tiempo de exposición. Así como la falta de evidencias científicas que demuestren que el polimetilmetacrilato no emana ningún tipo de sustancia volátil nociva.

En la parte dedicada al estudio empírico, en primer lugar, se ha tratado de dar respuesta a estas importantes lagunas mediante un ensayo práctico con probetas. La misma metodología fue validada posteriormente aplicando el mismo procedimiento a la obra *Éxtasis, status, estatua* (1994) de Juan Luis Moraza<sup>2</sup> realizada en resina de poliéster. Los interesantes resultados arrojados por el estudio empírico han sido claves para la elaboración de la propuesta de protocolo.

El planteamiento del ensayo práctico se ha dividido en las siguientes fases:

- Diseño de un método propio para la realización del ensayo
- Preparación, envejecimiento y caracterización de muestras de seis plásticos potencialmente emisores.
- Preparación y montaje del sistema de medición
- Lectura, análisis e interpretación de datos obtenidos mediante el ensayo práctico.
- Aplicación del ensayo práctico a un caso real
- Análisis crítico y contrastivo de los resultados obtenidos en el ensayo práctico y en el caso real

#### **1.4. Estado de la cuestión**

En el estado de la cuestión se ha tratado de reflejar la situación actual de las investigaciones en torno a las emisiones de contaminantes gaseosos por parte de algunos plásticos presentes en obras de arte. El análisis se ha efectuado desde el ámbito de la conservación de Arte Contemporáneo, de modo que los resultados puedan ser útiles tanto para investigadores de esta área como para conservadores de museo.

---

<sup>2</sup> Pertenece a la colección del Museo Guggenheim de Bilbao.



Figura 2: *Head*, c.1923-4, Antoine Pevsner, escultura de plástico

Para ello, se han revisado las publicaciones, actas de congresos y proyectos más relevantes con el objetivo de conocer en qué punto se encuentran las investigaciones sobre esta problemática tanto en el campo de la conservación de los plásticos como material artístico, como en el relativo a la contaminación ambiental en el interior de los museos. A su vez ambos campos se analizarán desde dos áreas de estudio: la científica en la que principalmente son los profesionales de la química quienes realizan ensayos con el objetivo de dar solución a los problemas que se dan en la conservación de las colecciones de arte, y la específica de conservación-restauración en la que los especialistas en esta materia, investigan como solventar las dificultades que observan para salvaguardar el patrimonio realizado en plástico. Teniendo en cuenta que la confluencia de los resultados procedentes de ambos campos de estudio nos proporcionará una visión complementaria que nos será de gran ayuda para la elaboración de la propuesta de un protocolo de conservación específico para las obras de arte realizadas en plástico, incluidos los emisores de compuestos volátiles contaminantes.

También se ha llevado a cabo una revisión de los protocolos de conservación de plásticos existentes, que ha puesto de relieve la ausencia de uno específico para la conservación de dicho material.

#### 1.4.1 Contexto y antecedentes de la problemática

El plástico, un material producto de la química moderna y reflejo de la sociedad de consumo del siglo XX, comienza a utilizarse en la creación artística de



Figura 3: *Floor Cake*, 1962, Claes Oldeburg. Pintura sintética sobre lienzo relleno de espuma de poliuretano y cajas de cartón.

la mano de los constructivistas Naum Gabo y Antoine Pevsner, quienes en 1920 publican el Manifiesto Realista, en el cual se establece formalmente el concepto de arte abstracto en la era moderna y los materiales que más se adecuaban para ello, entre los que se encontraba el plástico.

A partir de los años cincuenta, se generalizó su uso en la vida cotidiana, hecho que se vio reflejado en las creaciones artísticas, donde aumentaron de forma considerable las obras realizadas en este material; llegando a alcanzar una gran significación en algunos movimientos artísticos como el Pop Art.

Su presencia en las colecciones de Arte Contemporáneo y Diseño, no ha dejado de crecer. De este modo, las diferentes formulaciones de los plásticos se encuentran ya representadas en un importante porcentaje en colecciones de gran relevancia a nivel internacional tales como las del Museo Nacional Centro de Arte Reina Sofía, Museo de Arte Contemporáneo de Barcelona, Guggenheim, Museum of Modern Art, Vitra Design Museum, Die Neue Sammlung – Design Museum. Habiendo llegado a convertirse en el denominador común de colecciones como las de MoDIP, Fondazione Plart, Deutches Kunststoff Museum o Sandretto Plastic Museum o de exposiciones como *A Plastic Presence* (1969, Milwaukee Art Center), *Chimeriques polymères: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle*. (1986, Musee d'Art Moderne et d'Art contemporain, Niza), *Acervo em plástico da Pinacoteca* (2014, Pinacoteca de São Paulo), *Plasticidade* (2019-2020, Museu de Leiria).



Figura 4: cubiertas delantera y trasera del catálogo de la exposición *Chimeriques polymères* (MAMAC), realizadas por César y Arman

La atracción que manifestaron numerosos artistas por el plástico se vio alterada al presenciar como las primeras obras realizadas en este material comenzaron a evidenciar su inestabilidad cuando aún contaban con apenas medio siglo de vida, de ahí surgió la necesidad de investigar cómo afrontar la nueva problemática.

Como ya hemos dicho, a comienzos de los años noventa se iniciaron diversos estudios relacionados con la conservación de Arte Contemporáneo dentro de los cuales se abordaba, de modo específico, la conservación de plásticos. En estos primeros pasos se señalaba la dificultad de su conservación, y se hacía referencia a casos concretos que anunciaban la existencia de un problema, aunque todavía de forma muy epidérmica. No obstante, cabe destacar, que en estos primeros estudios se sentaron ya las bases de los protocolos que utilizamos en la actualidad, y que es en ellos donde se advierte sobre la necesidad de establecer determinadas pautas de conservación preventiva.

Un buen ejemplo de estos primeros estudios es *The Decision-Making Model for the conservation and restoration of Modern and Contemporary Art* resultado del proyecto *Conservation of Modern Art* llevado a cabo en 1997 por la Foundation for the Conservation of Modern Art (SBMK), que posteriormente derivó en el simposio *Modern Art: Who Cares?* y su influyente publicación homónima, en los que se analizan los criterios de toma de decisiones que se venían utilizando hasta el momento y se adaptan para poder ser aplicados a la hora de intervenir obras de Arte Moderno y Contemporáneo.

El primer congreso de peso en el que se aborda el problema de los materiales sintéticos es *Saving the twentieth century. The conservation of Modern Materials* también conocido como *Simposio del 91*. En él se comenzó a hablar sobre el nuevo reto que suponía para los conservadores-restauradores hacer frente a los problemas anticipados que ya presentaban estos nuevos materiales, más aún si tenemos en cuenta que los conocimientos en ciencia aplicada (ej.: química aplicada a la restauración) eran escasos y los criterios de actuación estaban desarrollados para ser aplicados en obras clásicas (Grattan, 1993).

Otro de los primeros simposios de referencia fue el anteriormente mencionado *Modern Art: Who Cares?*, cuyos resultados fructificaron en la culminación de un proyecto de investigación holandés *The Conservation of Modern Art (1995-97)* que tenía la intención de identificar los problemas de la conservación-restauración de Arte Contemporáneo y desarrollar una metodología para investigar posibles soluciones. En él, ya se empezó a tratar el tema de la degradación de los plásticos, aunque todavía de forma aislada y basándose en casos concretos (Hummelen y Sillé, 1999).

En 1996, el Consejo Internacional de Museos (ICOM-CC) formó el grupo de trabajo Materiales modernos y Arte Contemporáneo con el objetivo de debatir y documentar las vías de degradación, y los criterios y técnicas de intervención; hoy en día este grupo de investigación cuenta con más de doscientos miembros y es uno de los más grandes del ICOM-CC.

Destaca por su relevancia, *From marble to chocolate – The Conservation of Modern Sculpture*, conferencia que tuvo lugar en la Tate Gallery en septiembre de 1995, en la que se abordó el tema de los criterios, procesos, materiales, técnicas e ideas que caracterizan a la conservación de la escultura contemporánea (Heuman, 1995).

En la conferencia de carácter interdisciplinar *Mortality, immortality. The legacy of the 20th century art*, que tuvo lugar en Los Ángeles entre el 26 y el 27 de marzo de 1998, organizada por el *Getty Conservation Institute*, se abordaron temas como la degradación de algunos plásticos, su identificación y conservación, entre otras cuestiones (Corzo, 1999). Siendo también en esta época cuando se crea el grupo de trabajo *Modern Materials and Contemporary Art*, dependiente del International Council of Museums Committee for Conservation (ICOM-CC).

Con el paso del tiempo, la conservación-restauración de Arte Contemporáneo fue adquiriendo entidad en sí misma, lo que dio lugar a nuevas líneas de investigación que se plasmaron en grandes proyectos como por ejemplo *Plastic Art – A precarious Success Story o, Preservation of Plastics Artefacts in Museum Collections* en los que participaron investigadores de empresas privadas, universidades, museos y otros centros de investigación.

#### 1.4.2 Los plásticos emisores en las investigaciones centradas en la conservación de los plásticos

Una vez revisados todos los congresos, conferencias, simposios, proyectos y libros considerados de relevancia y en los que se trata la conservación de los plásticos como tema principal, se observa que en muchos de ellos no se aborda la problemática específica de las emisiones de gases contaminantes.

De entre los simposios y conferencias, se puede señalar que tanto *Plastics in Art: history, technology, preservation* (2001), organizada por el grupo del ICOM-CC anteriormente mencionado, *Modern Materials and Contemporary Art* (Oosten, Shashoua y Waentig, 2002) como *PLASTICS. Looking at the future and learning from the past*, conferencia llevada a cabo en el Victoria & Albert Museum en mayo 2007 (Keneghan, Betts y Egan, 2008); y *The Age of Plastic: Ingenuity + Responsibility*, simposio celebrado por el Smithsonian Museum

Conservation Institute en 2012, basado en un programa de investigación interdisciplinar dedicado a explorar el impacto tecnológico, cultural y ambiental del material “que llamamos plástico” (Smithsonian Science, 2012); en ninguno de ellos se trata el tema de los plásticos que emiten contaminantes gaseosos en todas o alguna de las fases de su vida útil, al igual que en libros como *PUR Facts: Conservation of Polyurethane Foam in Art and Design* (Oosten, 2011), o *Conservación y restauración de materiales contemporáneos y nuevas tecnologías* (Rotaeché González de Ubieta, 2011).

Por otro lado, en los grandes proyectos de investigación dedicados a la conservación de plásticos como *Plastic Art – A Precarious Success Story*, organizado por el Vitra Design Museum, gracias a la beca de investigación AXA Art (Albus et al., 2007); PRIMI Project (*Plastics Research and Innovation for Museums and Industry*), desarrollado por la Galería Nacional de Dinamarca (Statens Museum for Kunst) desde 2010, (Cadiñanos, 2012); o el liderado por la institución americana The Getty Conservation Institute (GCI) desde 2010 titulado *Preservation of Plastics*, del que surgió una publicación del mismo nombre en primavera del 2014, en su boletín *Conservation perspectives*, ocurre lo mismo, ya que tampoco se han encontrado referencias a nuestro tema de estudio.

Pese a su escasez, sí se localizaron otros trabajos de investigación, artículos, libros y congresos pertenecientes al campo de la conservación-restauración que hacen referencia, en mayor o menor medida, a la problemática de las emisiones de contaminantes aerotransportados por parte de algunos tipos de plástico. Por lo que se procedió a efectuar un repaso cronológico de todos ellos al estar directamente relacionados con nuestro tema de estudio.

El primer ejemplo, lo encontramos en el artículo *Cellulose acetate deterioration in the sculptures of Naum Gabo* recogido en el *preprint* del encuentro *Modern organic materials* (Pullen y Heuman, 1988), que tuvo lugar en Endimburgo en 1988, en el que se hace referencia a las emisiones de gases nocivos por parte del acetato de celulosa mediante el caso de estudio de la réplica de la obra de Naum Gabo, *Construction in space, two cones*<sup>3</sup> realizada en 1968. Esta obra perteneciente a la colección de la Tate estaba realizada con láminas de acetato de celulosa de distintos colores y grosores pegados entre sí mediante un adhesivo con base de disolvente; y se almacenaba y exhibía en el interior de una vitrina acrílica. Alarmados por su rápido deterioro se decidió efectuar un seguimiento de la evolución de la degradación. Uno de los primeros síntomas detectado fue que desprendía olor a ácido acético; pese a lo cual no se tomaron

---

3 La obra original realizada en 1937 presentaba una degradación muy avanzada que no permitía recuperarla.

medidas hasta cinco años más tarde cuando la degradación había avanzado notablemente. Transcurrido este tiempo, se decidió realizar unos agujeros de ventilación a la vitrina que la protegía, debido a que se había llegado a la conclusión de que las emisiones detectadas se estaban concentrando en su interior, y que era lo que estaba provocando la degradación autocatalítica de la obra. Pese a todo, esta medida no solucionó el problema, por lo que dos años más tarde se decidió retirar la vitrina.

En 1991, Morgan en el capítulo *Degradation of plastics* de su libro *Conservation of plastics. An introduction to their history, manufacture, deterioration, identification and care*, habla sobre el desarrollo de productos de degradación gaseosos por parte de algunos tipos de plástico. Morgan indica que estas emisiones habitualmente son olorosas e indicativas de la degradación química del objeto. En los capítulos que dedica posteriormente al estudio de algunos plásticos concretos, sí señala su peligrosidad, pero de forma puntual.

En 1995, con motivo de la conferencia *Resins: Ancient and Modern* organizada por la Scottish Society for Conservation & Restoration, Julia Fenn en su artículo *Secret sabotage: reassessing museum plastics in display and storage*, ya advertía de que algunos de los plásticos históricamente más importantes presentes en multitud de obras de arte pueden desprender emisiones altamente corrosivas.

Un año más tarde Cecilia Illa Malvehy, en su ponencia *Miralda: del plástico al chocolate. Problemática de conservación* presentada en XI Congreso de Conservación y Restauración de Bienes Culturales que se celebró en Castellón, hacía también referencia a la misma problemática señalando que algunos plásticos como el policloruro de vinilo o los celulósicos emiten gases ácidos.

En el *Chapter 5: Degradation*, del libro *Plastics. Collecting and conserving* (Quye y Williamson, 1999) recuerdan que aunque algunos plásticos a simple vista parezca que se encuentran en buenas condiciones, existe el riesgo de que estén desprendiendo vapores ácidos que pueden causar corrosión en los metales, además de suponer un peligro potencial para los materiales derivados de la celulosa.

Sería en 2002, cuando Williams acuñaría el término *Malignant Plastics* para denominar a los plásticos que emiten productos de degradación nocivos que pueden causar daños a otros objetos, plásticos y no plásticos; es decir, le pone por primera vez nombre a esta problemática, dándole así una mayor visibilidad.

Desde que este término, *Malignant*, fuera acuñado por Williams en 2002 ha sido posteriormente utilizado por otros autores para referirse al mismo problema. Así, a lo largo de los años se observa su uso en las siguientes publicaciones:

*Conservation of plastics. Materials, science, degradation and preservation* (Shashoua 2008: 177); *Does Plastic Art Last Forever?. Not even close. Can a generation of synthetic objects be saved?* (Kean, 2009); *Degradation of 'Lumarith' Cellulose Acetate. Examination and chemical analysis of a salesman's simple kit* (Tsang et al. 2009: 90); *Preservation of Plastic Artefacts in museum collections* (Lavédrine et al. 2012: 159).

En *Plastics in art. A study from the conservation point of view*, (Waentig, 2008), en los apartados dedicados a los signos de degradación de determinados plásticos, encontramos una llamada de atención acerca de que estos pueden emitir gases perjudiciales; además en uno de ellos la autora señala que dichas emisiones pueden afectar a los materiales que les rodean.

*Conservation of plastics. Materials, science, degradation and preservation* es un libro escrito por Yvonne Shashoua, química especialista en conservación de patrimonio y responsable del área científica del Museo Nacional de Dinamarca, dedicado específicamente a la conservación del plástico como material histórico-artístico. A lo largo de sus ocho capítulos proporciona información sobre las propiedades de los plásticos, su historia, tecnología, identificación, degradación y conservación. Se trata de un manual indispensable para la conservación de plásticos en el patrimonio cultural, escrito desde un punto de vista científico, pero perfectamente adaptado a las necesidades del campo de la conservación-restauración. Los tres capítulos que aparecen señalados como los más prácticos para conservadores-restauradores desarrollan cuestiones como la identificación, la degradación y las técnicas de conservación preventiva; siendo en ellos donde se hace referencia de forma puntual al núcleo de nuestra investigación, los plásticos emisores de contaminantes gaseosos. En el dedicado a la identificación, se explican brevemente los olores que emiten los plásticos; en el relativo a la degradación se señala cómo algunos de ellos emiten sustancias volátiles en su proceso de deterioro; mientras que en el que trata las técnicas de conservación preventiva se menciona la necesidad de utilizar sorbentes<sup>4</sup> de contaminantes cuando determinados plásticos se almacenan o exhiben en espacios cerrados para evitar su autocatálisis.

En el libro *POP ART. Preservation of Plastic Artefacts in Museum Collections* se publica el resultado del proyecto financiado por la Comisión Europea cuya finalidad era desarrollar una estrategia para la conservación preventiva y el mantenimiento de las colecciones con objetos realizados en plástico. El capítulo tres está dedicado a la evaluación científica de la degradación de los plásticos, y en el apéndice tres, se analizan los productos de degradación

---

<sup>4</sup> Un sorbente es un material utilizado para absorber (reacción química) o adsorber (interacción física) líquidos o gases.

encontrados durante los estudios realizados en las colecciones de tres museos franceses -Musée Galliera (París), Musée d'Art Moderne et Contemporain de Saint-Etienne (Saint-Etienne) y Musée du Peigne et de la plasturgie (Oyonnax)-, lo que también está en relación con nuestro tema de estudio, aunque tenemos que tener en cuenta a la hora de utilizar la información que se trata de estudios muy concretos.

La Plastics Historical Society, en la sección *The conservation of plastics* de su página web, hace referencia al problema de la emisión de sustancias contaminantes por parte de algunos plásticos. En concreto en el apartado *Chemical degradation* advierte de que los productos de degradación provenientes de los objetos de plástico pueden contaminar otros objetos que se encuentren en las inmediaciones; y recomienda revisar regularmente las colecciones a fin de detectar el problema tan pronto como sea posible y poder así separar el objeto contaminante del resto de la colección (*The Plastics Historical Society*, 2015).

De entre las publicaciones procedentes del ámbito nacional cabe reseñar la de Rosario Llamas Pacheco (2014) *Arte Contemporáneo y Restauración o cómo investigar entre lo material, lo esencial y lo simbólico* en donde se hace una clasificación de los plásticos más habituales presentes en las obras de arte de principios del siglo XX en base a su comportamiento. En el segundo grupo de esta lista se hace referencia a "los plásticos que en el proceso de degradación pueden dañar a otros objetos debido a los productos liberados".



Figura 5: The Plastics Heritage Congress, Lisboa, 2019

Mientras que en los congresos *The Plastics Heritage Congress* (2019) y *Plastics in Peril: Focus on the Conservation of Polymeric Materials in Cultural Heritage* (2020) se trata la problemática de los plásticos emisores en algunas ponencias como *A critical assessment of A-D Strips used in degradation studies for artworks made from cellulose acetate* (Townsend, Hackney y Kearney, 2019) o *How to deal with a self-destructive plastic in museum collections? Storing cellulose nitrate 3D objects at the Deutches Museum* (Elsässer et al., 2020).

Por tanto, se puede establecer que las investigaciones sobre los plásticos emisores de contaminantes gaseosos están iniciadas, pero son por el momento muy incipientes; mientras que otras cuestiones como su historia, identificación o conservación material ya han sido estudiados en profundidad, lo que se refleja en libros como por ejemplo *Plastics in art. A study from the conservation point of view* (Waentig, 2008), *Conservation of plastics. Materials, science, degradation and preservation* (Shashoua, 2008b), o *Preservation of Plastic Artefacts in Museum Collections* (Lavédrine, Fournier y Martin, 2012).

### 1.4.3 Los plásticos emisores en las investigaciones centradas en la contaminación en ambientes museísticos

El problema de la contaminación ambiental en el interior de los museos suele estar relegada a un segundo plano cuando se trata el tema de la conservación preventiva, mientras que otros parámetros como la humedad, la temperatura o la iluminación vienen siendo objeto de estudio desde al menos hace cien años. Este dato puede resultar extraño, ya que la acción de los contaminantes suele ser tanto o más dañina que por ejemplo la exposición a altos niveles lumínicos; sin embargo los estudios en relación con los contaminantes aerotransportados no se han desarrollado tanto debido a que sus efectos no siempre son tan obvios como los de los otros parámetros ambientales arriba citados. No obstante se han comenzado a estudiar en profundidad en los últimos años, aunque aún no constituye una línea de investigación con tanta antigüedad como puede serlo la del tema de la humedad. Por ello gran parte de los enfoques y de la terminología que se utiliza para tratar el problema de los contaminantes en los museos proceden del campo sanitario.

Existen algunos proyectos centrados en el estudio de la contaminación ambiental interior en los museos, que se han llevado a cabo desde el área científica, con el objetivo de analizar el problema y desarrollar nuevas tecnologías y técnicas que permitan salvaguardar de forma más eficiente las colecciones de arte. A continuación expondremos cronológicamente alguno de ellos por su interés y cercanía al núcleo de nuestra investigación.

El primer estudio que aborda el problema de los gases contaminantes fue desarrollado en 1965 por Garry Thomson. En él diseña un manual para conservadores de museo en el que se recoge una revisión básica de la química atmosférica y de los parámetros implicados en la contaminación del aire. Unos años después, en 1978 se publicó la primera edición de su libro *The Museum Environment* (Thomson, 1978), que se convirtió en un referente bibliográfico en la materia que nos ocupa; y en el cual ya se señala a algunos tipos de plásticos como emisores potenciales de gases tóxicos. También en esta publicación Thomson recomienda que los niveles máximos de dióxido de azufre y dióxido de nitrógeno en el interior de los museos, no deben superar los niveles promedio a los que se encuentran en la troposfera limpia.

Otro investigador, Hackney (1984), realizó un primer estudio exhaustivo sobre la distribución de contaminantes gaseosos en los entornos museísticos, que incluía una breve descripción de los contaminantes aerotransportados y su efectos en la conservación; un análisis de varios métodos de medición; y la variación que experimentaban los niveles de contaminación interiores en función del clima y de las estrategias de control de contaminantes (filtración o adsorción) utilizadas.

A finales del siglo XX, el interés por el control de la calidad del aire en el interior de los museos aumentó de forma considerable dando lugar a numerosos estudios como *The composition of museum atmospheres* (Brimblecombe, 1990), que se convertiría en uno de los artículos sobre contaminación atmosférica más citados de esta época, en el cual se hace un breve apunte sobre el potencial corrosivo de las emisiones derivadas del envejecimiento de determinadas espumas, cauchos y plásticos.

Sin embargo, a pesar del incremento del número de estudios sobre el problema de los contaminantes gaseosos, hay que tener presente que la mayoría de los museos no disponen ni de los medios ni de los recursos necesarios para realizar las investigaciones pertinentes para poder desarrollar una estrategia específica de control de contaminantes. Con el fin de paliar esta carencia, se están llevando a cabo distintos proyectos que intentan dar solución a este problema tratando de establecer unos niveles máximos de contaminación para la sensibilidad media de una colección; así como de desarrollar métodos simples de monitorización y estrategias de prevención sostenibles tales como los que presentamos a continuación:

*Guidelines on pollution control in heritage buildings* (Blades et al., 2000), es una publicación promovida por The Council for Museums, Archives and Libraries de Londres en la cual se señalan las fuentes más comunes de contaminantes en museos, galerías, bibliotecas y archivos; y se propone una metodología para

lidar con este problema. Entre las fuentes señaladas se encuentran algunos plásticos como los derivados de la celulosa o el caucho vulcanizado. Además ofrecen los resultados de la revisión de los valores máximos de exposición a contaminantes recomendados por distintas instituciones y centros de investigación de la que se desprende que hasta la fecha no hay un consenso, ya que existe una variación considerable entre los niveles propuestos por cada fuente.

Hatchfield (2002) en su libro *Pollutants in the museum environment: practical strategies for problem solving in design, exhibition and storage* advierte de las fuentes más comunes de gases nocivos; y revisa el daño potencial de estos contaminantes sobre diversos materiales museísticos, los métodos de muestreo ambiental y las estrategias para mitigar sus efectos nocivos. Igualmente se pueden encontrar referencias directas a los plásticos y sus productos de degradación tanto en el capítulo dedicado a las fuentes de contaminantes en las atmósferas museísticas; como en el apéndice dos, en el que se explican las distintas formulaciones de plásticos y su información técnica.

*Airborne pollutants in Museums, Galleries, and Archives: Risk Assessment, Control Strategies, and Preservation Management* (Tétreault, 2003a) es otro de los libros considerado como referente en esta materia. En él se proporciona información acerca de las fuentes de contaminantes más comunes, entre las que se señalan a algunos plásticos; así como de sus posibles efectos adversos sobre determinados materiales. También hace un repaso por distintos métodos, estrategias, y técnicas de evaluación de riesgos y control. En esta publicación se recogen además los datos del ensayo realizado con el propósito de conocer el daño sufrido por varios materiales cuando han estado ubicados en ambientes interiores contaminados.<sup>5</sup>

El libro *Monitoring for Gaseous Pollutants in Museum Environments. Tools for conservation* (Grzywacz, 2006), publicado por The Getty Conservation Institute, expone una síntesis del trabajo de muestreo llevado a cabo durante varios años en ambientes museísticos. En él se propone una metodología que puede ser implementada sin necesidad de un gran conocimiento científico. De esta manera, pretende dotar a los profesionales de la conservación de las herramientas necesarias para llevar a cabo estudios de control de la calidad del aire y para entender el riesgo que suponen los contaminantes gaseosos para las colecciones de arte sin requerir sofisticados equipos.

---

5 En este ensayo se ha estudiado la interacción de contaminantes como el ácido acético, aminas, amoníaco, sulfato de amonio, sulfuro de carbonilo, cloro, ácidos grasos, formaldehído, ácido fórmico, peróxido de hidrógeno, sulfuro de hidrógeno, ácido nítrico, óxido nítrico, dióxido de nitrógeno, óxido de nitrógeno, oxígeno, ozono, peroxiacilnitrato, dióxido de azufre, vapor de agua; con materiales como tintes, colorantes, metales, vidrios, cueros, gelatinas fotográficas, con base de carbonato de calcio, etc.

En 2009, el Canadian Conservation Institute en su boletín dedicado a los agentes de deterioro le dedica un capítulo a los contaminantes (Tétreault, 2009), en el que trata los aerotransportados y las estrategias para su control según los diferentes niveles de preservación; básico, intermedio y avanzado. Entre los contaminantes intrínsecos secundarios<sup>6</sup> señala, entre otros, a los compuestos generados por algunos plásticos.

La American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) elabora un manual cuatrienal que está considerado un referente internacional para los sistemas de climatización, en el cual desde 1999 dedican un capítulo específico a las necesidades de museos, galerías, archivos y bibliotecas. En este capítulo ya se habla sobre los efectos de los contaminantes gaseosos, a los que desde 2003 se les da una relevancia especial dedicándoles un apartado. También desde este mismo año se señalan las fuentes de contaminantes aerotransportados más comunes, los daños potenciales que pueden causar y los límites de exposición recomendados; además de incluir un análisis de las variables que pueden influir en las estrategias de preservación junto con una propuesta alternativa para ello.

En la línea de los estudios anteriores destacan algunos otros proyectos que se están llevando a cabo en la actualidad encaminados a desarrollar una tecnología sencilla para la monitorización de contaminantes y que además proponen medidas para paliar sus efectos, como los que mencionamos a continuación:

*Heritage Smells* es un proyecto llevado a cabo por la University of Strathclyde, la University College London y otras instituciones y empresas (British Museum, British Library, National Records of Scotland, English Heritage, Owlstone Technology), cuyo objetivo es desarrollar herramientas de diagnóstico olfativo para la protección del patrimonio. Se trata de aplicar una tecnología similar a la de las "narices electrónicas", ya utilizadas en la detección de mohos, problemas de salud o de calidad de productos como pueden ser vinos, güisquis o quesos. Mediante esta tecnología pretenden abordar tres desafíos interconectados: el riesgo que pueden suponer para la salud las sustancias químicas utilizadas en la desinfección de los objetos, la emisión de compuestos orgánicos volátiles

---

<sup>6</sup> Los contaminantes pueden ser clasificados en tres modalidades en función de cómo llegan a un objeto (patrimonial) y provocan su deterioro. La primera engloba a los que son transportados por el aire; la segunda se refiere a los que son transferidos entre dos materiales que se encuentran en contacto; y la tercera hace referencia a los que forman parte de la composición del objeto o se forman cuando su material reacciona químicamente, por ejemplo en un proceso de deterioro, y se denominan contaminantes intrínsecos secundarios.

(COV)<sup>7</sup> por parte de libros y de los materiales sintéticos modernos, entre los que se encuentran los plásticos (Gibson, 2013).

*MEMORI* (Heritage English, Fraunhofer and Norsk institutt for luftforskning, 2013) es otro proyecto que tiene como objetivo la medida, valoración del efecto y mitigación del impacto de la polución ambiental sobre los bienes culturales, en el que toda la investigación realizada se ha volcado en la elaboración de un dosímetro adaptado a las necesidades museísticas.

7 Se entiende Compuesto Orgánico Volátil (COV) "cualquier compuesto orgánico que tenga punto de ebullición inicial menor a 250°C a una presión estándar de 101,3 kPa". Además cabe destacar que para sea un "compuesto orgánico" tiene que contener "al menos el elemento carbono y uno o más de los siguientes: hidrógeno, oxígeno, azufre, fósforo, silicio, nitrógeno o un halógeno, con excepción de los óxidos de carbono y los carbonatos y bicarbonatos inorgánicos". (Dir. 2004/42/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21 de abril de 2004).

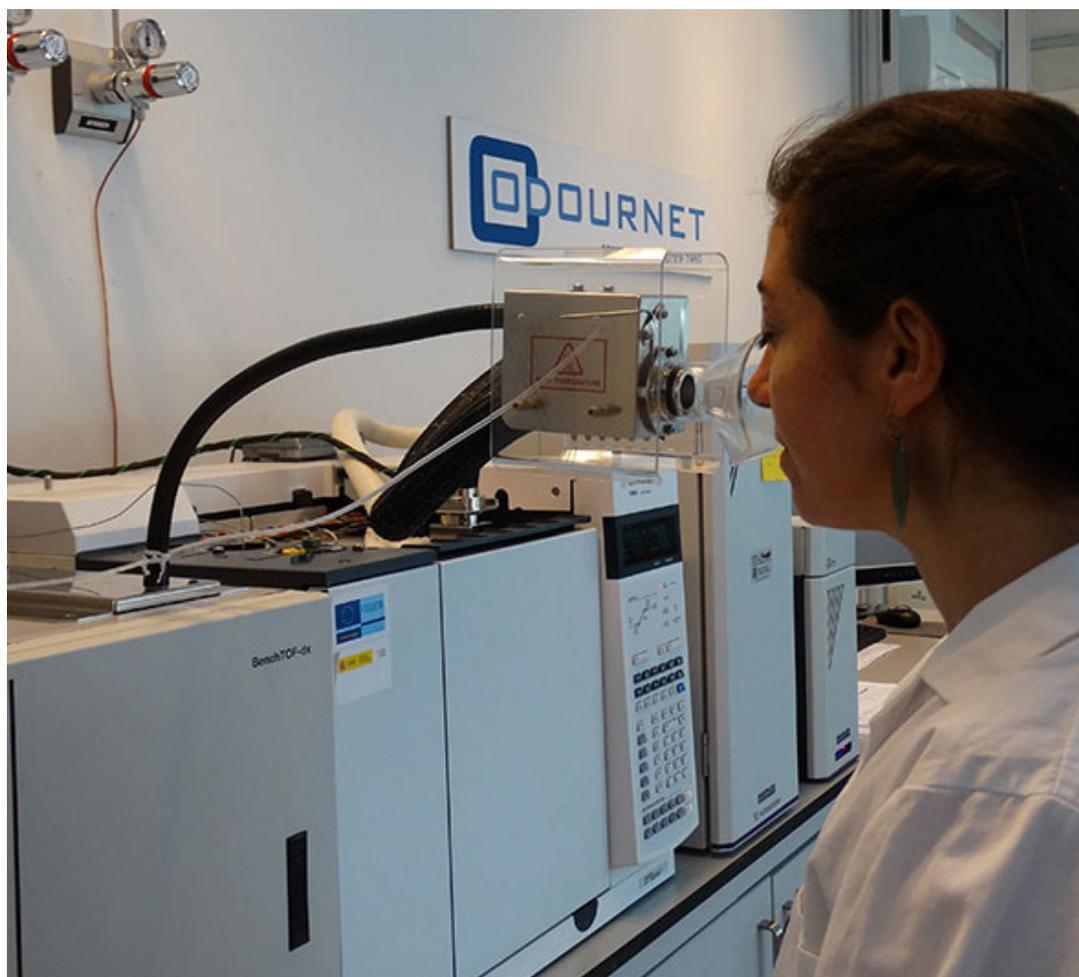


Figura 6: CG – Olfatometría en el proyecto *Heritage Smells*

A nivel nacional se ha presentado a principios de febrero de 2016 el proyecto *AIR-ARTE* (*Proyecto AIR-ARTE*, 2016), financiado por el Programa Estatal de Investigación, Desarrollo e Innovación Orientada a los Retos de la Sociedad (MINECO); en el que colaboran el Museo Arqueológico Nacional (MAN), el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT), el Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas (CENIM), el grupo de empresas Aire Limpio, el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), el Instituto de Patrimonio Cultural Español (IPCE) y el Museo Nacional Centro de Arte Reina Sofía (MNCARS). Se trata de un proyecto de investigación interdisciplinar cuyo objetivo principal es evitar o paliar el riesgo que supone la contaminación, tanto química como biológica, en el interior de los museos para la conservación de los bienes culturales; y para la salud de los profesionales y usuarios.

Asimismo, cabe mencionar al grupo de investigación Indoor Air Quality in Museums y Archives que lleva desde 1998 reuniéndose anualmente con el objetivo de presentar las investigaciones más recientes sobre la contaminación y la conservación de la calidad del aire en el interior de los museos y archivos.

#### **1.4.4 Situación actual de los protocolos de conservación de obras de arte realizadas en plástico en las Colecciones Contemporáneas**

La prematura degradación de los plásticos pone de manifiesto que se trata de un material que requiere medidas de conservación excepcionales para asegurar su estabilidad. Si además tenemos en cuenta, que a día de hoy, la gran mayoría de tratamientos de restauración alteran la materia original de forma irreversible; se asume que la opción más adecuada es implementar un protocolo de conservación específico que permita preservar las obras de arte realizadas en plástico durante el mayor tiempo y en las mejores condiciones.

Por este motivo, se ha considerado interesante efectuar una revisión de aquellas investigaciones que tratan el tema de los protocolos para la conservación del plástico como material artístico. También hemos incorporado aquí un análisis comparativo de las respuestas recibidas en las encuestas que se enviaron a varios museos con el objetivo de conocer qué pautas siguen para la conservación de los plásticos que componen su colección. Con ello pretendíamos contar con un "mapa" más real de la situación actual sobre este asunto, configurado tanto con los datos publicados como con los obtenidos en las encuestas.

#### 1.4.4.1 Datos extraídos de investigaciones especializadas

Tras revisar las investigaciones enfocadas a la conservación de los plásticos como material artístico, lo primero que se detecta es la ausencia de un protocolo específico diseñado para este fin.

Entre los estudios que ponen de manifiesto esta carencia cabe destacar por sus afirmaciones claras y concisas: *A safe place. Storage strategies for plastics*, en el cual Shashoua (2014:13) manifiesta que “[...] there are no international standards for storage environments for plastics [...]” y *Plastics Research at the Victoria and Albert Museum*, London en el cual Keneghan (2015) afirma que “Currently there are no internationally accepted guidelines defining appropriate storage environments of plastics as a generic group in cultural collections”. Estas dos autoras también explican que para suplir esta carencia tradicionalmente los museos aplican los protocolos diseñados para materiales orgánicos frágiles como el papel.

De entre los autores nacionales Rotaeche González de Ubieta (2011:121) se hace eco de la ausencia de protocolos para la conservación del plásticos; y lo hace patente en el capítulo cuarto titulado *Conservación de materiales plásticos*, de su libro *Conservación y restauración de materiales contemporáneos y nuevas tecnologías* en el cual dice en relación a la necesidad de protocolos específicos para este material que “[...] las medidas orientadas a controlar y estabilizar las condiciones medioambientales de estos soportes<sup>8</sup> van a ayudar a incrementar su esperanza real de vida.”

A pesar del consenso que existe en este punto todavía no existe un código de buenas prácticas internacional que permita establecer un decálogo de medidas aplicables en las instituciones artísticas con obras de arte realizadas a partir de materiales plásticos.

Aunque como se destila de los párrafos anteriores, no se puede hablar de la existencia de protocolos específicos para la conservación de los plásticos, sí se recogen interesantes recomendaciones que nos pueden ayudar en la elaboración de una nueva propuesta como los que se exponen a continuación:

En el artículo *An introduction to plastics and rubbers in collections*, Blank (1990) da unos consejos generales para exhibir y almacenar las obras de arte realizadas en plástico en las mejores condiciones, haciendo especial hincapié en los parámetros ambientales y en las posibilidades del almacenaje en frío.

---

8 Refiriéndose a materiales plásticos



Figura 7: objetos de plástico de la colección del Musée de la Mode et du Textile de la Ville de Paris (Musée Galliera) conservados en bolsas zip de plástico junto a sorbente

En el libro *Plastics: collecting and conserving*, Quye y Williamson (1999) dedican el capítulo cinco, *Caring for Plastics*, a sugerir diversas pautas para la correcta manipulación y limpieza de los plásticos; así como a proponer unos parámetros ambientales óptimos, y el uso de sorbentes para su correcta preservación.

Desde principios del siglo XX hasta la actualidad cabe señalar las publicaciones de Shashoua por estar enfocadas en la conservación de los plásticos; entre las que destacamos: *Modern plastics: do they suffer from the cold?* (2004), *Storing Plastics in the Cold – more Harm than Good?* (2005) en las que profundiza sobre las ventajas y desventajas de almacenaje en frío; *Conservation of plastics. Materials, science, degradation and preservation* (2008), *A safe place. Store Strategies for Plastics* (2014) en las que trata los factores más relevantes para la conservación de los plásticos y la inhibición de sus procesos de deterioro, o la investigación realizada junto a Schilling y Mazurek (2014), *The effectiveness of conservation adsorbents at inhibiting degradation of cellulose acetate*, en la que testan la efectividad de los adsorbentes para la inhibición de la degradación del acetato de celulosa.

La Agencia Nacional Danesa de Patrimonio, en 2006 propone una serie de parámetros ambientales para la conservación de las obras realizadas en este material.

El libro *Plastic art – a precarious success story* (Albus et al., 2007) dedica un capítulo llamado *Anti-ageing prevention* a dar una serie de recomendaciones para la conservación de los plásticos; en el que hace referencia a los parámetros ambientales, la manipulación, la limpieza y el almacenaje.

Waentig (2008) en su libro *Plastics in art* en el capítulo cinco, denominado *Restoration and conservation*, dedica también el último apartado, *Preventive strategies and conservation*, a este tema haciendo referencia a una serie de recomendaciones sobre las condiciones ambientales más favorable para la conservación de los plásticos.

La Plastic Historical Society en el apartado *The Conservation of Plastics* (The Plastics Historical Society, 2015) de su página web da una serie de pautas para la conservación de los plásticos en general y algunas más concretas para los plásticos emisores de contaminantes. Asimismo, hace una relación de los tipos de degradación más comunes y sugiere alguna estrategia para la manipulación, el etiquetado, la limpieza y el mantenimiento de los plásticos. También en esta sección señala qué parámetros ambientales son los óptimos para el almacenaje y la exhibición de este tipo de obras.

Coughlin (2018) en su ponencia *Looking at Plastics. An introduction to caring for Plastics* hace un repaso por los plásticos más presentes e inestables en las colecciones de arte y propone unas recomendaciones generales relativas a los parámetros ambientales, la manipulación y los sistemas de inhibición; y unas específicas para los plásticos que considera más inestables; caucho, nitrato de celulosa, acetato de celulosa, policloruro de vinilo y poliuretano.

#### 1.4.4.2 Datos extraídos mediante encuestas

Para conocer de primera mano la existencia de los protocolos utilizados para la conservación de plástico en las colecciones de Arte Contemporáneo, se realizó una encuesta a un total de cincuenta<sup>9</sup> instituciones, museos y colecciones,

<sup>9</sup> ARKEN (Copenhague, Dinamarca), Artium (Vitoria, España), Centro Andaluz de Arte Contemporáneo (Sevilla, España), Centro Atlántico de Arte Moderno (Las Palmas, España), Denver Art Museum (Denver, Estados Unidos), Fundación Botín (Santander, España), Fundación Gala-Dalí (Figueras, España), Museo Guggenheim de Bilbao (Bilbao, España), Museo Solomon R. Guggenheim (Nueva York, Estados Unidos), Institut Valencià d'Art Modern (Valencia, España), Kunststoff-Museums-Verein e. V. (Düsseldorf, Alemania), Museu d'Art Contemporani de Barcelona (Barcelona, España), Museo de Arte Latinoamericano de Buenos Aires (Buenos Aires, Argentina), Museo de Arte Contemporáneo de Monterrey (Monterrey, México), Museo de Arte Contemporáneo de la Universidad de São Paulo (São Paulo, Brasil), MOCA Grand Avenue (Los Ángeles, Estados Unidos), Museum of Design in Plastics (Poole, Inglaterra), Museum of Modern Art (Nueva York, Estados Unidos), Museo Nacional Centro de Arte Reina Sofía (Madrid, España), Museo de Arte Contemporáneo de Castilla y León (León, España), Museo Patio Herreriano (Valladolid, España), Pinacoteca do Estado de São Paulo (São Paulo, Brasil), Centre Pompidou (París, Francia), Science Museum (Londres, Inglaterra), Stedelijk Museum voor Actuele Kunst Gent (Gante, Bélgica), Smithsonian (Washington DC, Estados Unidos), Statens Museum for Kunst (København, Dinamarca), Tampere Museum (Tampere,

americanas y europeas, habiendo obtenido respuesta solamente de diecinueve de ellas.

A nivel nacional hemos podido recoger el testimonio del Artium (Vitoria, País Vasco), Centro Andaluz de Arte Contemporáneo (Sevilla, Andalucía), Centro Atlántico de Arte Moderno (Las Palmas, Canarias), Fundación Gala-Dalí (Figueras, Cataluña), Museo Guggenheim de Bilbao (Bilbao, País Vasco) y Vostell Malpartida (Cáceres, Extremadura).

Las colecciones europeas de las cuales hemos recibido respuesta a la encuesta enviada han sido: Die neue sammlung - Design Museum (Munich, Alemania), Kunststoff-Museums-Verein e. V. (Düsseldorf, Alemania), Museum of Design in Plastics (Poole, Inglaterra), Science Museum London (Londres, Inglaterra), Statens Museum for Kunsts (København, Dinamarca), Tampere Museum (Tampere, Finlandia), Victoria & Albert (Londres, Inglaterra) y Vitra Design Museum (Weil am Rhein, Alemania).

De entre las americanas contamos con las opiniones del Denver Art Museum (Denver, Estados Unidos), Museum of Modern Art (Nueva York, Estados Unidos), Pinacoteca do Estado de São Paulo (São Paulo, Brasil) y Smithsonian (Washington DC, Estados Unidos).

El análisis de la información recibida pone en evidencia la ausencia de protocolos específicos para la conservación de las obras de arte realizadas en plástico, ya que en ninguna de estas diecinueve colecciones encuestadas utilizan uno específico para tal fin.

Destacamos alguna de las respuestas recibidas que apuntalan dicha evidencia como la de Brenda Keneghan, científica especializada en conservación del Victoria & Albert Museum, quien respondía textualmente "We do not have a conservation protocol in place for objects based on material. The objects are treated depending on their collection (e.g. Furniture, textiles, etc.)"; o la de Christopher Wayner, coordinador de programa del Smithsonian quien afirmaba que "[...] there is no real 'protocol' that is generally implemented for plastic artworks.". En la misma línea Arja Koskinen, conservadora del Tampere Museum indicaba que "[...] there are plastic objects in the collections. There are no specific guidelines for storing them." O Sarah E. Melching, directora de conservación del Denver Art Museum que apuntaba que "We are in the process of developing protocols for storing plastics at the Denver Art Museum."

Las encuestas ya descritas en la metodología igualmente revelan una gran

---

Finlandia), TATE (Londres, Inglaterra), Vitra Design Museum (Weil am Rhein, Alemania), Vostell Malpartida (Cáceres, España), Victoria & Albert (Londres, Inglaterra), Whitney Museum of American Art (Nueva York, Estados Unidos)

heterogeneidad de pautas y parámetros tenidos en cuenta para la conservación de cada una de las colecciones. No así, para la toma de decisiones en las que se observa una mayor afinidad de criterios; todos los museos que han hecho referencia a ello coinciden en que siempre proceden de manera individualizada.



Figura 8: originalmente los elementos plásticos de la obra eran transparentes; actualmente muestran claros síntomas de descomposición los cuales están provocando la corrosión de las partes metálicas. *Portrait of Marcel Duchamp*, 1926, Antoine Pevsner; nitrato de celulosa sobre hierro y cobre

# PARTE II: LOS PLÁSTICOS EMISORES DE CONTAMINANTES GASEOSOS EN AMBIENTES MUSEÍSTICOS: DETECCIÓN, CONTROL, RECOMENDACIONES Y PAUTAS

## 2.1 Los plásticos emisores de contaminantes gaseosos en ambientes museísticos. Definición del problema

El término plástico comprende un amplio rango de formulaciones que dan lugar, una vez modificados, a productos muy diversos. Por ello, conviene definir en primer lugar a qué se denomina plástico.

Plástico es un término genérico utilizado para designar a una serie de materiales orgánicos de alto peso molecular, tanto de origen natural como sintético, que mediante la acción de una compresión más o menos prolongada, o la aplicación de calor pueden cambiar de forma conservándola de manera permanente. Su componente principal es un polímero (natural o sintético), al que se le añaden una serie de aditivos<sup>10</sup> que le confieren unas características específicas, lo que da lugar a una variedad infinita de materiales plásticos (Illa Malvehy, 1996; Ministerio de Cultura y Deporte, 2017).

Existen varias clasificaciones para los plásticos, pero en esta investigación nos vamos a centrar en dos; según el tipo de reacción química utilizada en su formación, y según su estructura molecular, por ser ambas las que atienden a las características que juegan un papel determinante en la problemática que trataremos a lo largo de este punto.

Los plásticos pueden dividirse en dos grupos dependiendo del tipo de reacción química que se haya utilizado en su formación, lo que les confiere estructuras

---

<sup>10</sup> Aditivo: término genérico para un extenso grupo de sustancias que se le añaden a los plásticos para mejorar su maleabilidad o propiedades y/o reducir costes de producción. Los aditivos incluyen plastificantes, agentes de desmoldeo, y sustancias que mejoran el flujo de los plásticos de extrusión en la inyección durante el proceso de moldeo. Otros aditivos son los agentes antioxidantes que evitan los ataques de oxígeno; los estabilizados de UV, los cuales bloquean la luz de ondas de longitud corta antes de que realice el daño; y las ceras de protección de ozono que previenen del daño provocado por este gas. Sin embargo, muchos de estos aditivos se destruyen con los años por los agentes de los que inicialmente protegen al material, y por lo tanto, el material es susceptible a las influencias de estos agentes degradantes (Albus et al. 2007).

moleculares diferentes: polímeros de adición y polímeros de condensación (Shashoua, 2008b). La diferencia entre estos dos tipos de reacciones químicas reside en que en el proceso de polimerización por adición, la molécula de monómero no pierde átomos al pasar a formar parte del polímero; mientras que en el caso de la polimerización por condensación pierde una molécula ligera como agua o amoníaco o cloruro de hidrógeno. Dando lugar a que en el proceso por condensación se generen subproductos que no se forman en el proceso por adición.

En función de su estructura molecular los polímeros pueden clasificarse en termoplásticos, cuando están formados por largas cadenas de macromoléculas lineales; termoestables, aquellos cuya estructura interna es ramificada, y en los que la cadena principal está conectada lateralmente con otras cadenas; o elastómeros, un tipo de termoestables cuya estructura interna está entrecruzada y las cadenas lineales adyacentes se unen transversalmente en varias posiciones mediante enlaces covalentes. Así, los polímeros lineales y ligeramente ramificados con una estructura regular pueden formar cristales, mientras que aquellos con estructura irregular se describen como amorfos (Shashoua, 2008b).

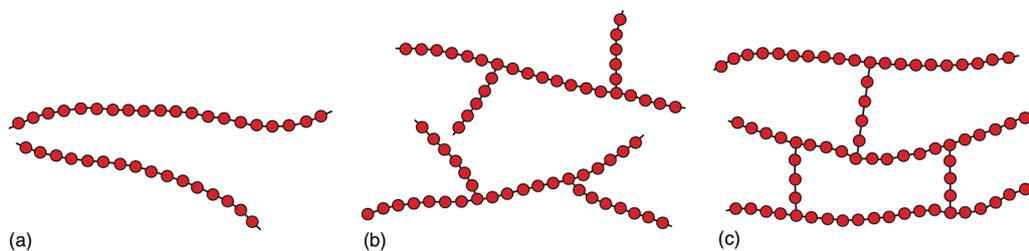


Figura 9: representación esquemática de las estructuras moleculares de los polímeros: lineal (a), ramificada (b) y entrecruzada (c).

Tanto la estructura molecular como las temperaturas de reblandecimiento influyen en el comportamiento químico de los polímeros. En compuestos amorfos se liberan con mayor facilidad los productos volátiles derivados de la degradación del material; mientras que en las macromoléculas flexibles que se encuentran en estado gomoso, los procesos de degradación son más rápidos que en las que se encuentran rígidas, en estado vítreo, o cristalino (Chiantore *et al.*, 2012).

Así, algunos plásticos liberan productos de degradación nocivos, que se corresponden con la migración de compuestos añadidos en su manufactura (aditivos). Esto se debe a que las sustancias que se añaden en el proceso de fabricación, en la mayoría de los casos rellenan los huecos que quedan en la estructura molecular del plástico, sin producirse una unión química, más estable

y duradera. Por ello la mayoría de los aditivos suelen migrar a la superficie del material por evaporación o por desplazamiento físico, de forma lenta o más acelerada (Rotaeche González de Ubieta, 2011).

Los productos de degradación pueden encontrarse en los tres estados de la materia: sólido, líquido y gaseoso (Balcar, Lattuati-Derieux y Vila, 2012). Siendo los más sencillos de detectar los depósitos sólidos y líquidos, ya que los podemos observar a simple vista sobre la superficie de los plásticos. Los gaseiformes sin embargo, solo se podrán detectar mediante examen empírico si son olorosos, ya que en caso contrario, únicamente servirían los dispositivos de muestreo.



Figura 10: residuo sólido derivado de la exudación de plastificante del acetato de celulosa en el que está realizado el juguete, principios de la década de los sesenta



Figura 11: residuo líquido derivado de la exudación de los plastificantes de ftalato del policloruro de vinilo con el que está realizado el chubasquero

La presente investigación se centra en los productos de degradación de los plásticos que se encuentran en estado gaseoso, ya que son los que suponen un mayor problema para la preservación de las colecciones por ser más incontrolables y difícilmente detectables.

Los productos de degradación en estado gaseoso son sustancias químicas reactivas conocidas por haberse convertido en agentes de deterioro del

patrimonio histórico-artístico cuya procedencia se puede encontrar tanto en el mobiliario, como en las propias obras de arte (National Service Park, 1999). Si bien en esta investigación se estudia esencialmente la capacidad de interacción de las sustancias químicas reactivas procedentes de las propias obras de arte realizadas en plástico, con otros materiales. A este tipo de contaminación se la denomina intrínseca, o más específicamente intrínseca secundaria (Tétreault, 2009).

De la contaminación intrínseca secundaria derivada de los plásticos ya nos advertían algunos autores como Morgan (1991), quien señalaba que dichas reacciones son autocatalíticas, ya que los productos de degradación derivados aumentan su deterioro.

Williams (1997a) también apuntaba que en estos procesos es posible que se liberen vapores dañinos para las obras que se encuentran a su alrededor y para las personas que las manipulan. Hatchfield (2004) igualmente destaca que muchos de los materiales que se encuentran en el interior de los museos, entre otros los plásticos, emiten sustancias volátiles que pueden producir efectos nocivos tanto para la salud humana como para los materiales que componen las obras de arte; y Pretzel (2003) comenta asimismo que idealmente los entornos de almacenamiento y exhibición de los museos deberían estar libres de reactivos que puedan interactuar con los objetos, no siendo esto (por lo general) una expectativa realista, ya que muchas de las obras y objetos allí almacenados pueden ser fuente generadora de agentes corrosivos. Curran et al. (2014) también advierten de que es importante estudiar las emisiones de los cauchos y plásticos históricos, ya que se ha demostrado que las emanaciones de estos objetos pueden causar daños en otros materiales; mientras que Rotaeché González de Ubieta (2011) afirma que "Los procesos de degradación que caracterizan a los plásticos se incorporan al rango de agentes de deterioro del patrimonio artístico".

### 2.1.1 Principales agentes de degradación de los plásticos

Los principales agentes ambientales que influyen directamente en la conservación de los plásticos son la luz, la temperatura, el oxígeno, la humedad y los contaminantes, ya que habitualmente son los desencadenantes o aceleradores de sus procesos de degradación. Por este motivo, a continuación se va a hacer un repaso general<sup>11</sup> por estos cuatro agentes de deterioro con el fin de conocer como afectan a la estabilidad de los plásticos.

---

<sup>11</sup> La influencia de estos parámetros ambientales en plásticos concretos se tratará en el siguiente punto.

### 2.1.1.1 Iluminación

La luz está considerada el principal agente de deterioro de los plásticos en condiciones ambientales de museo (Quye y Williamson, 1999; Shashoua, 2008b; Waentig, 2008) por lo que sería el primer factor a tener en cuenta a la hora de establecer estrategias encaminadas a la prevención de la degradación de las obras de arte realizadas en este material.



Figura 12: detalle del oscurecimiento de la mano de un gnomo de jardín de policloruro de vinilo por la acción de la luz

Cualquier tipo de iluminación, tanto natural (solar) como artificial, es perjudicial para la estabilidad de los plásticos; siendo especialmente agresiva la que contiene radiación ultravioleta, ya que las radiaciones de onda corta contienen la energía suficiente para romper los enlaces carbono-carbono y carbono-oxígeno de las cadenas poliméricas, lo que provoca que la mayoría de ellos se vuelvan quebradizos y pulverulentos (Blank, 1990; Albus *et al.*, 2007).

Por otro lado, el daño producido por la luz es acumulativo y por ello su poder degradante depende de la cantidad de horas de iluminancia recibidas y de la intensidad de la radiación, es decir; una luz muy intensa durante un corto periodo de tiempo puede causar un daño similar al producido por un foco de pocos luxes durante un periodo prolongado (Quye y Williamson, 1999; The Plastics Historical Society, 2015). También es importante tener presente que la dispersión de los rayos luminosos no hace que la energía de la radiación disminuya, por lo que es tan perjudicial la luz indirecta como la directa (Waentig, 2008).

Refuerzan estas teorías, las evidencias de que los plásticos que se encuentran fuera del alcance de la luz, por ejemplo en el interior de sus cajas de embalaje o debajo de capas de pintura, están mejor preservados (Blank, 1990); de tal modo que un caucho natural se oxida tres veces más rápido bajo la influencia de la radiación UV a 45°C, que en la oscuridad a 70°C (Waentig, 2008).

La experiencia con la que se cuenta hoy día en este sentido, permite determinar que cualquier tipo de iluminación, especialmente la que contiene radiación UV, es perjudicial para la estabilidad de los plásticos a lo largo del tiempo, siendo además las dosis de carácter acumulativo; y los daños que provocan de tipo irreversible. Los signos de deterioro más comunes son la decoloración, el amarilleamiento, el oscurecimiento, la pérdida de brillo y transparencia, la aparición de craquelados y que el plástico se vuelva frágil, quebradizo y pulverulento (Shashoua, 2008b; Lavédrine, Fournier y Martin, 2012).

### 2.1.1.2 Temperatura

Otro de los factores que influyen de manera determinante en la conservación de los plásticos es la temperatura. La degradación térmica, también conocida como termólisis, es un proceso por el cual la acción del calor da como resultado la merma de sus propiedades físicas y químicas; que debe ser distinguida de la descomposición térmica, un proceso causado por el fuego o las altas temperaturas que implica la formación de vapores inflamables y grandes cambios en las especies químicas (Shashoua, 2008b). En esta investigación haremos referencia únicamente a la degradación térmica, ya que es la que se produce en condiciones ambientales normales de museo.

Los plásticos toleran un amplio rango de temperaturas, es decir, se necesitan temperaturas muy elevadas para causar un daño significativo; sin embargo esta magnitud física influye de forma determinante en los procesos de degradación tanto físicos como químicos (Shashoua, 2008b).

Estos materiales tienen un coeficiente de expansión térmica relativamente alto, siendo mayor en los termoplásticos que en los termoestables; lo cual significa que se dilatan cuando se incrementa la temperatura y se contraen cuando ésta baja. Las oscilaciones de temperatura pueden provocar estrés mecánico afectando especialmente a los materiales ya degradados, debido a que en la mayoría de casos no serán capaces de compensar los cambios dimensionales produciéndose tensiones que pueden provocar desde la aparición de fisuras y grietas, hasta la rotura del material (Albus et al., 2007; Waentig, 2008), lo que en el caso de las obras de arte adquiere un significado aún mayor. Asimismo pueden causar un gran perjuicio en las obras que presentan varios materiales

en contacto, ya que al tener comportamientos diferentes frente a los cambios de temperatura, reaccionan de forma independiente generando tensiones que pueden derivar en craquelados y fisuras (Shashoua, 2004, 2014).

Además de craquelados, fisuras y grietas, la degradación térmica se puede manifestar en forma de exudaciones, reblandecimiento y decoloración (Shashoua, 2008b; Lavédrine, Fournier y Martin, 2012).



Figura 13: expansión térmica y fractura de materiales en una escultura de poliuretano flexible debido a la incidencia de la luz solar directa (temperatura demasiado alta). *Espectador*, de León Ferrani.

El incremento de la temperatura también influye de manera determinante en los procesos de degradación química, habiéndose observado una relación directa entre el aumento de la temperatura ambiental y la elevación de la tasa de deterioro. Algunos autores como Blank (1990) y Waentig (2008) explican este fenómeno con la ecuación de Arrhenius, la cual sostiene que la velocidad de las reacciones químicas que provocan el deterioro de los polímeros plásticos se duplica cada vez que la temperatura ambiental sube  $10^{\circ}\text{C}$ , habiéndose observado que en algunos de ellos la velocidad de oxidación se ha multiplicado por dos, incluso con un incremento de tan solo  $8^{\circ}\text{C}$ . Michalski (2002) va más allá y sostiene que la velocidad de degradación térmica del plástico varía por tramos de  $5^{\circ}\text{C}$ , duplicándose la esperanza de vida de las obras realizadas en este material cada vez que disminuye  $5^{\circ}\text{C}$  la temperatura ambiental; y pone como ejemplo que los efectos adversos que se producen en 10 años a temperatura ambiente, podrían tardar más de 100 años en aparecer si las mismas obras hubiesen permanecido a  $10^{\circ}\text{C}$  de temperatura ambiente.

Otros autores como Coughlin (2018), y Townsend, Hackney y Kearney (2019) hacen referencia igualmente a la influencia de la temperatura en la emisión de compuestos volátiles por parte de los plásticos; sosteniendo que se da un incremento en dichas emisiones siempre que aumenta la temperatura ambiental.

De las opiniones de estos investigadores se destila que un descenso en la temperatura ambiental reduce significativamente la degradación química de los plásticos y su potencial tasa de emisión, por lo que a priori almacenar las obras en ambientes fríos parece una opción muy interesante; de manera que cuando más adelante se trate el tema de las pautas de conservación de los plásticos, se valorarán sus pros y contras.

### 2.1.1.3 Humedad relativa

El control de la humedad relativa es otro factor a tener en cuenta para la adecuada preservación de los plásticos, ya que su exceso puede dar lugar lo mismo a procesos de degradación físicos que producen reblandecimiento, que a procesos de degradación químicos como la hidrólisis que puede llegar a provocar su desintegración; mientras que su defecto provocaría solo daños físicos como craquelados y agrietamientos, algo que también puede suceder junto a la aparición de otras deformaciones, ante fluctuaciones de humedad (Albus *et al.*, 2007; Shashoua, 2008b; Lavédrine, Fournier y Martin, 2012; Coughlin, 2018).

De igual modo este factor medioambiental, la humedad, influye en las emisiones de contaminantes gaseosos de algunos plásticos, ya que a medida que esta aumenta, se incrementa la tasa de emisión y la velocidad a la que se liberan (Hatchfield, 2002). Así las cosas, cuando los porcentajes son muy altos puede reaccionar con los óxidos de azufre y óxidos de nitrógeno liberados por ciertos plásticos para dar lugar a sus análogos ácidos, los cuales en la actualidad se consideran aún más dañinos que los óxidos (Grzywacz, 2006).

### 2.1.1.4 Oxígeno

En la mayoría de los procesos de degradación de los plásticos aparece involucrado el oxígeno. Los polímeros o aditivos pueden reaccionar directamente con el oxígeno molecular (autooxidación) o con alguna de sus formas alotrópicas como el ozono, un compuesto altamente oxidante e inestable producto de la reacción entre el oxígeno y la luz ultravioleta.

Además el oxígeno afecta en mayor o menor medida a los plásticos en función de su estructura molecular, debido a que esta influye en su permeabilidad; así, los polímeros cristalinos como el polietileno son más resistentes a la oxidación que los amorfos como el poliestireno.

La oxidación reduce las propiedades físicas de los plásticos al disminuir su maleabilidad, fuerza y flexibilidad, provocando rigidez y transformándolos en materiales frágiles y quebradizos llegando en ocasiones incluso a la pulverulencia. Puede cambiar también su apariencia física al producir amarilleamiento, decoloración, eflorescencias, craquelados de las superficies y aumento de la porosidad (Shashoua, 2008b; Lavédrine, Fournier and Martin, 2012).

En relación a ello, autores como Blank (1990) y Grattan (1993a) afirman que si el oxígeno se eliminase de los ambientes en los que se conservan los plásticos, su degradación se retrasaría considerablemente. Pero si se tiene en cuenta que este elemento comprende el 21% de la atmósfera se entiende que en condiciones normales el contacto de las obras con este elemento es inevitable (Shashoua, 2008b); por lo que la única opción de conseguir este ambiente ideal sería optar por su almacenamiento y exhibición en anoxia.

### 2.1.1.5 Contaminantes

Son numerosos los contaminantes que pueden desencadenar o acelerar los procesos de degradación de los plásticos, especialmente cuando se encuentran en su forma ácida. Como ya se adelantaba en el estado de la cuestión, en función de cómo estos contaminantes alcanzan al objeto artístico se pueden clasificar en tres grupos: los que se transportan por el aire, los que se transfieren por contacto y los que aquí se investigan, que no son otros que los que forman parte de la composición del material del objeto, o surgen al reaccionar éste químicamente (Shashoua 2008, Tétreault 2009).

Los transportados por el aire, los podemos dividir a su vez en dos tipos: contaminación gaseosa y contaminación por partículas. Los primeros proceden de materiales utilizados en los sistemas de exhibición o el almacenaje de las obras como por ejemplo maderas naturales, aglomerados, contrachapados, algunos cartones, pinturas, siliconas, etc.; mientras que los segundos, comprenden el conjunto de partículas sólidas que flotan en el aire y se depositan sobre las obras, afectando a la estabilidad de los plásticos debido a que contienen pequeños fragmentos de materia ácida y sustancias higroscópicas que atraen la humedad ambiental.

Los contaminantes transferidos por contacto, generalmente provocan manchas o la decoloración de la obra. Los materiales más conocidos por su capacidad para contaminar por contacto son las maderas y sus derivados, especialmente el aglomerado; papeles y cartones ácidos; y cintas y etiquetas adhesivas. Estas últimas no son apropiadas en absoluto, independientemente del material en el que estén hechas, ya que los adhesivos contienen plastificantes que pueden migrar hacia el plástico de la obra y cambiar su aspecto.

En cuanto al tercer tipo, los contaminantes intrínsecos secundarios de los plásticos, se analizarán en profundidad a continuación para conocer su origen y características; además de los materiales potencialmente susceptibles de verse afectados por ellos.

### 2.1.2 Plásticos presentes en las colecciones de Arte Contemporáneo emisores de contaminantes gaseosos

Una vez conocido el problema, parece indispensable saber qué tipos de plásticos son los que están más presentes en las colecciones de Arte Contemporáneo y cuáles de ellos son emisores potenciales de compuestos nocivos.

Desde finales de los años sesenta hasta nuestros días, la presencia de los plásticos en las colecciones de arte no ha hecho más que crecer; hecho que se ve reflejado, como hemos visto en el estado de la cuestión, en el alto porcentaje de obras de este material que se atesoran en numerosos museos y colecciones.

Sin embargo, es difícil determinar con precisión el tipo de plástico que alcanza una mayor representación en las obras de arte, ya que lo más habitual es que en el momento de la adquisición de la obra el polímero no se identifique, y por tanto, en su ficha técnica únicamente figura el dato de que está realizada en plástico. Con el fin de obtener unos valores, que aunque aproximados, fueran fiables sobre este aspecto, tomamos como referencia las exposiciones de Arte Contemporáneo que se han llevado a cabo a lo largo de la historia cuya línea curatorial hubiera sido el plástico<sup>12</sup>; para cuantificar los distintos tipos de polímeros. Esto, permitió determinar que los porcentajes más elevados se correspondía con el polimetilmetacrilato (28,5%), el poliéster (9,5%), el

---

12 Se han revisado un total de 325 obras de las siguientes exposiciones: *A Plastic Presence* (1969, Milwaukee Art Center); *Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle* (1986, Musee d'Art Moderne et d'Art contemporain, Niza); *Acervo em plástico da Pinacoteca* (2014, Pinacoteca de São Paulo); *Plasticidade* (2019-2020, Museu de Leiria). En el Anexo I se puede consultar la relación de obras.

policloruro de vinilo (6,5%), el caucho (6%), el poliuretano (4,5%), y en último lugar los derivados de la celulosa: el acetato y el nitrato de celulosa (3%). El 10% restante correspondía con otros tipos de plástico como el nylon, la melanina formaldehído, el poliestireno, el polietileno, el ABS, la baquelita... Al mismo tiempo, se pudo comprobar que aunque esta revisión se efectuaba sobre exposiciones cuyo tema central era el material plástico, en el 32% de las obras no se especificaba el tipo de polímero o se citaba de forma inexacta denominándolo con términos como cera sintética, resina, etc.

El siguiente paso era conocer cuáles de esos plásticos eran emisores potenciales de contaminantes gaseosos, para lo cual se ha efectuado una revisión bibliográfica, que ha permitido determinar, por un lado, qué formulaciones son las que aparecen señaladas como dañinas; y por otro, el interés que este problema suscita en el campo de la investigación. En total se han contabilizado un total de veinticinco líneas que hablan sobre el tema, de las cuales doce<sup>13</sup> lo abordan desde el punto de vista de la conservación del plástico como material presente en numerosos bienes culturales; mientras que las trece<sup>14</sup> restantes profundizan en la contaminación en los entornos museísticos.

Los tipos de plástico que aparecen más señalados por su riesgo de emisión

---

13 *Conservation of Plastics* (Morgan, 1991); *Secret sabotage: reassessing museum plastics in display and storage* (Fenn, 1995); *Display and storage of museum objects containing cellulose nitrate* (Williams, 1997b); *Plastics: collecting and conserving* (Quye y Williamson, 1999); *Care of plastics: Malignant plastics* (Williams, 2002); *Challenge of materials? A new approach to collecting modern materials at the Science Museum* (Coles 2007); *Conservation of plastics. Materials, science, degradation and preservation* (Shashoua, 2008b); *Does Plastic Art Last Forever?. Not even close. Can a generation of synthetic objects be saved?* (Kean, 2009); *Degradation of Lumarith' Cellulose Acetate. Examination and chemical analysis of a salesman's simple kit* (Tsang et al., 2009); *Preservation of Plastic Artefacts in Museum Collections* (Lavédrine, Fournier y Martin, 2012); *Polymers and volatiles : Using VOC analysis for the conservation of plastic and rubber objects* (Curran y Strlic, 2014); *Looking at Plastics. An introduction to caring for plastics* (Coughlin, 2018).

14 *The Museum Environment* (Garry Thomson, 1986); *Conservation of plastics. An introduction* (Morgan, 1991); *Guidelines on pollution control in heritage buildings* (Blades et al. 2000); *Airborne pollutants in Museums, Galleries, and Archives: Risk Assessment, Control Strategies, and Preservation Management* (Tétreault, 2003); *Materials and their interaction with museum objects* (Pretzel, 2003); *Pollutants in the museum environment: practical strategies for problem solving in design, exhibition and storage* (Hatchfield, 2004); *Selection of Materials for the Storage or Display of Museum Objects* (Thickett y Lee, 2004); *Monitoring for Gaseous Pollutants in Museum Environments* (Grzywacz, 2006); *Chapter 21: museums, galleries, archives, and libraries* (The American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2007); *CCI Notes 15/1 Pollutant* (Tétreault, 2009); *Sustaining the Unsustainable: Mitigation and Monitoring for Modern Materials* (Baker et al 2015); *Chapter 4: Museum Collections Environment*. En: *NPS Museum Handbook* (National Service Park, 2016); *Products used in preventive conservation* (Tétreault, 2019).

de gases contaminantes son: el caucho, el nitrato de celulosa, el acetato de celulosa, el policloruro de vinilo y el poliuretano; algunas investigaciones también apuntan al poliéster como fuente de contaminantes volátiles nocivos. Por tanto, estamos en condiciones de afirmar que entre los plásticos potencialmente emisores de contaminantes gaseosos, se encuentran algunos de los más representados en las colecciones de Arte Contemporáneo. La única excepción es la del polimetilmetacrilato, del que no se conoce ningún antecedente en este sentido; si bien, por su tasa de representación en el arte, se ha considerado interesante incluirlo en esta investigación junto a los otros seis plásticos con el fin de corroborar mediante nuestro ensayo, si podría llegar a presentar esta problemática.

Así las cosas, se ha llevado a cabo un repaso por la historia, composición química, propiedades, procesos de degradación y su utilización en el arte del polimetilmetacrilato, poliéster, policloruro de vinilo, caucho, poliuretano, acetato de celulosa y nitrato de celulosa. Esta revisión ha proporcionado el conocimiento en profundidad de dichos plásticos, lo que sin duda nos ha ayudado en el correcto desarrollo de nuestra investigación.

### 2.1.2.1 Polimetilmetacrilato (PMMA)

El polimetilmetacrilato es un polímero sintético también conocido como polimetacrilato de metilo, por sus siglas PMMA, su nombre IUPAC<sup>15</sup>, poly (methyl 2-methylpropenoate), o por sus nombres comerciales Acrylite®, Acryplast®, Altuglas®, Lucite®, Perpex®, Plexiglas®, Plazcryl®. Cabe señalar que se usa impropiaemente el término "metacrilato", nombre genérico para cualquiera sal o éster de ácido metacrílico, para denominar a su presentación en láminas (Shashoua, 2008b; Ministerio de Cultura y Deporte, 2017).

Debido a su transparencia, se emplea como sustituto del vidrio en la fabricación de instrumentos ópticos, ventanas y vitrinas (Ministerio de Cultura y Deporte, 2017); Así mismo, su ángulo crítico permite la aplicación de este plástico en fibras ópticas. Disponible en lámina, varilla o tubo, puede dársele forma mediante las técnicas del termoformado, la fundición y la extrusión. También se utiliza para realizar lentes para gafas y equipos ópticos, lentillas, ventanas de aviones, ventanas para invernaderos, toldos de cabina, gafas de seguridad, letreros de información y publicidad, contenedores de alimentos, acuarios, iluminación doméstica y de vehículos, muebles, componentes eléctricos y uñas postizas (Shashoua, 2008b).

15 International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC), es la autoridad reconocida para el desarrollo de estándares para la denominación de compuestos químicos mediante su comité especializado, Interdivisional Committee on Nomenclature and Symbols.

De la química básica del PMMA podemos destacar que se trata de un homopolímero de metacrilato de metilo que se obtiene por polimerización en bloque o en suspensión a través de radicales libres; y que dependiendo de su grado de polimerización puede dar como resultado un producto duro o blando (Ministerio de Cultura y Deporte, 2017). También cabe destacar que se trata de un tipo de plástico que puede estar o no plastificado, dependiendo de las características que se esperen del producto final; siendo el plastificante más utilizado el dibutil ftalato, en proporciones en torno al 5% (Brydson, 1989). Se desarrolló por primera vez en 1872 y se empezó a comercializar a principios de los años treinta en Alemania y Reino Unido como sustituto del cristal; llegando a adquirir una gran importancia con la llegada de la II Guerra Mundial en la cual se empieza a utilizar en la fabricación de cubiertas para aviones de combate (Shashoua, 2008b).

Cabe destacar además que se trata de un plástico ampliamente conocido por sus marcas comerciales, de entre las cuales Plexiglas®, desarrollada por Röhm en Alemania; y Perpex®, producida por ICI en Gran Bretaña han sido las más conocidas a lo largo de su historia en Europa; mientras que en Estados Unidos Lucite® ha sido la marca más representativa de este material en el mismo periodo.

Naum Gabo fue el pionero del uso del PMMA para la elaboración de obras de arte. Comenzó a utilizarlo a partir de los años treinta, siendo buenos ejemplos de ello sus obras *Construction on a plane* (1937), en la que lo usa en combinación con celuloide; *Linear Construction No.1* (1942-43), en la que lo hace junto con filamento de nylon; o *Torsion* (1936), en la que lo utiliza como único material. A finales de los años treinta, Gabo además realizó réplicas de alguna de sus primeras obras de acetato de celulosa aprovechando que se trataba de un material mucho más estable, flexible y transparente; por ejemplo en 1937 rehizo en Perspex la obra *Square Relief* (1920) elaborada inicialmente en Rhodoïd<sup>16</sup> (Lodder, 2007).

Una vez más, estas primeras obras constructivista producidas en PMMA abrieron un camino lleno de nuevas posibilidades creativas a otros artistas como Charles

---

16 La decisión de realizar réplicas en Perspex de sus obras más tempranas, hechas en Rhodoïd y otros plásticos históricos, no se debió a que estos plásticos se encontrasen deteriorados, si no a que este material emulaba mejor la transparencia del vidrio siendo además mucho más flexible (Lodder, 2007). A pesar de que en algunas investigaciones se afirma que Gabo era consciente de la inestabilidad del acetato y el nitrato de celulosa y por eso rehizo sus obras en PMMA, existen evidencias de que durante mucho tiempo no fue conocedor de este hecho; buen ejemplo de ellos son sus declaraciones recogidas en *Gabo on Gabo: Texts and Interviews* (Hammer y Lodder, 2000) en las que afirmaba que "it [the work] will continue to be intact, unless deliberately broken"

Biederman, un artista muy interesado en el constructivismo y en los nuevos materiales industriales cuya obra tradicionalmente bidimensional se tornó más escultórica a finales de la década de los años cuarenta, años en los que combinaba la madera con el PMMA, dando lugar a relieves poco profundos en los que jugaba con los ángulos de visión y las sombras proyectadas al incidir la luz sobre las láminas de plástico translúcido; buen ejemplo de ello es la obra *New York, Number 18* (1938) (The Metropolitan Museum of Art, 2019).

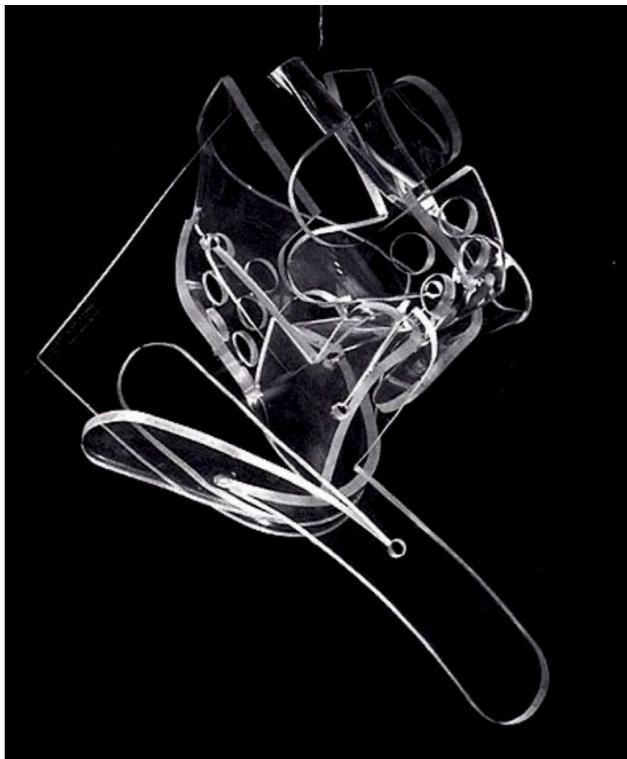


Figura 14: *Ledan et le cygne*, 1946, Laszlo Moholy-Nagy, PMMA.

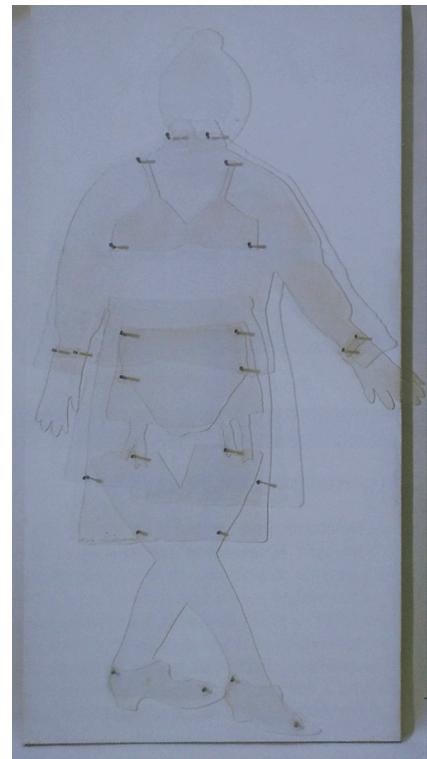


Figura 15: *Ombre portée pour une garde-robe*, 1965, Lourdes Castro PMMA.

Otro de los pioneros en la incorporación del PMMA en el arte es Moholy-Nagy, quien trabajó con este material desde finales de los treinta hasta su muerte. Al igual que Biederman, pasó de la bidimensionalidad a la tridimensionalidad con una serie de obras realizadas en Plexiglas concebidas para ser exhibidas colgadas en la pared, suspendidas en el aire o exentas; como por ejemplo *Double Loop* (1946) o *Leda and the Swan* (1946) (The Moholy-Nagy Foundation, 2017).

Años más tarde, en la década de los sesenta, Lourdes Castro<sup>17</sup> incorporó el

<sup>17</sup> Lourdes Castro (1930-?) es una artista portuguesa, la cual desarrollo el grueso de su obra cuando vivía en París, cuya obra está centrada en el análisis de las sombras en distintos contextos; para ello ha utilizado diversos medios y materiales como el teatro, cianotipos,

PMMA a sus obras debido a las posibilidades ópticas que le proporcionaba para sus investigaciones centradas en las sombras. Así, realizó una serie de siluetas en planchas de PMMA, en ocasiones transparentes y en otras opacas, las cuales posteriormente proyectaba en la pared obteniendo un amplio abanico de efectos. Buen ejemplo de ello son las obras *Ombre portée rose et rose décallé* (1966); *La place en marche* (1965); y *Ombre portée pour une garde-robe* (1965).

En los setenta, destacan los primeros encapsulados de Darío Villalba<sup>18</sup>, unas esculturas formadas por burbujas de polimetilmetacrilato transparente y coloreado que acogían personajes en su interior, gracias a las cuales se ganó el reconocimiento internacional en la XXV edición de la Bienal de Venecia, edición en la cual expuso sus "encapsulados rosas" en el Pabellón de España. Estas esculturas fueron las primeras de una larga serie de encapsulados que definieron el estilo de este artista como *Pies vendados* (1973) o *La oración* (1974).

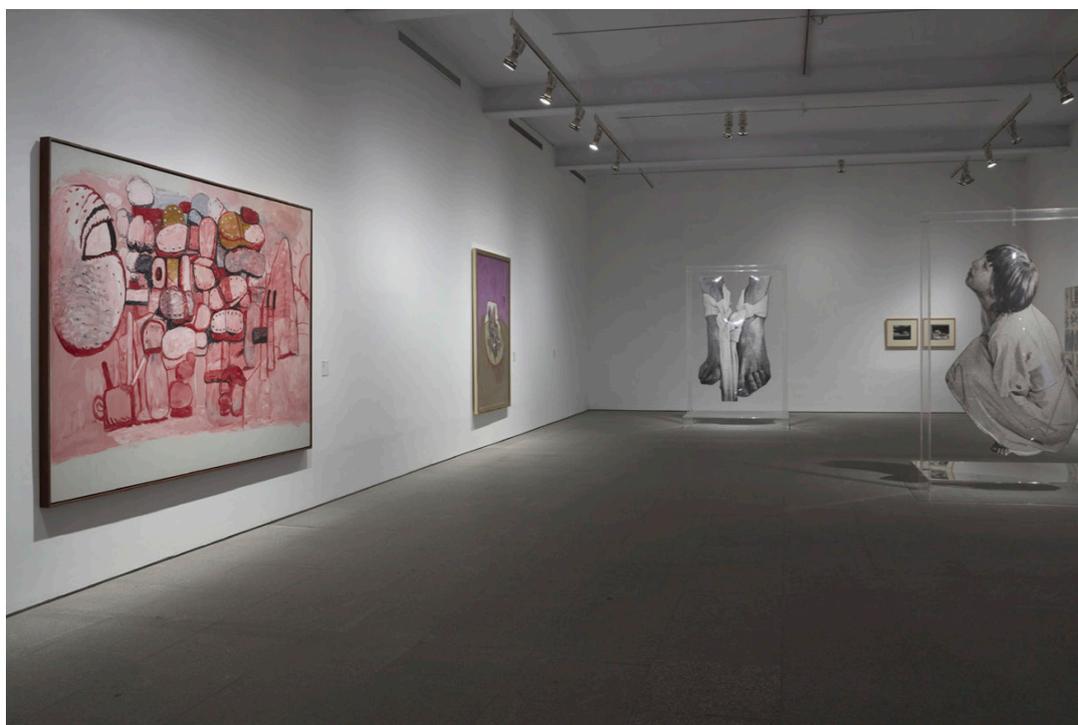


Figura 16: *Pies vendados* (1973) y *La oración* (1974) de Darío Villalba en la exposición *Figuras de lo humano*, junio de 2018, en el Museo Nacional Centro de Arte Reina Sofía

bordados, murales, pintura de caballete, dibujos, libros, y relieves de distintos plásticos.

18 **Darío Villalba** (1939-2018) fue uno de los artistas más reconocidos de las últimas décadas. Se caracterizó por el desarrollo de un lenguaje personal y radical, alejado de la abstracción informalista precedente y de un Arte Pop que le parecía vacío de contenido.

Para la preservación del PMMA se debe tener en cuenta que se trata de un material resistente a los ácidos y bases débiles, soluciones salinas, hidrocarburos alifáticos, disolventes apolares, grasas, aceites, agua y detergentes; en cambio se puede ver afectado por la acción de ácidos y bases fuertes, benceno, disolventes polares, cetonas, ésteres e hidrocarburos aromáticos y clorados (Waentig, 2008).

Se trata de uno de los polímeros más resistentes a los agentes ambientales, y a diferencia de la mayoría de plásticos, el PMMA es resistente a la luz solar, esto se debe a que únicamente absorbe cantidades apreciables de radiación cuando estas se encuentran en una longitud de onda inferior a los 245 nm. Hasta el momento no se tienen evidencias de que amarillee, y solo se han detectado problemas derivados de su exposición a la luz en PMMA coloreados que han sido sometidos a iluminaciones muy fuertes, en los que se ha producido un desvanecimiento del color (Shashoua, 2008b; Waentig, 2008; Ministerio de Cultura y Deporte, 2017).

Los daños más frecuentes sufridos por el PMMA son los derivados de la acción mecánica como abrasiones, arañazos o agrietamientos, que pueden dar lugar a una pérdida de transparencia y brillo superficial.

Se puede concluir por tanto, que el PMMA es un material estable que presenta una buena resistencia a la humedad y la luz; pero que se raya con facilidad.

En cuanto a la emisión de sustancias nocivas, a día de hoy no se han detectado ni investigaciones, ni casos reales que evidencien que el PMMA emane ningún tipo de sustancia; si bien, tampoco existen evidencias científicas de que no lo haga.

Para la realización del ensayo práctico se ha seleccionado un tipo de PMMA rígido y sin plastificar, al ser la manufactura que se ha encontrado de forma más habitual en las colecciones de Arte Contemporáneo.

### 2.1.2.2 Poliéster

Bajo el término poliéster se engloba una amplia variedad de formulaciones, las cuales se caracterizan por tener enlaces éster en la cadena del polímero. Los poliésteres son siempre plásticos sintéticos y dependiendo de la formulación pueden ser termoplásticos o termoestables (Ministerio de Cultura y Deporte, 2017).

Este polímero puede encontrarse en el mercado en forma de film, fibras, resinas y objetos de moldeo; y en muchas ocasiones es conocido por su nombre comercial: Cronar®, Melinex®, Mylar®, Tejin®, Teonex®, Tetoron®, Dacron® y Terylene®

Los poliésteres más habituales en los museos se pueden dividir en dos tipos: saturados e insaturados. Los saturados son termoplásticos y dan lugar a materiales duros, cristalinos, fuertes y resistentes; y se utilizan para la fabricación de botellas de bebidas carbonatadas, cintas magnéticas de video y audio, películas de rayos X, etiquetas y embalajes. En contraposición, los poliésteres insaturados son termoestables y se emplean normalmente reforzados con fibra de vidrio, aunque también se pueden utilizar otros materiales como el carbono o las fibras sintéticas. Este tipo de poliéster fue utilizado de forma masiva por primera vez durante la II Guerra Mundial, y posteriormente se ha utilizado para la fabricación de embarcaciones, estructuras de construcción, maletas, raquetas de tenis y cañas de pescar.

Entre los saturados destaca por su popularidad el poli (tereftalato de etileno) (PET), un polímero resultado de una reacción de esterificación entre el etilenglicol y el ácido tereftalático con la exclusión de moléculas de agua (—H del alcohol y —OH del ácido).

Los poliésteres insaturados se obtienen por la condensación entre el ácido dicarboxílico y dialcoholes (glicoles); cuya reacción da lugar a un líquido viscoso. Esta reacción aparece tras calentar los componentes a 200-210 °C durante un máximo de 12 horas con agitación constante y en presencia de nitrógeno para controlar la velocidad de polimerización. La presencia de nitrógeno también previene la decoloración causada por la oxidación. Son varios los ácidos dicarboxílicos y glicoles utilizados para la producción de una amplia variedad de poliésteres insaturados; los más comunes son el anhídrido maleico, el ácido maleico y el ácido fumárico. Los ácidos dicarboxílicos introducen dobles enlaces carbono-carbono en el poliéster. Durante la reacción de condensación se forma agua que posteriormente se elimina. Después, el polímero se enfría, se disuelve el monómero y se agrega el catalizador, normalmente naftenato de cobalto. Las reacciones de reticulación entre los dobles enlaces carbono-carbono en el polímero de poliéster y estireno se inician al añadir un peróxido y dan lugar a la formación de una red tridimensional. El peróxido y el catalizador no deben mezclarse nunca, ya que dan lugar a una combinación explosiva. El calor generado por la reticulación puede provocar deformaciones y decoloración, por lo que debe minimizarse en la medida de lo posible reduciendo las cantidades de acelerador y catalizador. La reticulación puede producir una contracción de hasta el 8% en volumen, porcentaje que puede reducirse si se minimiza

el calentamiento; además conviene señalar que tras esta reacción química queda entre el 2-4% de monómero de estireno. Al poliéster que se utiliza para reforzar materiales se le añade grandes cantidades de carga para compensar la alta contracción durante el curado. El poliéster insaturado, como ya hemos mencionado, puede reforzarse con vidrio, carbono y fibras sintéticas antes del curado para aumentar la resistencia a la tracción. Mientras que si se le añade un 30% o más de fibras de carbono se induce su conductividad eléctrica. En cambio, el PET a pesar de su alta polaridad es un buen aislante eléctrico en condiciones ambientales normales (Shashoua, 2008b).

Los poliésteres fueron desarrollados durante la II Guerra mundial. A pesar de que su química básica fue descubierta alrededor de 1847 por el químico sueco Berzelius, no se produjeron industrialmente hasta 1941. Un año más tarde, se utilizó el primer poliéster laminado para la fabricación de aislantes de antenas de radar. El poliéster reforzado con fibra vidrio fue empleado durante la guerra para construir botes; años más tarde este material pasaría a ser uno de los indispensables en la producción de muebles de diseño. A principios de los cuarenta, la industria automovilística también empezó a incorporar estos nuevos materiales; aunque está extendida la idea de que las carrocerías de plástico son un invento del siglo XXI, se tiene constancia de que Ford ya había fabricado un prototipo de carrocería de poliéster reforzado con fibra de vidrio en 1941 (Waentig, 2008).

El poliéster, al igual que otros plásticos, se comenzó a utilizar de forma masiva en el mundo del arte a finales de la década de los sesenta; años en los que este polímero alcanzó un gran éxito entre los artistas debido a su ligereza, gran resistencia y bajo coste.

De este modo sirvió como material expresivo para artistas vinculados al Pop Art como Allen Jones<sup>19</sup>, quien realizó sus populares esculturas de corte erótico en resina de poliéster reforzado; entre las que cabe destacar *Chair* (1969), *Table* (1969) y *Hatstand* (1969), tres piezas de mobiliario realizadas con figuras femeninas vestidas con ropa sensual (Heuman, 1999).

Algunos artistas pertenecientes al Nuevo Realismo como Niki de Saint Phalle<sup>20</sup>

---

19 Allen Jones (1937 Southhampton, Reino Unido - ¿): icono del Arte Pop británico durante los años 60 y 70 conocido por sus polémicos muebles-escultura que representaban a mujeres en posiciones provocativas.

20 Niki de Saint Phalle (1930 Neuilly-sur-Seine, Francia – 2002 San Diego, EEUU): es una de las artistas más reconocidas de mediados del siglo XX, que a lo largo de su prolífica carrera creó desde su novedoso prisma un conjunto de obras muy variadas: pintura, escultura, performance, cine experimental, etc; aunque cabe destacar que sus obras más icónicas y conocidas son sus Nanas, esculturas a gran escala realizadas por lo general con fibra de vidrio

o Arman<sup>21</sup>, también utilizaron los plásticos, especialmente el poliéster, ya que era un material que reflejaba el espíritu de este colectivo, permitiéndoles mantener su singularidad. Niki de St Phalle, lo popularizó a través de sus *Nanas*, unas esculturas con formas femeninas muy coloristas y voluptuosas cuya estructura estaba realizada en poliéster reforzado con fibra de vidrio. Arman por otro lado, lo utilizó de forma masiva en sus icónicos *Poubelles*, en los que aglutinaba sus acumulaciones de desechos domésticos con resina de poliéster transparente.



Figura 17: *Trio of furniture*, 1969, Allen Jones



Figura 18: *Señora o Nana verde con bolso negro*, 1968, Niki de Saint Phalle, poliéster pintado

Otra de las artistas en cuya obra se encuentra ampliamente representado el poliéster es Sara Holt<sup>22</sup>, quien lo utiliza para dar forma a sus esculturas científicas vertiendo varias capas coloreadas en un molde.

y resina de poliéster que representaban a mujeres voluptuosas, alegres, enérgicas y potentes .

21 **Arman** (1928 Niza, Francia – 2005 Nueva York, EEUU): es uno de los escultores más innovadores del siglo XX y cofundador del movimiento artístico denominado Nuevo Realismo; sus obras más significativas son las pertenecientes a las series denominadas "Acumulaciones", colecciones de objetos comunes e idénticos apilados en el interior de un contenedor; y *Poubelles* agrupamientos de objetos de desecho aglutinados con resina de poliéster, que este artista realizó a principios de los años sesenta.

22 **Sara Holt** (1946 Los Ángeles, EEUU - ¿): es una escultora y fotógrafa estadounidense, conocida por crear obras en las que se aúnan la ciencia y el arte.

Desde los años setenta hasta nuestros días, la resina de poliéster reforzada con fibra de vidrio ha sido muy utilizada en el mundo de la escultura hiperrealista, buen ejemplo de ello son las obras de John de Andrea (1941), Duane Hanson (1925-1996) o el trabajo del escultor australiano Ron Mueck (1958), quien también crea esculturas realistas pero a un tamaño muy superior al natural (Albus *et al.* 2007).



Figura 19: *A girl*, 2006, Ron Mueck; resina de poliéster, fibra de vidrio, silicona, pelo sintético y pintura polimérica sintética; segunda edición. Antonia Reeve©.

Para la conservación de las obras realizadas en poliéster se debe tener en cuenta que este material puede amarillear con la radiación UV y la luz, y decolorarse con la foto-oxidación. Los saturados como el PET, son además especialmente sensibles a la humedad y pueden hidrolizarse en condiciones alcalinas (Shashoua 2008).

Durante su vida útil pueden emitir compuestos volátiles ácidos; problemática a la que únicamente hacen referencia dos<sup>23</sup> investigaciones que tratan el tema de la conservación de los plásticos como material presente en el patrimonio cultural. Ambas señalan al ácido acético y una de ellas, *Conservation of plastics: material science, conservation and preservation* (Shashoua, 2008b), apunta además a que dichas emisiones pueden derivarse de la volatilización de alguno de sus monómeros residuales.

<sup>23</sup> *Conservation of plastics. Materials, science, degradation and preservation* (Shashoua, 2008b); *Polymers and volatiles : Using VOC analysis for the conservation of plastic and rubber objects* (Curran y Strlic, 2014).

Para el ensayo práctico hemos escogido un poliéster insaturado, ya que se ha comprobado que es el que se encuentra representado en mayor porcentaje en las colecciones de Arte Contemporáneo.

### 2.1.2.3 Policloruro de vinilo (PVC)

El policloruro de vinilo es una resina sintética, más comúnmente conocido por sus siglas PVC, policloroetano; o por alguno de sus nombres comerciales: Excelon®, Tedlar®, Trovicel®, Tygon® y Verilon®. El IUPAC indica que igualmente puede ser designada uPVC, PPVC, PVC rígido y vinilo (Shashoua, 2008b; Ministerio de Cultura y Deporte, 2017).

Fue sintetizado por primera vez en 1872, pero no se patentó hasta 1912; cuando comenzó a considerarse un posible sustituto del nitrato de celulosa debido a que era mucho menos inflamable.

Se obtiene generalmente por polimerización de cloruro de vinilo monómero y puede ser rígido o flexible. Los métodos de polimerización son en suspensión, en emulsión, en masa y en solución; si bien, el 80% de los polímeros comerciales se producen mediante la polimerización en suspensión (Waentig, 2008).

Sin embargo, los primeros intentos de producción a escala industrial no tuvieron el éxito esperado debido a su tendencia a descomponerse a temperaturas de procesamiento. Tras investigar en profundidad cómo dar solución a este problema se hallaron dos opciones: copolimerizar el cloruro de vinilo con acetato de vinilo o incorporar aditivos tales como los plastificantes. Esto permitió alcanzar temperaturas de reblandecimiento más bajas y que el material resultante fuera más flexible. Los aditivos, especialmente plastificantes y estabilizadores han contribuido en gran medida al éxito del PVC, debido a que sin ellos el polímero no es lo suficientemente estable y duradero.

Ópticamente se trata de un polímero transparente, aunque no tan cristalino como los acrílicos o los poliésteres.

En cuanto a sus propiedades físicas y térmicas, es termoplástico si bien el polímero puro, sin aditivos, es rígido y quebradizo, cualidades que se ven modificadas por la adición de los ya mencionados plastificantes. Su copolimerización con monómeros flexibles también tiene como resultado un producto más blando. El tipo y la cantidad de aditivos permiten la obtención de una amplia diversidad de materiales a partir del polímero de PVC, simplemente modificando la cantidad del plastificante en las formulaciones, entre el 16 y el 50 % de su peso (Shashoua, 2008b).

Entre los artistas que han utilizado el PVC para sus creaciones cabe mencionar por su relevancia Alberto Burri <sup>24</sup> con su serie realizada a finales de los años cincuenta y durante los sesenta titulada *Combustioni Plastiche*. Se trata de una serie en la cual trabaja esencialmente con dos tipos de plástico: PVC y polietileno, ya sea de forma alterna o combinada. Burri aprovechó las propiedades termoplásticas del PVC para reblandecerlo o quemarlo formando agujeros con llama oxhídrica<sup>25</sup>, en ocasiones también lo modelaba con las manos para obtener espesores y relieves que le permitieron crear obras entre lo pictórico y lo escultórico (Museo Nacional Centro de Arte Reina Sofía, 2006; Solomon R. Guggenheim Museum, 2016).

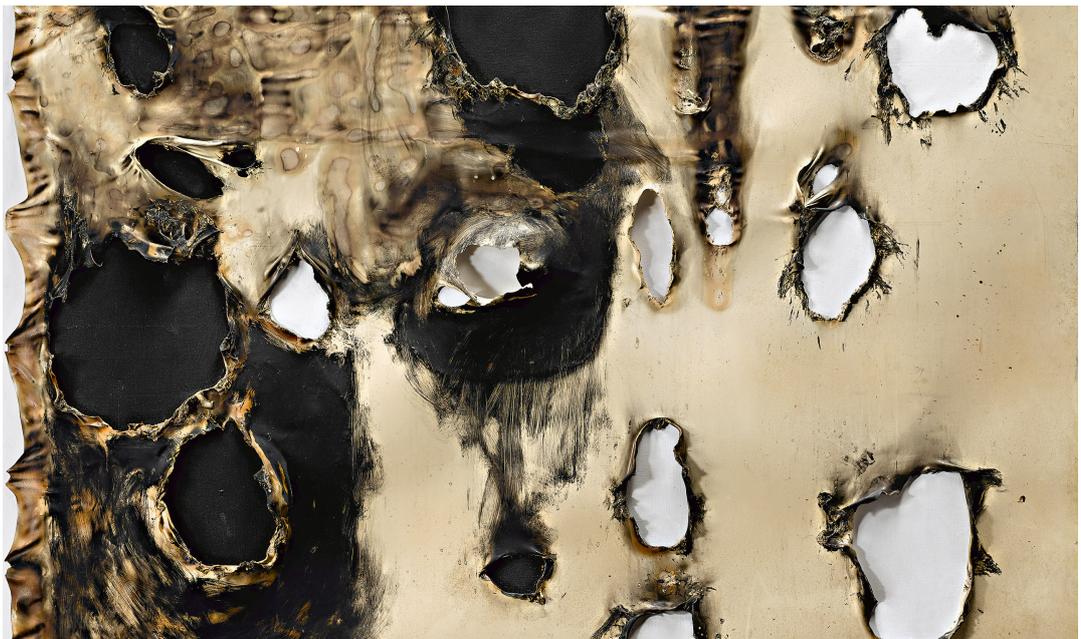


Figura 20: *Combustione plastica*, 1958, Alberto Burri: PVC, acrílico, tela, grapas y combustión sobre lienzo.

En los años sesenta se comenzaron a utilizar varios tipos de plásticos en un por entonces emergente Pop Art. Entre los artistas Pop sin duda destaca la obra de Claes Oldenburg<sup>26</sup>, quien en sus primeras investigaciones sobre sus

<sup>24</sup> Alberto Burri (1915 Citta di Castello, Italia – 1995 Niza, Francia) fue un pintor y escultor abstracto italiano conocido por sus obras en las que realiza intervenciones radicales sobre la materia que le llevan a una manera peculiar de elaborar un campo pictórico.

<sup>25</sup> Antorcha de soldadura en la que se usa oxígeno puro para aumentar la temperatura de la llama y permitir la fusión localizada de materiales como el acero (Guggenheim 2016)

<sup>26</sup> Claes Oldenburg (1929 Estocolmo, Suecia -?): una de las figuras más destacadas del Pop Art, ampliamente conocido por sus instalaciones de arte público en las que representa réplicas a gran escala de objetos cotidianos y sus esculturas blandas.

*soft sculptures* utilizó el PVC flexible que después rellenaba con kapok<sup>27</sup> (Ward, 2009).

También en los años sesenta Franco Mazzucchelli comenzó a realizar piezas hinchables de PVC con las que realizaba intervenciones espaciales tanto en el medio natural, como en el entorno urbano (Mazzucchelli, 2019).



Figura 21: *Soft toilet*, 1966, Claes Oldenburg; madera, PVC, kapok, alambre, Plexiglas sobre soporte de metal y base de madera pintada



Figura 22: *Plongée en apnée*, 2020, Franco Mazzucchelli

27 “Fibra vegetal\* que se obtiene de las vainas que constituyen el fruto\* del kapok. Es una fibra suave, cilíndrica, hueca, impermeable y elástica, con un contenido de hasta un 65% de celulosa\* y hemicelulosa\*. Se suele mezclar con otras fibras vegetales para uso textil y se ha usado tradicionalmente como relleno de varios objetos como almohadas, colchones y chalecos salvavidas” (Ministerio de Cultura y Deporte, 2018)

El PVC también tiene un gran peso en la obra de Carlos Cruz-Diez<sup>28</sup>, ya que lo considera un material indispensable para expresar sus intereses conceptuales sobre el color, debido a que el PVC translúcido de colores, le permite trabajar con el comportamiento sustractivo del color por el cual absorben la radiación de la luz.

Para la preservación de las obras de arte realizadas en este material se debe tener presente que la exposición al calor y la luz, somete al PVC a un proceso de deshidrocloración (producción de cloruro de hidrógeno gaseoso), reacción que es autocatalítica (Shashoua, 2008b).

Pese a que el polímero de PVC es resistente a ácidos y bases, sus plastificantes (ésteres) se hidrolizan en estos entornos formando cristales blancos de ácido o anhídrido. Lo mismo ocurre con los hidrocarburos, ya que pese a que la luz y el calor no afectan al polímero puro, pueden desestabilizar los plastificantes provocando su exudación en el caso de estar presentes en la formulación.

El agua hincha el polímero de PVC y lo vuelve opaco transitoriamente, ya que dicha opacidad desaparece al secarse.

También puede verse afectado por la luz y la radiación UV; la acción de este agente degradante provoca la mutación de color de amarillo a naranja, rojo, marrón y negro, debido a la pérdida de cloruro de hidrógeno. El contacto con el oxígeno provoca foto-oxidación y oxidación térmica, causando pérdida de cloruro de hidrógeno y decoloración.

En cuanto a las degradaciones del PVC plastificado, cabe destacar que se decolora ante la acción de la luz y las radiaciones UV, a temperaturas entre -25 y +25 °C. Puede llegar a reblandecerse (dependiendo del porcentaje de plastificante), en presencia de calor, ya que el plastificante exuda a la superficie y se evapora; siendo probable que también se decolore. En contacto con el oxígeno se produce una oxidación térmica y foto-oxidación de los plastificantes de ftalato, que tiene como resultado su transformación en cristales ácidos de ftalato. Lo mismo ocurre cuando en contacto con el agua, dichos plastificantes se hidrolizan.

---

28 Carlos Cruz-Diez es un artista franco-venezolano que vive y trabaja en París desde 1960; conocido por ser uno de los artistas más relevantes del Arte Óptico y Cinético, corriente artística que reivindica "la toma de conciencia de la inestabilidad de lo real"; es considerado uno de los pensadores del color del siglo XX debido a sus investigaciones artísticas (Cruz-Diez Art Foundation, 2016).

Las manifestaciones más habituales de la degradación del PVC son la pegajosidad de la superficie acompañada de un cambio de aspecto (ya que se vuelve brillante), la decoloración, y en ocasiones la aparición de cristales blancos. Estos síntomas son el resultado de la degeneración de los dos componentes principales de la formulación: el polímero y el plastificante. Ambos componentes se deterioran de forma independiente, si bien la degradación de cualquiera de ellos tiene capacidad para desestabilizar el conjunto.



Figura 23: detalle de depósito blanquecino en la superficie de un Marsupilami de juguete hecho en PVC

Las moléculas plastificantes se dispersan uniformemente por todo el PVC y se adhieren débilmente a las superficies de las cadenas de polímero a través de las fuerzas de Van der Waals. El producto más utilizado como plastificante, desde la década de 1950, es el di (2-etilhexil) ftalato (DEHP), compuesto que por otro lado ha sido identificado en muchos plásticos presentes en las colecciones de los museos (Shashoua, 2001). Síntomas como la pegajosidad y el alto brillo en el deterioro del PVC indican la presencia de plastificante líquido en la superficie, que posteriormente se evapora. El DEHP tiene un punto de ebullición de 386° C y se evapora lentamente en condiciones ambientales, pudiendo aumentar la velocidad de emisión si aumenta la temperatura (Coughlin, 2018).

Este proceso de degradación hace que el PVC sea considerado emisor de contaminantes gaseosos por numerosos investigadores por lo que aparece

reflejado en diecinueve estudios<sup>29</sup>, de los cuales doce<sup>30</sup> están enmarcados en el campo de la conservación del plástico como material presente en los bienes culturales y los siete restantes<sup>31</sup> tratan el tema de los contaminantes gaseosos en los museos. Tres<sup>32</sup> de ellos especifican que se trata de PVC plastificado y uno<sup>33</sup> señala que se trata de PVC flexible. A pesar de que estos diecisiete estudios apuntan al PVC como una fuente de volátiles nocivos, uno más reciente llevado a cabo por Jean Tétreault, químico analítico del Canadian Conservation Institute, pone en duda estas afirmaciones al asegurar que aunque el PVC es sospechoso de emitir ácido clorhídrico no existen evidencias de que lo haga en condiciones de museo (Tétreault, 2019). La explicación a esta discrepancia puede residir en que los conservadores hasta principios del siglo XXI se basaron en los datos obtenidos por la industria del plástico para entender su degradación (Shashoua 2016); y por tanto, es factible que en esos casos el PVC emitiese ácido clorhídrico, al ser diferentes sus condiciones de conservación de las habituales en los museos.

---

29 También en la definición de policloruro de vinilo del *Tesauros-Diccionarios del patrimonio cultural de España* (Ministerio de Cultura y Deporte, 2017) se hace referencia a esta problemática, en concreto señala que “[...] debido a la posibilidad de liberar ácidos\*, los productos de policloruro de vinilo no se consideran materiales apropiados para usos en museos o en la práctica de conservación [...]”.

30 *Conservation of Plastics* (Morgan, 1991); *Display and storage of museum objects containing cellulose nitrate* (Williams, 1997b); *Part 2: Degradation Causes. En: Plastics – Collecting and Conserving* (Keneghan y Quye, 1999); *Care of plastics: Malignant plastics* (Williams, 2002); *Pollutants in the museum environment : practical strategies for problem solving in design, exhibition and storage* (Hatchfield 2004); *Challenge of materials? A new approach to collecting modern materials at the Science Museum* (Coles, 2007); *Conservation of plastics. Materials, science, degradation and preservation* (Shashoua, 2008b); *Does Plastic Art Last Forever?. Not even close. Can a generation of synthetic objects be saved?* (Kean, 2009); *Degradation of Lumarith' Cellulose Acetate. Examination and chemical analysis of a salesman's simple kit* (Tsang et al., 2009); *Preservation of Plastic Artefacts in Museum Collections* (Lavédrine, Fournier y Martin, 2012); *Polymers and volatiles : Using VOC analysis for the conservation of plastic and rubber objects* (Curran y Strlic, 2014) ; *Looking at Plastics. An introduction to caring for plastics* (Coughlin, 2018).

31 *The Museum Environment* (Thomson, 1986); *Materials and their interaction with museum objects* (Pretzel, 2003); *Pollutants in the museum environment : practical strategies for problem solving in design, exhibition and storage* (Hatchfield, 2004); *Selection of Materials for the Storage or Display of Museum Objects* (Thickett and Lee, 2004); *CCI Notes 15/1 Pollutant* (Tétreault, 2009); *Sustaining the Unsustainable: Mitigation and Monitoring for Modern Materials* (Baker et al 2015); *Chapter 4: Museum Collections Environment. En: NPS Museum Handbook* (National Service Park, 2016).

32 *Display and storage of museum objects containing cellulose nitrate* (Williams, 1997b); *Conservation of plastics. Materials, science, degradation and preservation* (Shashoua, 2008b); *Degradation of Lumarith' Cellulose Acetate. Examination and chemical analysis of a salesman's simple kit* (Tsang et al., 2009).

33 *CCI Notes 15/1 Pollutant* (Tétreault, 2009).

En el caso del PVC, cuyas variadas presentaciones se encuentran todas presentes en las colecciones de arte, como hemos podido ver en párrafos anteriores, cabe señalar que la rígida es una de las más comunes, razón por la cual se ha elegido para realizar las muestras del ensayo práctico.

#### 2.1.2.4 Caucho

En el mercado se pueden encontrar dos tipos de caucho bien diferenciados en función de su origen: caucho natural y caucho sintético; aunque la gran mayoría de los que se utilizan en la actualidad son los sintéticos.

El caucho natural es un polímero vegetal que se obtiene por la coagulación del látex, dispersión acuosa que contiene entre un 25% y un 40% de poliisopreno (García Fernández-Villa y San Andrés Moya, 2002). La principal fuente de este producto proviene del *Hevea Brasiliensis*, árbol nativo del Amazonas, que fue traído a Europa por Cristóbal Colón; pero también se puede obtener la materia prima de otros muchos árboles y arbustos (Baker, 1995). El caucho natural se extrae realizando incisiones en la corteza del árbol, posteriormente se mezcla con ácido acético o fórmico para facilitar su coagulación y finalmente, se lava y se seca (Ministerio de Cultura y Deporte, 2017).

El uso de este material se extendió a mediados del siglo XVIII, mientras que el desarrollo de la investigación sobre el caucho sintético, se produjo a principios del siglo XIX debido a las restricciones comerciales acaecidas como consecuencia de la I Guerra Mundial. El avance de dichas investigaciones fue tal, que años más tarde, durante la II Guerra Mundial, se utilizarían grandes cantidades de este polímero ya sintetizado (Blank, 1990).

El caucho sintético es un elastómero<sup>34</sup> que se obtiene por polimerización de butadieno y sus derivados, o por copolimerización de uno de ellos con estireno, acrilonitrilo, isobutileno, etc. Su estructura es diferente a la del caucho natural, caracterizándose por una menor elasticidad. El caucho sintético, hoy día, ha reemplazado en gran medida el uso del caucho natural (Ministerio de Cultura y Deporte, 2017).

En su composición, los cauchos pueden contener algunos aditivos como cargas,

---

34 “Polímero constituido por cadenas macromoleculares flexibles que forman una red tridimensional. Son generalmente amorfos y con temperatura de transición vítrea muy baja. [...] son elásticos (es decir, se deforman al someterlos a una fuerza pero recuperan su forma inicial al suprimir la fuerza) y su módulo de elasticidad aumenta con la temperatura. La mayoría de los elastómeros son polímeros sintéticos\*, como los cauchos sintéticos\*, siendo el caucho natural\* el principal elastómero de origen natural” (Ministerio de Cultura y Deporte, 2017).

de entre las que destacan el negro de carbón y la arcilla. Estos aditivos mejoran sus propiedades mecánicas haciéndolos más duraderos y menos deformables.

El caucho vulcanizado es el que se obtiene por el calentamiento del caucho natural o sintético en presencia de azufre o algún compuesto sulfuroso que lo convierte en un producto duro, resistente y flexible. Este proceso se denomina vulcanización y fue patentado por Hancock (Inglaterra) en 1843 y por Goodyear (Estados Unidos) en 1844 (Shashoua, 2008b).

Otra variedad de este material, es el conocido como caucho duro, nomenclatura que obedece a su elevado grado de vulcanización, que fue producido por primera vez en 1853 y se comercializó con el nombre de Ebonita® en Inglaterra, debido a que presentaba una apariencia similar a la del ébano; en Estados Unidos fue denominado Vulcanita® (Ibíd.).

Se trata de una goma extremadamente dura, que se consigue al someter la pasta de caucho a 173°C e incorporándole entre un 20% y un 38% de su peso en azufre; proporción que se puede llegar a incrementar hasta el 50%, cifra ésta variable, dependiendo de las fuentes consultadas (García Fernández-Villa y San Andrés Moya, 2002).

Entre sus propiedades ópticas, cabe señalar que se trata de un material de color negro o marrón muy oscuro, y que físicamente destaca por su rigidez y dureza; característica que permite su pulido.

Las primeras variantes del caucho vulcanizado se obtuvieron a partir de caucho natural, pero después de la I Guerra Mundial, debido al incremento de su demanda, se planteó la necesidad de sustituir el caucho natural por otro de características similares. Por ello a partir de los años 30, se utilizaron de forma mayoritaria los cauchos de origen sintético como base para la elaboración de los cauchos vulcanizados (Ibíd.).

Si observamos el uso de este material en el campo artístico, son numerosos los artistas que han utilizado el caucho en sus múltiples variantes a lo largo de la historia, desde los pioneros Naum Gabo y Antoine Pevsner, hasta artistas de nuestros días como Sommerhalter. Eva Hesse<sup>35</sup> utilizó el polímero natural en sus obras *Contingent* (1969) y *Untitled*, 1967, entre otras. A mediados de los años sesenta Hesse comenzó a usarlo en sus esculturas, en concreto caucho

---

35 **Eva Hesse** ( 1936 Hamburgo, Alemania -1970, Nueva York, EEUU) fue una escultora estadounidense de origen alemán conocida por ser pionera en la utilización del látex, la fibra de vidrio y otros plásticos para la realización de esculturas; además de por ser una de las artistas que marcó el comienzo del movimiento artístico post-minimal en los años sesenta.



Figura 24: *Contingent*, 1969, Eva Hesse; tela para queso, caucho natural y fibra de vidrio



Figura 25: *To lift*, 1967, Richard Serra; caucho vulcanizado

natural de la marca Cementex®, dato que conocemos gracias a un estudio llevado a cabo por el Museum of Modern Art de San Francisco que se realizó con motivo de la exposición monográfica sobre esta artista.

También a mediados de la década de los sesenta, Richard Serra<sup>36</sup> comenzó a experimentar con materiales artísticos no tradicionales como la fibra de vidrio, el neón y el caucho vulcanizado. A Serra le interesaban las posibilidades plásticas de estos materiales crudos y poco usuales como dejó plasmado en sus obras de caucho vulcanizado *To Lift* (1967), *White Neon Belt Piece* (1967) o *Doors* (1966-67).

En la década de los ochenta y finales de la de los noventa, Philippe Sommerhalter<sup>37</sup> realizó una serie de esculturas donde investigó los fenómenos de tensión y contracción. Para ello engarzaba tubos de neumáticos inflados (caucho vulcanizado) en estructuras metálicas restrictivas<sup>38</sup>; estos materiales son en ocasiones fabricados ex profeso y en otras se trata de objetos encontrados, *objet trouvé*.

36 **Richard Serra** (1938 San Francisco, EEUU - ?) es un escultor y video artista minimalista estadounidense conocido por trabajar con ensamblajes de láminas de metal a gran escala. También es importante mencionar su compromiso con el arte procesual en la década de los sesenta.

37 **Philippe Sommerhalter** (1961 Saint-Dizier, Francia - ?) escultor francés conocido por sus investigaciones sobre la tensión y la contracción de dos materiales, el hierro y el caucho.

38 Estructuras generalmente de hierro o acero que oprimían los neumáticos inflados provocándoles gran presión.

Otros ejemplos de artistas que trabajan con caucho vulcanizado son Peter Fischli y David Weiss<sup>39</sup> quienes entre los años 1986 y 1988 también crearon diversas esculturas con este material; o la instalación Chicotes de Gabriel Orozco<sup>40</sup> desarrollada ex profeso para la Tate Modern, y que consistía en una sala llena de neumáticos de coches “destrozados por las carreteras de México”.

La aparición en el mercado de la espuma de caucho hizo que pronto se incorporase al mundo del arte, sirviendo de material para la creación artística, por lo que en pocos años aparecía en el catálogo del Surrealismo *Prière de Toucher* (Edición numerada de catálogos de la exposición *Le Surréalisme en 1947*) o *For sitting only* (1957) de Marcel Duchamp<sup>41</sup>; y también como material de relleno en algunas de las *soft sculptures* de Claes Oldenburg<sup>42</sup> por ejemplo

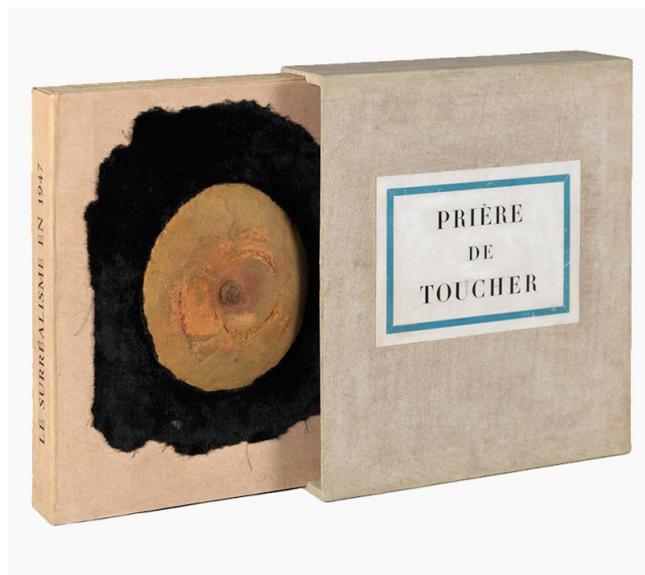


Figura 26: *Le surréalisme en 1947 [Prière de toucher]*, Marcel Duchamp

39 **Peter Fischli** ( 1952 Zurich, Suiza - ?) y **David Weiss** (1946 Zurich, Suiza - ?) son dos artistas suizos que comenzaron a colaborar en 1979, teniendo su primera exposición individual en 1981 en la Galería Balkon de Ginebra. Su trabajo explora la poética de la banalidad, y la sublimidad de los objetos y eventos que constituyen la vida cotidiana; no estando atribuido a ningún estilo artístico, técnica o material.

40 **Gabriel Orozco** (1962, Jalapa, Méjico - ?) es un artista mejicano muy reconocido desde principios de los noventa gracias a las investigaciones realizadas mediante dibujos, fotografías, esculturas e instalaciones.

41 **Marcel Duchamp** (1887 Blainville-Crevon, Francia – 1968 Neuilly-sur-Seine) es un artista francés muy influyente en el arte del siglo XX, especialmente conocido por su ideario en la evolución del dadaísmo.

42 **Claes Oldenburg** es un escultor estadounidense, conocido por sus esculturas que representan objetos de la vida cotidiana a gran escala, que van desde esculturas públicas hechas muchas de ellas en materiales muy diversos hasta sus características esculturas “blandas”,

en *Floor Cone* (1962) o *Giant Soft Fan* (1966-67).

Además este polímero se comercializa en diversas presentaciones por lo que puede aparecer moldeado en obras como *Mamelles* (1991) de Louise Bourgeois<sup>43</sup>; o en forma de silicona como en la *Rubber Mat* (1996) de Mona Hatoum<sup>44</sup>.

En cuanto a su perdurabilidad en el tiempo cabe señalar que todos los tipos de plástico pueden verse afectados por la luz, el oxígeno y la humedad. El deterioro que sufre el caucho de forma más habitual es la oxidación provocada por el oxígeno ambiental, que puede dar lugar a emisiones de dióxido de azufre; convirtiéndose en presencia de altos porcentajes de humedad relativa en ácido sulfúrico, acelerando notablemente la degradación de este material, y desencadenando su autocatálisis (Grzywacz, 2006).

Por otro lado, el caucho sintético es altamente sensible a los cambios de temperatura (García Fernández-Villa y San Andrés Moya, 2002) y puede verse afectado por algunos disolventes como hidrocarburos o alcoholes (Blank, 1990).

También se debe tener en cuenta que aunque el caucho natural y el caucho sintético tienen propiedades similares, el comportamiento de ambos en su proceso de envejecimiento natural puede diferir puesto que el caucho sintético es más resistente a la luz, a los aceites y a los agentes químicos.

En cambio, sí comparten los signos que evidencian su degradación; siendo los más comunes el endurecimiento, la aparición de fisuras, craquelados y la pegajosidad de las superficies (Pinacoteca do Estado de São Paulo, 2015), siendo este último signo indicativo de la pérdida de aditivos.

El caucho vulcanizado, por su alto contenido en azufre, cuando se somete a la

---

realizadas en material plástico, en las cuales colaboró su esposa Coosje van Bruggen.

43 **Louise Bourgeois** fue una artista franco-estadounidense conocida por sus esculturas a gran escala y sus instalaciones. A lo largo de su vida exploró una amplia variedad de temas como la domesticidad y la familia, la sexualidad y el cuerpo, o la muerte y el subconsciente; todos ellos conectados según ella de forma terapéutica con etapas de su infancia. A pesar de no haber estado nunca comprometida formalmente con ningún movimiento artístico, su arte tiene mucho en común con el surrealismo y el arte feminista.

44 **Mona Hatoum** (1952 Beirut, Líbano - ?) es una artista que desafía los movimientos del surrealismo y el minimalismo, creando obras que exploran los conflictos y contracciones de nuestro mundo. A finales de los ochenta comenzó a desarrollar instalaciones y esculturas en una amplia gama de materiales que a menudo se sirven de las formas geométricas para hacer referencia a los sistemas de control dentro de la sociedad. También ha realizado una serie de obras utilizando objetos del hogar modificados para hacerlos familiares pero a la vez extraños.

acción de la luz y el oxígeno pierde este aditivo y se vuelve quebradizo. Los signos de deterioro más comunes de este material son los tonos marrones o verdes amarronados que aparecen sobre su superficie, así como la disminución de su brillo. Este cambio de color es normalmente la primera señal que indica el comienzo del deterioro (Blank, 1990; Morgan, 1991; Williams, 1997a).



Figura 27: detalle de zona quebradiza en una botella de agua caliente hecha en caucho

Se han localizado dieciocho estudios en los que se señala que el caucho, en alguna de sus modalidades desprende contaminantes gaseosos. Diez<sup>45</sup> de ellos abordan el tema de los contaminantes en los museos, mientras que los otros ocho<sup>46</sup> tratan directamente temas relacionados con el plástico como

45 *The Museum Environment* (Garry Thomson, 1986); *Guidelines on pollution control in heritage buildings* (Blades et al. 2000); *Airborne pollutants in Museums, Galleries, and Archives: Risk Assessment, Control Strategies, and Preservation Management* (Tétreault, 2003); *Materials and their interaction with museum objects* (Pretzel, 2003); *Pollutants in the museum environment: practical strategies for problem solving in design, exhibition and storage* (Hatchfield, 2004); *Selection of Materials for the Storage or Display of Museum Objects* (Thickett y Lee, 2004); *Monitoring for Gaseous Pollutants in Museum Environments* (Grzywacz, 2006); *Chapter 21: museums, galleries, archives, and libraries* (The American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2007); *CCI Notes 15/1 Pollutant* (Tétreault, 2009); *Chapter 4: Museum Collections Environment. En: NPS Museum Handbook* (National Service Park, 2016); *Products used in preventive conservation* (Tétreault, 2019).

46 *Conservation of plastics. An introduction* (Morgan, 1991); *Secret sabotaje: reassessing museum plastics in display and storage* (Fenn, 1995); *Display and storage of museum objects containing cellulose nitrate* (Williams, 1997b); *Plastics: collecting and conserving* (Quye y

material de obras de arte y objetos museísticos. Hatchfield (2004) y Coughlin (2018) añaden que se trata de un caucho vulcanizado con azufre, siendo esta última la que precisa que se trata de un caucho con más del 40% de azufre en peso. Mientras que Lavédrine, Fournier y Martin (2012), y Williams (2002) simplemente indican que el caucho vulcanizado puede ser del tipo ebonita o vulcanita. Asimismo, Quye y Williamson (1999) sí puntualizan que estas emisiones se producen en condiciones de humedad relativa alta.

Para el ensayo práctico se ha seleccionado un caucho EPDM, es decir un caucho sintético vulcanizado por ser, de entre las presentaciones más abundantes, la que potencialmente puede generar más problemas derivados de sus emisiones debido a su alto porcentaje de azufre.

### 2.1.2.5 Poliuretano

El poliuretano es un polímero sintético también conocido por los nombres comerciales Bayflex®, Lycra® y Spandex®. Los poliuretanos se usan como aglutinantes, barnices industriales, y en ocasiones como adhesivos. Este polímero puede encontrarse en diversas presentaciones como fibras, textiles, gomas, espumas rígidas y flexibles, y revestimientos (Shashoua, 2008b; Ministerio de Cultura y Deporte, 2017).

La química básica del poliuretano fue descubierta por Otto Bayer en 1937, pero los primeros polímeros de poliuretano se desarrollaron como sustitutos del caucho al dar comienzo la II Guerra Mundial. La preparación de estos polímeros se realiza mediante un proceso de reacción intermedio entre polímeros de adición y de condensación (Brydson, 1999). Son producto de un polioliol, basado en un poliéster (para el PURéster) o poliéter (para el PURéter), con varios grupos de alcohol ( $-\text{O}-\text{H}$ ), un di o poliisocianato con varios grupos de cianato ( $-\text{N}-\text{C}-\text{O}$ ) y un extensor de cadena. El extensor de cadena reacciona con los grupos de alcohol de polioliol, iniciando un desequilibrio en cargas negativas y positivas en toda la molécula que, después de la reacción con el isocianato (altamente tóxico), da como resultado la formación de un grupo uretano ( $-\text{NHCOO}-$ ) (Shashoua, 2008b).

Las primeras espumas que se desarrollaron en la industria fueron las de base éster, de alta resistencia mecánica pero más débiles químicamente que los PURéteres de fabricación más reciente. Las propiedades físicas de los poliuretanos están

---

Williamson, 1999); *Care of plastics: Malignant plastics* (Williams, 2002); *Degradation of Lumarith' Cellulose Acetate. Examination and chemical analysis of a salesman's simple kit* (Tsang et al., 2009); *Preservation of Plastic Artefacts in Museum Collections* (Lavédrine, Fournier y Martin, 2012); *Looking at Plastics. An introduction to caring for plastics* (Coughlin, 2018).

condicionadas por las fórmulas químicas tanto del isocianato como del alcohol que son las que determinan los pesos moleculares y el grado de reticulación en el polímero resultante (Waentig, 2008).

Para producir la espuma de poliuretano, se agrega agua al poliol y a los materiales de partida del poliisocianato. Las moléculas de agua reaccionan con los grupos isocianato para formar enlaces de urea ( $\text{—HNCONH—}$ ) entre las cadenas, en lugar de los grupos de uretano surgidos en ausencia de agua. A medida que progresa la polimerización, acompañada de un aumento en el peso molecular, el gas de dióxido de carbono queda atrapado en el polímero líquido cada vez más viscoso. Las burbujas atrapadas favorecen la formación de células en la espuma de poliuretano a medida que se endurece (Shashoua, 2008b).

La producción en masa de espumas flexibles para muebles y espumas rígidas para aislamiento se llevó a cabo en la década de los sesenta. Sin embargo el poliuretano ha sido utilizado en el mundo artístico en varias de sus presentaciones comerciales: en forma de fibras en las colecciones de indumentaria, donde es habitual encontrarlo imitando cuero; o en museos de Arte Contemporáneo donde es más frecuente ver la presentación en espuma, tanto rígida como flexible (Oosten, 2011). Además, la espuma de poliuretano ha sido utilizada en el mundo artístico para rellenos, como base para otros materiales y como material escultórico en sí mismo.

Uno de los artistas más representativos por el uso que hace de este material es César<sup>47</sup>, quien a mediados de los sesenta comenzó a trabajar con espuma de poliuretano en sus "expansiones"; en las que además de mostrar una deliberada voluntad de apropiarse de este nuevo material, pretendió ir más allá controlando de forma extraordinaria su potencial de expansión.

En la década de los setenta Lynda Benglis<sup>48</sup> se interesó por los nuevos modelos artísticos, y después de una etapa utilizando el látex, cambió a las formas de espuma de poliuretano de colores brillantes que evocaban las *soft sculptures* de principios de los sesenta de Claes Oldenburg. Si bien, a pesar de que las obras de Benglis puedan parecer flexibles fueron realizadas en espuma de poliuretano rígida.

---

47 César Baldaccini (1921 Marsella, Francia – 1998 París, Francia) comúnmente conocido como César es un escultor francés comprometido con el movimiento Nuevo Realismo. Toda su obra se clasifica en tres tipos esenciales: compresiones realizadas con automóviles, metales de deshecho o basura, expansiones que consisten en esculturas realizadas en espuma de poliuretano, y representaciones fantásticas de animales e insectos.

48 Lynda Benglis (1941 Lousiana, EEUU - ?) es una escultora y artista visual conocida principalmente por sus pinturas de cera de abeja y sus esculturas realizadas en látex.



Figura 28: *Expansion n°14*, 1970, César; espuma de poliuretano y esmalte blanco

También en los años setenta, John Chamberlain<sup>49</sup> elaboró una serie escultórica en la que utilizaría como material principal la espuma de poliuretano, la cual doblaba y ataba con cuerdas, en busca de nuevos significados.

Una década más tarde, Pistoletto<sup>50</sup> se sumaría a la lista de artistas seducidos por este material realizando una serie de esculturas talladas en espuma rígida.

Piero Gilardi<sup>51</sup> igualmente se serviría de la espuma flexible como material

---

49 **John Chamberlain** (1927 Indiana, EEUU – 2011 Nueva York, EEUU) es un escultor americano conocido por llevar el espíritu de la pintura expresionista a las tres dimensiones mediante sus esculturas realizadas con coches antiguos; y por sus características esculturas de espuma de poliuretano enrollada, atada y doblada.

50 **Michelangelo Pistoletto** (1933 Biella, Italia - ?) es un artista italiano considerado uno de los principales representantes de Arte Póvera.

51 **Piero Gilardi** (1942 Turín, Italia - ?) es un artista visual vinculado al Arte Póvera, considerado una de las figuras artísticas más influyentes de la década de los años sesenta por su labor de poner en contacto a los artistas Neo-Vanguardistas de Europa occidental y América del Norte.



Figura 29: exposición John Chamberlain: *Foam Sculptures* en The Chinati Foundation en 2005-2006



Figura 30: *Figures looking in the Well*, 1983, Michelangelo Pistoletto; poliuretano

expresivo, por su facilidad para ser cortada y tallada, y realizaría con ella alfombras blandas y suaves al tacto en las que representa extractos de la naturaleza como playas, mares o huertos.

Para su correcta preservación debemos tener en cuenta su composición, ya que como ya hemos señalado el polímero de poliuretano es el resultado de una reacción entre poliisocianatos y un poliéter o un poliéster, por lo que el producto final puede ser de dos tipos: poliuretano de base éter o poliuretano de base éster. Además según su estructura molecular los poliuretanos pueden ser tanto termoplásticos como termoestables; sin embargo la mayoría de las espumas pertenecen al primer grupo (Shashoua, 2008).

Las espumas compuestas a base de poliéster tienen mejores propiedades mecánicas que las procedentes del poliéter, así como una excelente resistencia a la abrasión, flexibilidad y al corte.

Otra de las características a tener en cuenta cara a su conservación es que los poros de la espuma hacen al polímero más susceptible a los agentes degradantes, es decir, su estructura física convierte en mucho más frágil al poliuretano en espuma que a la fórmula equivalente en cualquier otra presentación (Albus et al., 2007).

De sus propiedades químicas es importante conocer que las manufacturas a base de poliéter son bastante resistentes a la hidrólisis, pero son más vulnerables a la fotooxidación que las de poliéster. También presentan buena resistencia química, ya que los disolventes provocan en él una hinchazón temporal reversible, pero no su disolución (Shashoua, 2008).

El poliuretano es conocido por emitir compuestos volátiles contaminantes a medida que envejece; existiendo una relación directa entre el grado de deterioro y la tasa de emisión, es decir, a mayor degradación mayor emisión de volátiles nocivos (Tétreault, 2019). Asimismo, es importante conocer que existe una relación directa entre su tasa de emisión y la temperatura ambiental, Coughlin (2018), sostiene que se produce un incremento en las emisiones a medida que aumenta la temperatura ambiental. De esta problemática cercana al núcleo de nuestra investigación se hacen eco quince publicaciones. Siete<sup>52</sup> de ellas tratan el tema de la conservación del plástico como material presente

---

52 *Care of plastics: Malignant plastics* (Williams, 2002); *Conservation of plastics. Materials, science, degradation and preservation* (Shashoua, 2008b); *Does Plastic Art Last Forever?. Not even close. Can a generation of synthetic objects be saved?* (Kean, 2009); *Degradation of Lumarith' Cellulose Acetate. Examination and chemical analysis of a salesman's simple kit* (Tsang et al., 2009); *Preservation of Plastic Artefacts in Museum Collections* (Lavédrine, Fournier y Martin, 2012); *Polymers and volatiles : Using VOC analysis for the conservation of plastic and rubber objects* (Curran y Strlic, 2014); *Looking at Plastics. An introduction to caring for plastics* (Coughlin, 2018).

en numerosos bienes culturales; y las ocho<sup>53</sup> restantes lo hacen desde el punto de vista de la contaminación ambiental en los museos.

Thickett y Lee (2004) además advierten de que las espumas de base éter son más perjudiciales que las de base éster, aunque ambas sean peligrosas.

En este caso, se ha seleccionado la espuma de poliuretano flexible, al estar presente mayoritariamente en las colecciones contemporáneas.

#### 2.1.2.6 Acetato de celulosa

El acetato de celulosa es una resina semisintética termoplástica, también conocida como acetato o resina de seguridad; o por sus nombres comerciales: Tricel®, Celanese®, Kodacel®, Rayon®, Tenite® o Similoid® (Shashoua, 2008b).

Fue sintetizado por primera vez en 1865, y producido en fibras comercialmente en 1919 (Ibíd.).

En los años cuarenta, el acetato de celulosa reemplazaría al nitrato de celulosa debido a que se trataba de un material menos inflamable y más estable. Desde su aparición se ha empleado principalmente para la fabricación de fibras textiles, soportes transparentes y flexibles como películas fotográficas y cinematográficas; así como para objetos moldeables. También se ha usado como aglutinante, fijativo de tintas y en la fabricación de barnices industriales (Ministerio de Cultura y Deporte, 2017).

Se produce por la esterificación de la celulosa, mediante este procedimiento se pueden obtener polímeros con distinto grado de acetilización; como el diacetato, utilizado comúnmente en láminas para películas fotográficas y fibras; y el triacetato de celulosa, que lo podemos encontrar en láminas más finas y en piezas tridimensionales (Lavédrine, Fournier y Martin, 2012).

El primer acetato de celulosa, obtenido como ya se ha indicado, en 1865, fue el

---

53 *The Museum Environment* (Thomson, 1986); *Materials and their interaction with museum objects* (Pretzel, 2003); *Pollutants in the museum environment : practical strategies for problem solving in design, exhibition and storage* (Hatchfield 2004); *Selection of Materials for the Storage or Display of Museum Objects* (Thickett y Lee, 2004); *Pollutants in the museum environment : practical strategies for problem solving in design, exhibition and storage* (Hatchfield 2004); *CCI Notes 15/1 Pollutant* (Tétreault, 2009); *Chapter 4: Museum Collections Environment*. En: *NPS Museum Handbook* (National Service Park, 2016); *Products used in preventive conservation* (Tétreault, 2019).

denominado triacetato de celulosa, pero no presentaba gran utilidad debido a su baja solubilidad. Se elaboraba sustituyendo los tres grupos hidroxilo de la celulosa por grupos de acetilo y solamente era soluble en disolventes clorados de elevada toxicidad, por lo que carecía de interés comercial (Kaufman, 1963).

En 1904, se descubrió que si el polímero se hidrolizaba parcialmente, se volvía soluble en acetona, y cinco años más tarde se patentó el diacetato de celulosa o acetato secundario, el cual era perfectamente soluble en acetona, característica que permitió su comercialización a gran escala (Morgan, 1994). Su producción se realizaba en dos etapas: en un primer momento, la celulosa se acetila con anhídrido acético y ácido sulfúrico para producir el triacetato, después se hidroliza parcialmente con ácido sulfúrico diluido para dar como resultado el diacetato (Shashoua, 2008b).

La temperatura de reblandecimiento del diacetato de celulosa es excesivamente alta. Inconveniente que fue superado mediante el descubrimiento de los plastificantes, concretamente los ésteres del ácido fosfórico (Morgan, 1994). Por esta razón, los objetos de acetato de celulosa normalmente contienen una gran proporción de plastificantes.

En cuanto a sus propiedades ópticas, cabe indicar que se trata de un material incoloro, que presenta una alta transparencia debido a que es amorfo (Llamas Pacheco, 2014).

Mientras que de entre sus propiedades físicas destaca que el polímero sin aditivos es muy rígido, por lo que requiere de la adición de plastificantes.

En las colecciones contemporáneas, es común encontrarlo en forma de películas fotográficas y cinematográficas. Los primeros en incorporarlo (al igual que el nitrato de celulosa) como material artístico en sus esculturas, fueron los constructivistas rusos; esculturas como *Construction in space, two cones* (1927) de Naum Gabo suponen un magnífico testimonio. También a principios de los años noventa, coincidiendo con su etapa en Londres, Laszlo Moholy-Nagy<sup>54</sup> empezó a experimentar con este material en la creación de sus esculturas, en concreto con el de la marca comercial Rhodoïd (Donguy, 1996).

Para su correcta conservación es importante tener en cuenta que el acetato de

---

54 **László Moholy-Nagy** (1895 Bácsborsard, Hungría – 1946 Chicago, EEUU) pintor y fotógrafo de origen húngaro considerado una figura relevante en el arte del siglo XX gracias a sus experimentos con la luz y el tiempo, que tuvieron una importante difusión gracias a su labor como docente primero en Europa y después en Estados Unidos. De su carrera académica cabe destacar su trabajo como profesor en la Bahausde Weimar, que le llevaría años más tarde a fundar la New Bauhaus en Chicago.

celulosa tiene una resistencia química pobre y es atacado tanto por los ácidos como por los álcalis. Y también se ve afectado por luz, el calor y la humedad, siendo especialmente significativa la acción de esta última, ya que este polímero muestra una mayor absorción de agua que aquellos totalmente sintéticos. La humedad causa la hidrólisis de los grupos de acetato y de celulosa, dando lugar a la formación de ácido acético (The Plastics Historical Society, 2015; Ministerio de Cultura y Deporte, 2017); emisiones que pueden favorecer la autocatálisis, llegándose a duplicar su índice de degradación si no se elimina el entorno ácido (Coughlin, 2018). Cabe señalar que la tasa de dichas emisiones de ácido acético puede verse incrementada si la temperatura ambiental aumenta (Townsend, Hackney and Kearney, 2019). Esta problemática es comúnmente conocida como “síndrome del vinagre” debido al característico olor a vinagre que producen las emisiones de ácido acético y que se acrecienta a medida que envejece el material (Tétreault, 2019). A las emisiones, se suma el hecho de que estos procesos de degradación pueden producir contracciones y tensiones internas que dan lugar a daños como agrietamientos.

El problema de las emisiones derivadas de la degradación del acetato de celulosa ha sido motivo de investigación en veintiuna ocasiones hasta ahora. En todas ellas, se advierte de la nocividad de su antecesor, el nitrato de celulosa. De las veintiuna, doce<sup>55</sup> señalan esta problemática desde el campo de la conservación del plástico como material presente en las colecciones de Bienes Culturales. Y las nueve<sup>56</sup> restantes, lo hacen desde la óptica de la contaminación ambiental en los museos.

---

55 *Conservation of Plastics* (Morgan, 1991); *Secret sabotaje: reassessing museum plastics in display and storage* (Fenn, 1995); *Display and storage of museum objects containing cellulose nitrate* (Williams, 1997b); *Part 2: Degradation Causes. En: Plastics – Collecting and Conserving* (Keneghan y Quye, 1999); *Care of plastics: Malignant plastics* (Williams, 2002); *Challenge of materials? A new approach to collecting modern materials at the Science Museum* (Coles 2007); *Conservation of plastics. Materials, science, degradation and preservation* (Shashoua, 2008b); *Does Plastic Art Last Forever?. Not even close. Can a generation of synthetic objects be saved?* (Kean, 2009); *Degradation of Lumarith' Cellulose Acetate. Examination and chemical analysis of a salesman's simple kit* (Tsang et al., 2009); *Preservation of Plastic Artefacts in Museum Collections* (Lavédrine, Fournier y Martin, 2012); *Polymers and volatiles: Using VOC analysis for the conservation of plastic and rubber objects* (Curran y Strlic, 2014); *Looking at Plastics. An introduction to caring for plastics* (Coughlin, 2018).

56 *Guidelines on pollution control in heritage buildings* (Blades et al., 2000); *Airborne pollutants in Museums, Galleries, and Archives: Risk Assessment, Control Strategies, and Preservation Management* (Tétreault, 2003a); *Pollutants in the museum environment: practical strategies for problem solving in design, exhibition and storage* (Hatchfield, 2004); *Monitoring for Gaseous Pollutants in Museum Environments* (Grzywacz, 2006); *Chapter 21: museums, galleries, archives, and libraries* (The American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2007); *CCI Notes 15/1 Pollutant* (Tétreault, 2009); *Sustaining the Unsustainable: Mitigation and Monitoring for Modern Materials* (Baker, McCauley y Tsang, 2015); *Chapter 4: Museum Collections Environment. En: NPS Museum Handbook* (National Service Park, 2016); *Products used in preventive conservation* (Tétreault, 2019).

Para el ensayo experimental se ha seleccionado un acetato de celulosa transparente y rígido, al haber detectado que es la variedad más utilizada para la realización de obras de Arte Contemporáneo.

### 2.1.2.7 Nitrato de celulosa

Es un polímero semisintético, conocido como nitrocelulosa, fulmicotón, algodón de pólvora, piroxilina, marfil francés; o por su nombre comercial Xylonite®, Parkesine®, Durofix®, Celluloid® e Imedio® (Shashoua, 2008b; Ministerio de Cultura y Deporte, 2017).

Fue sintetizado por primera vez entre 1832-62 (depende de la fuente) y patentado en 1865 (Shashoua, 2008b). Pero el material no se popularizó hasta mediados de la década de los setenta (Blank, 1990). A lo largo de la historia ha sido empleado como explosivo, barniz, aglutinante pictórico y adhesivo. También con él se pueden realizar soportes flexibles y transparentes (mezclado con plastificantes) como es el caso del Celuloide®, popularizado por su nombre comercial. Este último producto alcanzó un gran desarrollo como material de moldeo (especialmente para pequeños objetos que imitaban el marfil o la perla, como la Ivorina) pero ante todo, como soporte de películas fotográficas y cinematográficas, desde finales del siglo XIX hasta mediados del siglo XX (Ministerio de Cultura y Deporte, 2017).

Este material se obtiene mediante un proceso de nitración, en el cual se reemplazan cantidades variables de los grupos hidroxilo que componen la celulosa, por otros grupos a base de una mezcla de ácido nítrico y ácido sulfúrico, y su posterior lavado con agua. El contenido de nitrógeno (grado de nitración) afecta a las propiedades físico-químicas del plástico. La conservación de este material, depende en gran medida de la cantidad de nitrógeno que contenga; a mayor proporción de nitrógeno, más inestable será el producto debido a que es altamente inflamable, pudiendo llegar a ser explosivo cuando contiene un alto porcentaje de nitrógeno en su composición (por lo general, más del 30%) (Shashoua, 2008b).

Ópticamente, el polímero de nitrato de celulosa sin aditivos es incoloro y transparente debido a su baja cristalinidad (Williams, 1997b). En cuanto a sus propiedades físicas y térmicas, cabe señalar que se trata de un polímero termoplástico muy rígido, frágil y con una alta permeabilidad a los gases, por lo que requiere un plastificante para aumentar su flexibilidad. Si se plastifica se pueden llegar a producir películas y láminas delgadas (Shashoua, 2008b).

Como vemos en el proceso de manufactura, es habitual que se añadan aditivos, especialmente plastificantes. Hasta la década de 1930, el plastificante



Figura 31: *Model for 'Column'*, 1920-1, Naum Gabo; nitrato de celulosa

utilizado para ablandar el nitrato de celulosa de uso comercial era el alcanfor. Este plastificante tiene la propiedad de sublimar a temperatura ambiente, y combinado en proporción de dos partes de nitrato de celulosa y una de alcanfor, da como resultado el celuloide. Esta mezcla pierde el plastificante a un ritmo lento, estimándose que transcurridos entre treinta y cuarenta años este compuesto podría disminuir hasta un 15%, tras lo cual quedaría ya estabilizado (Selwitz, 1988).

Poco antes de la Segunda Guerra Mundial, el alcanfor fue reemplazado por trifenil y tricresil fosfato, y por ftalatos. El ftalato de dibutilo y el di (ftalato de 2-etilhexilo) que se vienen utilizando desde la década de 1920 (Waentig, 2008).

Este material ha sido empleado para la elaboración de obras de arte en varias de sus presentaciones comerciales. En forma de lámina gruesa, fueron sin duda los constructivistas rusos, los primeros que apostaron por el nitrato de celulosa para sus creaciones artísticas. Buen ejemplo de ello es el ya comentado caso de Naum Gabo<sup>57</sup>, quien afanado en la búsqueda de esculturas más aéreas y huecas incorporó este material en sus esculturas de 1920. En un primer momento realizó piezas figurativas mediante láminas opacas, y tras su vuelta de Rusia en 1917, comenzaría a trabajar con nitrato de celulosa transparente. De hecho, la primera escultura de la que se tiene noticia elaborada con una lámina de nitrocelulosa transparente fue su *Model for Column* (1920-21). Otro de los artistas más representativos por sus trabajos con nitrato de celulosa fue Antoine Pevsner<sup>58</sup>, quien rechazaba los materiales escultóricos tradicionales y apostaba por el cambio a los contemporáneos como lo era el celuloide.

En cuanto a su conservación, el nitrato de celulosa, tal y como se ha explicado, es un material muy inestable y extremadamente inflamable que puede llegar a descomponerse obedeciendo a distintos factores tanto físicos como químicos, lo que ha creado serios problemas para su conservación (Ministerio de Cultura y Deporte, 2017).

Es la acción del calor la que provoca la pérdida de plastificante (el alcanfor sublima a 20°C), causando contracción y agrietamiento (Shashoua, 2008b), y convirtiendo al polímero de nitrato de celulosa más vulnerable a la degradación química. Cuando se somete a radiaciones UV se decolora y craquela; mientras

---

57 **Naum Gabo** (1890 Briansk, Rusia -1977, Middlebury, Connecticut, EEUU) fue un artista constructivista pionero en la utilización de materiales modernos como el plástico para realizar sus esculturas; las primeras construcciones las realiza en Moscú alrededor de 1915 junto a otros artistas como Pevsner, Tatlin, Kandinsky y Malevich.

58 **Antoine Pevsner** ( 1888 Klimavichy, Rusia – 1962 París, Francia) fue un artista ruso considerado pionero en la escultura del siglo XX, conocido por ser uno de los creadores del movimientos constructivista y pionero en el arte cinético.

que el oxígeno provoca su oxidación. Por otro lado, los plastificantes pueden actuar como estabilizadores absorbiendo los productos de la degradación ácida producida por el propio material; de tal modo que cuando el plastificante se evapora, el polímero se vuelve más vulnerable a la degradación química (Shashoua, Bradley y Daniels, 1992).

Igualmente, su resistencia química es pobre, por lo que puede ser atacado tanto por ácidos como por álcalis. En su proceso de degradación emite óxidos de nitrógeno, los cuales en condiciones de humedad relativa alta pueden transformarse en ácido nítrico (Grzywacz, 2006); esta descomposición del polímero es autocatalítica, y si no se eliminan estos productos de degradación, catalizan mediante una reacción más rápida y más extensa que la originada en primera instancia (Shashoua 2008b).

No debemos ignorar tampoco, las investigaciones que señalan al nitrato de celulosa como fuente de emisiones de contaminantes intrínsecos secundarios. En concreto, veinticuatro de las fuentes consultadas hacen referencia a esta problemática, de las cuales doce<sup>59</sup> se engloban dentro de los estudios relacionados con la conservación del plástico como material; y las doce<sup>60</sup> restantes pertenecen al campo de estudio de los contaminantes en los museos.

El nitrato de celulosa no se ha incluido en el ensayo práctico debido a que

---

59 *Conservation of Plastics* (Morgan, 1991); *Secret sabotaje: reassessing museum plastics in display and storage* (Fenn, 1995); *Display and storage of museum objects containing cellulose nitrate* (Williams, 1997b); *Part 2: Degradation Causes. En: Plastics – Collecting and Conserving* (Keneghan y Quye, 1999); *Care of plastics: Malignant plastics* (Williams, 2002); *Challenge of materials? A new approach to collecting modern materials at the Science Museum* (Coles, 2007); *Conservation of plastics. Materials, science, degradation and preservation* (Shashoua, 2008b); *Does Plastic Art Last Forever?. Not even close. Can a generation of synthetic objects be saved?* (Kean, 2009); *Degradation of Lumarith' Cellulose Acetate. Examination and chemical analysis of a salesman's simple kit* (Tsang et al., 2009); *Preservation of Plastic Artefacts in Museum Collections* (Lavédrine, Fournier y Martin, 2012); *Polymers and volatiles: Using VOC analysis for the conservation of plastic and rubber objects* (Curran y Strlic, 2014); *Looking at Plastics. An introduction to caring for plastics* (Coughlin, 2018).

60 *The Museum Environment* (Garry Thomson, 1986); *Guidelines on pollution control in heritage buildings* (Blades et al. 2000); *Airborne pollutants in Museums, Galleries, and Archives: Risk Assessment, Control Strategies, and Preservation Management* (Tétreault, 2003); *Materials and their interaction with museum objects* (Pretzel, 2003); *Pollutants in the museum environment: practical strategies for problem solving in design, exhibition and storage* (Hatchfield, 2004); *Selection of Materials for the Storage or Display of Museum Objects* (Thickett and Lee, 2004); *Monitoring for Gaseous Pollutants in Museum Environments* (Grzywacz, 2006); *Chapter 21: museums, galleries, archives, and libraries* (The American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2007); *CCI Notes 15/1 Pollutant* (Tétreault, 2009); *Sustaining the Unsustainable: Mitigation and Monitoring for Modern Materials* (Baker et al 2015); *Chapter 4: Museum Collections Environment. En: NPS Museum Handbook* (National Service Park, 2016); *Products used in preventive conservation* (Tétreault, 2019).

únicamente se han encontrado distribuidores que comercializan este polímero en su presentación en polvo.

### 2.1.3 Gases emitidos por este grupo de plásticos y sus características

Una vez conocidas las fuentes relativas al origen de los contaminantes emitidos por los plásticos, se va a hacer una revisión bibliográfica para conocer qué compuestos volátiles son característicos de las emisiones del poliéster, PVC, caucho, poliuretano, acetato de celulosa y nitrato de celulosa. También se pretende llegar a conocer si son núcleo de las investigaciones relacionadas con la conservación de los plásticos y aquellas que tratan el tema de la contaminación en los museos. Se han localizado un total de veintidos investigaciones que hacen referencia a este tema; diez de ellas desde el punto de vista de la conservación; y las doce restantes sobre la contaminación en los entornos museísticos.

De ellas se extrae que algunos óxidos de azufre, como el dióxido de azufre; óxidos de nitrógeno, como el dióxido de nitrógeno; o ácidos orgánicos e inorgánicos como el ácido sulfúrico, el sulfuro de hidrógeno, ácido nítrico, ácido nitroso, ácido acético, ácido clorhídrico, ácido fórmico y ácido adípico son los tipos de gases más frecuentemente liberados por estos seis plásticos.

Veremos a continuación y de modo individualizado cuales emite cada plástico y sus características más destacables.

#### 2.1.3.1 Poliéster

El poliéster durante su vida útil puede emitir compuestos volátiles ácidos, entre los que se ha detectado el ácido acético (Shashoua, 2008b; Curran *et al.*, 2014).

Además, como ya señalábamos en el punto 2.1.3 *Gases emitidos por este grupo de plásticos y sus características*, estas emisiones pueden ser derivadas de alguno de sus monómeros residuales, ya que la reacción de polimerización del poliéster normalmente no se llegará completar en su totalidad, lo que da lugar a que podamos encontrar entre el 1% y el 3% de monómeros residuales en el polímero final inmediatamente después de su producción. Así, los monómeros con un punto de ebullición superior al ambiental como los de estireno o los de tereftalatos, pueden volatilizarse de manera paulatina del polímero final y es posible detectarlos por su olor (Shashoua, 2008b).

Solamente dos<sup>61</sup> estudios se hacen eco de las emisiones del poliéster, ambos desde la óptica de la conservación de los plásticos como materiales presentes en los Bienes Culturales que señalan a este plástico como fuente de emisiones de ácido acético.

### 2.1.3.2 PVC

El PVC en su proceso de deterioro emite cloruro de hidrógeno o ácido clorhídrico (HCl) en estado gaseoso<sup>62</sup>.

El ácido clorhídrico es un gas ácido fuerte, incoloro y muy corrosivo especialmente en condiciones de humedad relativa alta (Grzywacz, 2006; Ministerio de Cultura y Deporte, 2017); mientras que el cloruro de hidrógeno es un gas ligeramente amarillento, de olor fuerte, tóxico y corrosivo (IPCS CE, 2010).

El PVC se degrada principalmente cuando se somete a temperaturas elevadas, superiores a 120°C, o cuando se expone de forma prolongada a la luz (Williams, 2002); en ambos casos, su alteración trae consigo la liberación de gas de cloruro de hidrógeno o ácido clorhídrico (Thomson, 1986). A esta reacción química se la denomina deshidrocloración (Shashoua, 2008b).

La liberación de cloruro de hidrógeno no implica la ruptura de la cadena del polímero, por lo que no se produce directamente ninguna pérdida significativa en la resistencia del material, aunque sí provoca un aumento de su rigidez (Morgan, 1991). Si bien, al igual que en el caso del nitrato de celulosa y del acetato de celulosa, el contacto del gas de cloruro de hidrógeno emitido acelera la descomposición del propio polímero (reacción autocatalítica) (Morgan, 1991; Williams, 2002; Shashoua, 2008b).

Catorce estudios indican el tipo de contaminantes que libera el PVC en su proceso de degradación; ocho<sup>63</sup> de ellos desde el campo de la conservación-

---

61 *Conservation of plastics. Materials, science, degradation and preservation* (Shashoua, 2008b); *Polymers and volatiles : Using VOC analysis for the conservation of plastic and rubber objects* (Curran y Strlic, 2014).

62 El cloruro de hidrógeno y el ácido clorhídrico tienen la misma fórmula química, HCl; el ácido clorhídrico es cloruro de hidrógeno en solución acuosa.

63 *Conservation of Plastics* (Morgan, 1991); *Display and storage of museum objects containing cellulose nitrate* (Williams, 1997b); *Care of plastics: Malignant plastics* (Williams, 2002); *Conservation of plastics. Materials, science, degradation and preservation* (Shashoua, 2008b); *Does Plastic Art Last Forever?. Not even close. Can a generation of synthetic objects be saved?* (Kean, 2009); *Preservation of Plastic Artefacts in Museum Collections* (Lavédrine,

restauración del plástico como material de obras de arte y los otros seis<sup>64</sup> desde la investigación de los contaminantes ambientales en los museos. Cinco hacen alusión al cloruro de hidrógeno (Morgan, 1991; Shashoua, 2008b; Tsang et al., 2009; Lavédrine, Fournier y Martin, 2012; National Service Park, 2016); otros siete señalan al ácido clorhídrico (Thomson, 1986; Williams, 2002; Pretzel, 2003; Hatchfield, 2004; Coles, 2007; Shashoua, 2008b; Coughlin, 2018); uno menciona ambos (Shashoua, 2008b); y los cuatro restantes son menos específicos y se refieren sólo a cloruros (Thickett y Lee, 2004; Kean, 2009), plastificante (Williams, 1997b) o ácidos (Baker, McCauley y Tsang, 2015).

### 2.1.3.3 Caucho

El caucho, en todas sus presentaciones, emite productos de degradación gaseosos que contienen azufre. Los compuestos liberados más comúnmente son los óxidos de azufre ( $SO_x$  o  $S_+$ ) como el dióxido de azufre ( $SO_2$ ) y ácidos inorgánicos como el ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) y el sulfuro de hidrógeno ( $H_2S$ ).

Los óxidos de azufre son unos de los compuestos químicos más habituales en la contaminación de los museos. El dióxido de azufre se combina fácilmente con el oxígeno atmosférico para formar trióxido de azufre  $SO_3$ ; este último, tan pronto como se forma reacciona con la humedad ambiental como ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ), o en ocasiones como ácido sulfuroso ( $H_2SO_3$ ) (Thomson, 1986; The American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2007).

El dióxido de azufre es en sí mismo un ácido suave; sin embargo el ácido sulfúrico es un químico altamente corrosivo y con un fuerte efecto exotérmico, que una vez aparece es muy difícil de eliminar del aire (Thomson, 1986; Ministerio de Cultura y Deporte, 2017).

También es importante saber que cuando el dióxido de azufre es adsorbido por el hollín o las partículas de carbón presente en objetos sucios, se puede oxidar al igual que en el caso anterior y transformarse en ácido sulfúrico o ácido sulfuroso.

---

Fournier y Martin, 2012); *Challenge of materials? A new approach to collecting modern materials at the Science Museum* (Coles, 2007); *Looking at Plastics. An introduction to caring for plastics* (Coughlin, 2018).

64 *The Museum Environment* (Thomson, 1986); *Materials and their interaction with museum objects* (Pretzel, 2003); *Selection of Materials for the Storage or Display of Museum Objects* (Thickett y Lee, 2004); *Pollutants in the museum environment : practical strategies for problem solving in design, exhibition and storage* (Hatchfield 2004); *Sustaining the Unsustainable: Mitigation and Monitoring for Modern Materials* (Baker, McCauley y Tsang, 2015); *Chapter 4: Museum Collections Environment. En: NPS Museum Handbook* (National Service Park, 2016).

De esta forma, lo más común es que estos compuestos se encuentren en el interior de los museos en su forma ácida, depositándose sobre las superficies de los objetos y causando daños (Grzywacz, 2006).

En cuanto al sulfuro de hidrógeno, es también conocido por ser uno de los agentes químicos que pone en riesgo la conservación de los materiales de museo (Valentín, Muro y Montero, 2010). Se trata de un gas ácido producido por la reducción del azufre, más denso que el aire, incoloro y con un característico olor a huevos podridos (Grzywacz, 2006; Tétreault, 2009).

Además de la potencial emisión de los contaminantes arriba descritos, otro factor a tener en cuenta es que los primeros cauchos que se fabricaron eran altamente sensibles a la oxidación, por lo cual se les añadía en su manufactura estabilizadores. Los primeros estabilizadores eran volátiles y de color amarillo, por esa razón no es aconsejable almacenar los objetos realizados con estos cauchos junto a otros objetos, ya que podrían absorber dichos aditivos dando lugar a manchas amarillas. De hecho, es común encontrar manchas de este color en los papeles y plásticos que fueron utilizados para envolver esos primeros cauchos (Williams, 2002).

Un total de dieciséis estudios afirman que el caucho en su proceso de envejecimiento libera gases que contienen azufre; once<sup>65</sup> de ellos lo hacen desde el campo de la contaminación ambiental en los museos, mientras que los otros cinco<sup>66</sup> lo abordan desde la óptica de la conservación-restauración del plástico como material artístico.

Blades *et al.* (2000), Pretzel (2003), Thickett y Lee (2004), Hatchfield (2004), y Tétreault (2019) señalan al sulfuro de hidrógeno. Mientras que Williams (2002), Lavédrine, Fournier y Martin (2012), y Coughlin (2018) hacen referencia además

---

65 *The Museum Environment* (Thomson, 1986); *Guidelines on pollution control in heritage buildings* (Blades *et al.*, 2000); *Airborne pollutants in Museums, Galleries, and Archives: Risk Assessment, Control Strategies, and Preservation Management* (Tétreault, 2003a); *Materials and their interaction with museum objects* (Pretzel, 2003); *Selection of Materials for the Storage or Display of Museum Objects* (Thickett y Lee, 2004); *Pollutants in the museum environment: practical strategies for problem solving in design, exhibition and storage* (Hatchfield 2004); *Monitoring for Gaseous Pollutants in Museum Environments* (Grzywacz, 2006); *Chapter 21: museums, galleries, archives, and libraries*. (The American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2007); *CCI Notes 15/1 Pollutant* (Tétreault, 2009); *Chapter 4: Museum Collections Environment*. En: *NPS Museum Handbook* (National Service Park, 2016); *Products used in preventive conservation* (Tétreault, 2019).

66 *Conservation of plastics. An introduction* (Morgan, 1991); *Display and storage of museum objects containing cellulose nitrate* (Williams, 1997b); *Care of plastics: Malignant plastics* (Williams, 2002); *Preservation of Plastic Artefacts in Museum Collections* (Lavédrine, Fournier y Martin, 2012); *Looking at Plastics. An introduction to caring for Plastics* (Coughlin, 2018).

a que estos compuestos de azufre reaccionan con el oxígeno y la humedad ambiental produciendo ácido sulfúrico que se deposita en las superficies.

Morgan (1991) y Williams (1997b) coinciden en que puede liberar ácido sulfúrico en estado gaseoso, pero sólo en el caso de la Ebonita y la Vulcanita, al tratarse de cauchos muy vulcanizados.

Thomson (1986) y National Service Park (2016) también advierten de que el caucho vulcanizado puede liberar vapores dañinos como sulfuros volátiles; al igual que Tétreault (2003; 2009), Grzywacz (2006) y The American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (2007) quienes alertan de que el caucho vulcanizado con azufre es una fuente de contaminantes, en concreto, lo consideran un emisor potencial de óxidos de azufre como el dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ).

#### 2.1.3.4 Poliuretano

El poliuretano en su proceso de degradación emite esencialmente compuestos nitrogenados como los óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) o el ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ); y ácidos orgánicos como el ácido acético ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ), el ácido fórmico ( $\text{CH}_2\text{O}_2$ ) y el ácido adípico ( $\text{CH}_2$ )<sub>4</sub>( $\text{CO}_2\text{H}$ )<sub>2</sub>.

Como ya se ha dicho, el poliuretano es un material inestable, especialmente en su presentación en espuma. Su inestabilidad deriva principalmente de los materiales utilizados en su manufactura. Cabe señalar que existen esencialmente dos tipos de poliuretano, los basados en polioles de poliéter y los de polioles de poliéster. A medida que este material se degrada, emite compuestos de bajo peso molecular, productos de degradación o productos residuales de fabricación (Lavédrine, Fournier y Martin, 2012).

Las espumas de poliuretano pueden contener isocianatos y uretanos residuales; así como estirenos, acetatos de vinilo e hidrocarburos que actúan como agentes de expansión. En las espumas de celdas abiertas es común que los monómeros y los agentes de expansión sin reaccionar se liberen dando lugar así a la emisión de estas sustancias que pueden actuar como contaminantes intrínsecos (Hatchfield, 2004).

La emisión de óxidos de nitrógeno se produce debido a la oxidación de los compuestos uretano (Pretzel, 2003). Como ya explicamos en el caso de las emisiones del nitrato de celulosa, cuando hablamos de los óxidos de nitrógeno nos referimos esencialmente al dióxido de nitrógeno, ya que dentro de los compuestos que forman este grupo es el que supone una amenaza real para

el patrimonio. También en este caso tenemos que tener en cuenta que dicho compuesto cuando reacciona con el oxígeno y la humedad ambiental se convierte en ácido nítrico, un ácido fuerte y altamente oxidante.

En cuanto a los ácidos orgánicos, el ácido fórmico puede derivar de la descomposición de varios componentes; mientras que el ácido acético es característico de la degradación de los acetatos de vinilo presentes en la formulación del poliuretano (Thickett y Lee, 2004).

Cinco estudios definen los tipos de contaminantes que libera el poliuretano en su proceso de degradación. Dos de ellos<sup>67</sup> hacen referencia a los gases orgánicos nitrogenados; un tercero<sup>68</sup> concreta un poco más señalando a los óxidos de nitrógeno; un cuarto<sup>69</sup> cita los ácidos orgánicos como el fórmico o el acético; mientras que un quinto<sup>70</sup> hace referencia al ácido adípico.

### 2.1.3.5 Acetato de celulosa

El acetato de celulosa en su proceso de degradación emite gas de ácido acético ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ), también conocido como ácido etanoico, que es un líquido incoloro, altamente tóxico y corrosivo. Por evaporación a 20°C puede alcanzar bastante rápidamente una concentración nociva en el aire (Calvo Manuel, 2003; IPCS CE, 2010; Ministerio de Cultura y Deporte, 2017). Este ácido puede provenir de la oxidación del acetaldehído; sin embargo el riesgo de emisiones directas es mucho más común (Grzywacz, 2006).

La principal reacción de degradación química del acetato de celulosa es la hidrólisis<sup>71</sup>, también conocida como desacetilación. Esta reacción química se acelera por la humedad ambiental y da como resultado la emisión de gas de ácido acético, de característico olor a vinagre, por lo que se utiliza el término "síndrome del vinagre" para denominar a la degradación del acetato de celulosa. Con el tiempo y la pérdida de los grupos acetato, la producción de ácido acético disminuye y el acetato de celulosa se va reduciendo a celulosa (Shashoua, 2008b).

---

67 *Care of plastics: Malignant plastics* (Williams, 2002) y *Preservation of Plastic Artefacts in Museum Collections* (Lavédrine, Fournier y Martin, 2012)

68 *Materials and their interaction with museum objects* (Pretzel, 2003)

69 *Selection of Materials for the Storage or Display of Museum Objects* (Thickett y Lee, 2004)

70 *Products used in preventive conservation* (Tétreault, 2019)

71 Hidrólisis: proceso en el que una molécula se divide bajo la influencia del agua (la hidrólisis significa "disolución por agua" (Albus et al. 2007).

Este gas acidifica las superficies y los ambientes en espacios cerrados; es además muy volátil por lo que se difunde por el espacio de almacenaje y exposición (Williams, 2002).

Al igual que en el nitrato de celulosa y el PVC, la descomposición del polímero es autocatalítica (Morgan, 1991; Keneghan y Quye, 1999), es decir, los propios productos de degradación inducen a una reacción química mayor. Por ello, es importante tener en cuenta que los primeros acetatos de celulosa contienen ácidos residuales derivados de su manufactura, los cuales causan una degradación prematura del material (Morgan, 1991).

Dieciocho estudios se hacen eco de las emanaciones del acetato de celulosa; diez<sup>72</sup> de ellos desde el campo de la conservación-restauración del plástico como material de obras de arte, y los ocho<sup>73</sup> restantes desde el análisis de los contaminantes ambientales en museos. Diecisiete de las investigaciones señalan directamente al gas de ácido acético como principal producto de degradación liberado por el acetato de celulosa en su proceso de descomposición; mientras que el estudio de Keneghan y Quye (1999) es menos concreto, y hace referencia a vapores ácidos en general.

### 2.1.3.6 Nitrato de celulosa

El nitrato de celulosa en su proceso de degradación de manera habitual emite óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) como el dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ) y sus derivados ácidos, el ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) y el ácido nitroso ( $\text{HNO}_2$ ).

---

72 *Conservation of Plastics* (Morgan, 1991); *Display and storage of museum objects containing cellulose nitrate* (Williams, 1997b); *Part 2: Degradation Causes*. En: *Plastics – Collecting and Conserving* (Keneghan y Quye, 1999); *Care of plastics: Malignant plastics* (Williams, 2002); *Challenge of materials? A new approach to collecting modern materials at the Science Museum* (Coles 2007); *Conservation of plastics. Materials, science, degradation and preservation* (Shashoua, 2008b); *Does Plastic Art Last Forever?. Not even close. Can a generation of synthetic objects be saved?* (Kean, 2009); *Degradation of Lumarith' Cellulose Acetate. Examination and chemical analysis of a salesman's simple kit* (Tsang et al., 2009); *Preservation of Plastic Artefacts in Museum Collections* (Lavédrine, Fournier y Martin, 2012); *Looking at Plastics. An introduction to caring for plastics* (Coughlin, 2018).

73 *Guidelines on pollution control in heritage buildings* (Blades et al., 2000); *Airborne pollutants in Museums, Galleries, and Archives: Risk Assessment, Control Strategies, and Preservation Management* (Tétreault, 2003a); *Pollutants in the museum environment : practical strategies for problem solving in design, exhibition and storage* (Hatchfield, 2004); *Monitoring for Gaseous Pollutants in Museum Environments* (Grzywacz, 2006); *Chapter 21: museums, galleries, archives, and libraries* (The American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2007); *CCI Notes 15/1 Pollutant* (Tétreault, 2009); *Chapter 4: Museum Collections Environment*. En: *NPS Museum Handbook* (National Service Park, 2016); *Products used in preventive conservation* (Tétreault, 2019).

A pesar de que los óxidos de nitrógeno forman una larga lista, sólo el dióxido de nitrógeno, también conocido como peróxido de nitrógeno, supone una amenaza significativa para las obras de arte<sup>74</sup>.

El dióxido de nitrógeno es soluble en agua, por lo que en contacto con la humedad ambiental se convierte fácilmente en una mezcla de sus análogos ácidos (ácido nitroso y ácido nítrico), la cual a su vez reacciona con el oxígeno formando un ácido fuerte, el ácido nítrico (Thomson, 1986; Grzywacz, 2006; The American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2007). El ácido nítrico, además de un ácido fuerte es un agente oxidante, por lo que podemos considerar que se trata de una sustancia aún más peligrosa que el ácido sulfúrico (Thomson, 1986).

Por tanto, a medida que este tipo de plástico se degrada libera nitratos en forma de óxidos de nitrógeno, los cuales al reaccionar con la humedad ambiental dan lugar a ácidos, siendo el más común el ácido nítrico. Este problema es más acusado en el nitrato de celulosa utilizado para la elaboración de películas, que en el empleado en la elaboración de objetos tridimensionales, debido a que el primero tiene un grado de nitración más alto. En cualquier caso, se debe prestar atención a la fórmula utilizada para la elaboración de objetos, ya que igualmente es considerada potencialmente peligrosa (Hatchfield, 2004). Asimismo, la descomposición del polímero es autocatalítica (Keneghan y Quye, 1999; Tétreault, 2003a; Shashoua, 2008b), es decir, si no se eliminan los productos de degradación emanados por el propio nitrato de celulosa, estos aceleran la reacción y contribuyen a que sea aún mayor (Shashoua, 2008b).

Además del grado de nitración influyen otros factores en la mayor o menor virulencia de las emisiones de este material. Es el caso del nitrato de celulosa que no se ha lavado adecuadamente en su proceso de manufactura. Se ha comprobado que cuando existen residuos de óxidos de azufre en una proporción superior a 5mg./g., estos pueden acelerar la producción de dióxido de nitrógeno (Stewart et al., 1996).

Otro de los factores que parece influir es la presencia de aditivos, en concreto, las cargas de óxido de zinc. Parece que la utilización de este tipo de cargas puede ralentizar la degradación, ya que actúan como "amortiguador", al neutralizar los ácidos (Ibíd.).

---

74 El monóxido de nitrógeno (NO), pese a que no es tan reactivo como el dióxido de nitrógeno como para suponer una amenaza en sí mismo, suele ser tenido en cuenta cuando hablamos de contaminación atmosférica debido al importante papel que desempeña en la formación de ozono. Sin embargo va a ser excluido de esta investigación ya que no es emitido por el nitrato de celulosa (Thomson, 1986).

Son veinte los estudios encontrados que enumeran los gases más frecuentemente emitidos por el nitrato de celulosa; ocho<sup>75</sup> de ellos desde el campo de la conservación-restauración y los otros doce<sup>76</sup> desde el área que trata la calidad del aire en los museos. Todos ellos coinciden en que este material libera potencialmente óxidos de nitrógeno en su proceso de deterioro; Blades et al., (2000), Tétreault (2003a), Hatchfield (2004) y Shashoua (2008b) precisan algo más señalando al dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>).

Diez estudios mencionan la emanación de vapores ácidos, en concreto Morgan (1991), Keneghan y Quye (1999), Tétreault (2003a), Hatchfield (2004), Coles (2007), Shashoua (2008b) y Coughlin (2018) apuntan al ácido nítrico; mientras que Keneghan and Quye (1999), Tétreault (2003a) y The American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (2007) hacen referencia al ácido nítrico.

#### 2.1.4 ¿A qué y a quiénes afecta?

En la actualidad se considera que todos estos contaminantes emitidos por el poliéster, el PVC, el caucho, el poliuretano, el acetato de celulosa y el nitrato de celulosa se encuentran de forma más habitual y son especialmente dañinos en su forma ácida; y pueden suponer un peligro potencial, tanto para algunos materiales, como para las personas que se encuentran en su entorno próximo (Grzywacz, 2006).

Sobre la exposición de humanos a contaminantes de este tipo, cabe destacar

---

75 *Conservation of Plastics* (Morgan, 1991); *Display and storage of museum objects containing cellulose nitrate* (Williams, 1997b); *Part 2: Degradation Causes. En: Plastics – Collecting and Conserving* (Keneghan y Quye, 1999); *Care of plastics: Malignant plastics* (Williams, 2002); *Challenge of materials? A new approach to collecting modern materials at the Science Museum* (Coles, 2007); *Conservation of plastics. Materials, science, degradation and preservation* (Shashoua, 2008b); *Preservation of Plastic Artefacts in Museum Collections* (Lavédrine, Fournier y Martin, 2012); *Looking at Plastics. An introduction to caring for plastics* (Coughlin, 2018).

76 *The Museum Environment* (Garry Thomson, 1986); *Guidelines on pollution control in heritage buildings* (Blades et al. 2000); *Airborne pollutants in Museums, Galleries, and Archives: Risk Assessment, Control Strategies, and Preservation Management* (Tétreault, 2003); *Materials and their interaction with museum objects* (Pretzel, 2003); *Pollutants in the museum environment: practical strategies for problem solving in design, exhibition and storage* (Hatchfield, 2004); *Selection of Materials for the Storage or Display of Museum Objects* (Thickett y Lee, 2004); *Monitoring for Gaseous Pollutants in Museum Environments* (Grzywacz, 2006); *Chapter 21: museums, galleries, archives, and libraries* (The American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2007); *CCI Notes 15/1 Pollutant* (Tétreault, 2009); *Chapter 4: Museum Collections Environment. En: NPS Museum Handbook* (National Service Park, 2016); *Products used in preventive conservation* (Tétreault, 2019).

que las personas son más resilientes que las obras de arte. Esto se debe a que los organismos vivos, tienen sistemas de defensa y son capaces de auto-repararse en respuesta a ciertos ataques.

En cambio, cualquier interacción entre un contaminante y un material artístico puede causar un daño irreversible, debido a que se producen cambios químicos (Ryhl-Svendsen, 2001; Grzywacz, 2006).

Muchos autores aseguran que los niveles de seguridad para obras de arte deben establecerse en partes por billón (ppb), mientras que las regulaciones para humanos los establecen en partes por millón (ppm). Por otro lado, también es importante tener presente que no todos los compuestos potencialmente nocivos para la salud humana, lo son necesariamente para las obras de arte y viceversa (Nazaroll y Cass, 1991; Grzywacz, 2006; Sánchez Cabrero *et al.*, 2015).

#### 2.1.4.1 Materiales sensibles a la acción de compuestos volátiles

##### 2.1.4.1.1 Metales

La mayoría de los metales quedan visiblemente alterados cuando se someten a la acción de los compuestos volátiles emitidos por el caucho, el nitrato de celulosa, el acetato de celulosa, el PVC, el poliuretano y el poliéster.

Los compuestos de azufre, como el dióxido de azufre, el ácido sulfúrico y el sulfuro de hidrógeno, que emite el caucho reaccionan químicamente con una amplia variedad de metales, especialmente con la plata y el cobre, causando en ellos diversos deterioros (Blades, 1995; National Service Park, 2016).

En el caso de la plata, los compuestos de azufre en concentraciones bajas, en especial el sulfuro de hidrógeno, dan lugar a una película de sulfuro de plata que altera la superficie de este metal confiriéndole un aspecto "empañado" y ennegrecido (Thomson, 1986; Tétreault, 2003a, 2009; Hatchfield, 2004; Thickett y Lee, 2004; Grzywacz, 2006). En concentraciones elevadas, la formación de sulfuros puede producir la corrosión de la plata, llegando incluso a destruirla convirtiéndola en mineral.

Las aleaciones de plata con otros metales, a excepción del oro, son generalmente menos resistentes a la corrosión que la plata pura. En consecuencia, la eliminación del azufre ambiental sería imprescindible para su correcta conservación, ya que las limpiezas de este metal son siempre abrasivas, y por lo tanto, si se realizan de forma reiterada pueden provocar la pérdida de información o detalles grabados que pudiera contener, llegando incluso a la desaparición total si la

capa es delgada como en el caso del pan de plata (Tétreault, 2009).

En cuanto al cobre, los contaminantes que contienen azufre, al igual que en el caso de la plata, pueden provocar su deslustre otorgándole un aspecto "empañado" cuando se encuentran en concentraciones bajas. A concentraciones altas, se produce una reacción química entre el cobre y los compuestos de azufre, que da lugar a productos de degradación como el sulfuro de cobre, el cual se manifiesta en un primer momento en forma de manchas negras superficiales que pueden evolucionar hasta llegar a la corrosión de este metal dando lugar al característico color verde (Morgan, 1991; Keneghan y Quye, 1999; Tétreault, 2003a, 2009; Hatchfield, 2004; Thickett y Lee, 2004; Grzywacz, 2006).

Cabe también hacer mención al oro, ya que aunque el oro de alta pureza es resistente a la mayoría de contaminantes, se trata de un material muy blando y maleable que para su uso en objetos y joyería se alea, entre otros, con la plata y el cobre; y por consiguiente se deben considerar los efectos de los contaminantes sobre los materiales asociados, especialmente cuando la aleación es de baja pureza (Thickett and Lee, 2004).

El dióxido de azufre puede producir daños tales como el deslustre y la corrosión, además de en los ya mencionados con anterioridad, en otros metales como el aluminio, hierro, acero y las aleaciones de bronce (Thomson, 1986; Grzywacz, 2006). El hierro es el metal que más sufre la acción de este contaminante oxidándose hasta corroerse electrolíticamente, es decir, en presencia de humedad y un electrolito (todas las sales solubles, ácidos y alcalis forman electrolitos) (Thomson, 1986). Los productos de corrosión más característicos del hierro son de color marrón-rojizo (Keneghan y Quye, 1999).

El ácido sulfúrico también deslustra y corroe los metales, especialmente a aquellos que contienen cobre, acelerando su oxidación y pudiendo llegar a producir daños severos (Morgan, 1991; Blades, 1995; National Service Park, 2016).

El sulfuro de hidrógeno reacciona con el plomo, produciendo al igual que en los casos anteriores desde el deslustre del metal hasta su corrosión; además puede tener un efecto sinérgico con el dióxido de nitrógeno que corroe el zinc (Thickett y Lee, 2004; Grzywacz, 2006). El plomo es extremadamente sensible a los ácidos volátiles y sus productos de degradación bastante característico; cuando se corroe podemos observar en su superficie una capa cristalina blanca propia de las sales de plomo. Esta corrosión puede llevar a la completa desintegración del objeto resumiéndolo a un montón de productos de degradación (Hatchfield, 2004).

El nitrato de celulosa emite principalmente compuestos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ )



Figura 32: mancha verde en el lóbulo de la oreja ocasionada por la oxidación de los pendientes de cobre causada por la acción del ácido clorhídrico derivado del PVC de la Barbie

como el dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ) y el ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ). Como ya hemos explicado el dióxido de nitrógeno al entrar en contacto con la humedad ambiental forma una mezcla de ácido nitroso y ácido nítrico que al entrar en contacto con el oxígeno da lugar a ácido nítrico. Este ácido es tan fuerte como el sulfúrico, además de un agente oxidante; por tanto parece lógico pensar que puedan aparecer los mismos problemas que ocasionan el dióxido de azufre y el ácido sulfúrico, incluso alguno más debido al poder oxidante que tiene el ácido nítrico (Thomson, 1986; Grzywacz, 2006).

Estos datos se han contrastado con los obtenidos en la revisión bibliográfica que trata sobre los efectos adversos de los compuestos de nitrógeno sobre los distintos materiales a preservar<sup>77</sup>. La comparación ha permitido establecer la coincidencia absoluta entre resultados, corroborando que los materiales afectados por el dióxido de nitrógeno y el ácido nítrico y las alteraciones son prácticamente iguales que los ocasionados por el dióxido de azufre y el ácido sulfúrico.

El acetato de celulosa y el poliéster a lo largo de su vida útil emiten ácido acético que puede deslustrar y corroer los metales (Keneghan y Quye, 1999; Williams, 2002; Shashoua, 2008b; Lavédrine, Fournier y Martin, 2012; National Service Park, 2016), si bien la acción de este contaminante es claramente más virulenta con los no nobles (Grzywacz, 2006).

El plomo puro es particularmente vulnerable a este ácido orgánico, y su producto de degradación más común es el carbonato básico de plomo (Williams, 1997a; Tétreault, 2003a, 2009; Hatchfield, 2004; Thickett y Lee, 2004; Grzywacz, 2006). Otros datos a tener en cuenta es que las aleaciones de plomo con cobre o estaño son más resistentes a la corrosión que el plomo puro; y los bronce con una gran proporción de plomo pueden contener partículas grandes de este material las cuales son susceptibles de corroerse de forma independiente (Thickett y Lee, 2004).

Igualmente, el ácido acético puede suponer un gran peligro para metales como el cobre y sus aleaciones (Blades, 1995; Tétreault, 2003a; Thickett y Lee, 2004; Grzywacz, 2006); el zinc (Tétreault, 2003a; Thickett y Lee, 2004; Grzywacz,

---

<sup>77</sup> Las investigaciones revisadas han sido: *Conservation of Plastics* (Morgan, 1991), *Measuring pollution in the museum environment* (Blades, 1995), *Plastics – Collecting and Conserving* (Keneghan and Quye, 1999), *Airborne Pollutants in Museums, Galleries, and Archives: Risk Assessment and Control Strategies* (Tétreault, 2003a), *Pollutants in the museum environment: practical strategies for problem solving in design, exhibition and storage* (Hatchfield, 2004), *Selection of Materials for the Storage or Display of Museum Objects*, (Thickett and Lee, 2004), *The Conservation of Plastics* (The Plastics Historical Society, 2015) y *Monitoring for Gaseous Pollutants in Museum Environments* (Grzywacz, 2006).

2006); el hierro (Williams, 1997a; Keneghan y Quye, 1999; Tétreault, 2003a); y el níquel (Keneghan y Quye, 1999; Tétreault, 2003a).

Este ácido también es capaz de corroer el magnesio (Green y Thickett, 1991), el cadmio (Rance y Cole, 1958; Tétreault, 2003a), el latón y el acero (Tétreault, 2003a).

El cloruro de hidrógeno, el contaminante gaseoso comunmente emitido por el PVC, puede atacar igualmente a diversos metales como el cobre, aluminio, hierro y zinc. El aluminio es un metal bastante estable debido a que posee un película de óxido de aluminio que lo protege; sin embargo, la contaminación por cloruro de hidrógeno altera esta capa de óxido haciéndolo vulnerable. Mientras que las aleaciones de aluminio con otros metales como el cobre tienen una resistencia a la corrosión muy reducida (Thickett y Lee, 2004). En su versión ácida (ácido clorhídrico) también puede suponer una amenaza para los metales, provocando desde su deslustre hasta la corrosión (Keneghan y Quye, 1999; Hatchfield, 2004; National Service Park, 2016).

De la revisión cuyo objetivo era conocer qué gases desprenden los plásticos ha permitido concluir que los óxidos de nitrógeno, el ácido nítrico, el ácido acético, el ácido fórmico y el ácido adípico son los contaminantes aerotransportados más habituales desprendidos por el poliuretano.

Los materiales susceptibles de ser atacados por los óxidos de nitrógeno y el ácido nítrico han sido ya descritos en el apartado del nitrato de celulosa; mientras que la relación de los materiales más sensibles a la acción del ácido acético la podemos ver en el apartado del acetato de celulosa y del poliéster; los que pueden ser atacados por el ácido fórmico son los mismos que los del ácido acético, ya que ambos ácidos orgánicos causan problemas similares. En cuanto al ácido adípico, sin descartar que cause los mismos daños que el resto de ácidos orgánicos, sólo se tiene constancia de que provoca corrosión en los metales (Tétreault, 2019).

Por tanto, podemos afirmar que las emisiones derivadas del poliuretano pueden producir daños en metales como la plata, el cobre, el oro de baja pureza, el aluminio, el hierro, el acero, las aleaciones de bronce, el plomo, el níquel, el zinc, el magnesio, el cadmio y el latón.

#### 2.1.4.1.2 Materiales celulósicos

Los materiales celulósicos son sensibles a la acción de los gases contaminantes emitidos por los seis tipos de plásticos que venimos señalando como nocivos, por lo que pueden verse afectados por ellos.

Los compuestos de azufre que emite el caucho en su proceso de degradación como el ácido sulfúrico o el dióxido de azufre, incluso en concentraciones bajas atacan a la mayoría de los materiales celulósicos como el papel, algodón o lino. Una excepción es la madera que pese a tener un alto contenido de celulosa, por lo general no es atacada por estos contaminantes, de no ser que se trate de una lámina muy fina. En el caso del papel, se debe tener en cuenta que la calidad del mismo influye de forma directa en su nivel de sensibilidad; deteriorándose a mayor velocidad los de menor calidad, como el papel prensa, que los de buena calidad como el papel de trapos. Esto se debe a que los primeros contienen más materiales ácidos derivados de su manufactura y una mayor proporción de lignina, compuesto el cual es altamente sensible a este tipo de contaminantes (Thomson, 1986; Thickett y Lee, 2004). El ácido despolimeriza la estructura celulósica debilitando los papeles (Grzywacz, 2006); daño que en un principio puede ser imperceptible, pero que a medida que se agrava se manifiesta volviendo el papel frágil y quebradizo, e incluso decolorándolo en algunas ocasiones. Mientras que en los textiles celulósicos como el lino y el algodón, los contaminantes gaseosos derivados del caucho debilitan y ensucian sus fibras, reduciendo su resistencia (Blades, 1995; Thickett y Lee, 2004; National Service Park, 2016).

Thomson (1986), Keneghan y Quye, (1999), Tétreault (2003a, 2009a), Hatchfield (2004), y Thickett y Lee (2004) nos advierten de que los óxidos de nitrógeno derivados del nitrato de celulosa, al igual que en el caso del caucho, pueden degradar los materiales celulósicos como el papel, el algodón o el lino disminuyendo su resistencia, incluso en concentraciones bajas.



Figura 33: papel en estado de descomposición debido a las emisiones de ácido acético desprendidas por los mangos de estos cuchillos de los años cincuenta

El acetato de celulosa y el poliéster emanan principalmente ácido acético; este contaminante supone una amenaza para la estabilidad del papel y el algodón (Keneghan y Quye, 1999; Williams, 2002; Tétreault, 2003a; Thickett y Lee, 2004; Lavédrine, Fournier y Martin, 2012). Su potencia puede llegar incluso a desintegrarlos, debido a que la hidrólisis ácida de la celulosa que se forma en dichos materiales celulósicos, generada por la acción del ácido acético en presencia de humedad, reduce su grado de polimerización volviéndolos frágiles y quebradizos (Grzywacz, 2006).

Keneghan y Quye (1999) también señalan que cloruro de hidrógeno frecuentemente emitido por el PVC puede atacar a la celulosa de los papeles, llegando incluso a desintegrarla.

El poliuretano emite principalmente óxidos de nitrógeno y ácidos orgánicos como el acético, fórmico y adípico. La acción de los tres primeros, óxidos de nitrógeno, ácido acético y ácido fórmico, sobre los materiales celulósicos ha sido ya descrita en los apartados correspondientes al nitrato de celulosa, acetato de celulosa y poliéster; mientras que en el caso del ácido adípico, aunque es muy probable que cause los mismos daños que el resto de ácidos orgánicos, sólo se tiene constancia de que provoca daños en los metales. Por todo ello, se puede afirmar que las emisiones derivadas del poliuretano pueden suponer una amenaza para la conservación de las obras de arte realizadas en papel, lino y/o algodón.

#### 2.1.4.1.3 Materiales fotográficos

Algunos componentes de las reproducciones y películas fotográficas resultan altamente sensibles a los compuestos de degradación gaseosos emitidos por el caucho y el PVC a lo largo de su vida útil.

Los óxidos de azufre derivados de la descomposición del caucho reaccionan con las sales de plata de las fotografías oscureciéndolas. En su versión ácida, los gases de azufre descomponen la gelatina, debilitan los papeles y aceleran el deterioro de las películas realizadas en ésteres de celulosa; además de provocar el empaldecimiento de ciertos tintes de fotografías a color (Blades, 1995). En el caso de las fotografías en blanco y negro pueden verse afectadas tanto por los óxidos de azufre, como por los compuestos de azufre reducidos, causando reflejos plateados y *foxing* que alteran así mismo la percepción de la imagen.

El cloruro de hidrógeno que emite el PVC, igualmente puede atacar los materiales fotográficos, produciendo efectos similares a los de los óxidos de azufre (Hatchfield, 2004).

#### 2.1.4.1.1 Materiales de carbonato de calcio

El carbonato de calcio puede ser tanto de origen natural como artificial; existen multitud de variedades, siendo las más comunes la creta blanca (tiza) natural; la creta precipitada ( $\text{CaCO}_3$ ) sintética; la cal blanca o cal de San Juan, producida por la calcinación del  $\text{CaCO}_3$ ; la cáscara blanca, producida por caparazones marinos; el travertino; el mármol; la piedra caliza; y la dolomita. También pueden contener carbonato cálcico la arenisca alcalina, las conchas, el nácar y el coral (Thomson, 1986; Blades, 1995; Calvo Manuel, 2003; Tétreault, 2003a; Grzywacz, 2006).

Todos los materiales compuestos por carbonato de calcio pueden sufrir daños por la acción de las emisiones del caucho, el nitrato de celulosa, el acetato de celulosa y el poliuretano, las cuales provocan la aparición de eflorescencias en su superficie.

En el apartado dedicado a los gases que emite cada plástico, veíamos cómo el dióxido de azufre emanado por el caucho reacciona con el oxígeno y la humedad ambiental convirtiéndose en ácido sulfúrico; un ácido altamente nocivo para el carbonato de calcio. De ahí, que el dióxido de azufre sea considerado el agente de deterioro más perjudicial para este material en todas sus formas presentes en la naturaleza, una vez transformadas en obras de arte.

Igualmente puede verse alterado por la acción de los óxidos de nitrógeno y sus homólogos ácidos provenientes del envejecimiento del nitrato de celulosa; así como por la del ácido acético emitido por el acetato de celulosa y el poliéster. Es este último es el que ha sido señalado como el causante de la degradación de objetos patrimoniales realizados con cáscaras de huevo (Tétreault, 2003a), caracolas, conchas, corales, piedras calizas, fósiles ricos en calcio, etc. (Blades, 1995; Williams, 1997b; Tétreault, 2003a, 2009; Grzywacz, 2006); al ser todos ellos compuestos a base de carbonato de calcio. Además los objetos realizados en este material con alto contenido de sales solubles son especialmente sensibles, ya que al reaccionar con el ácido acético pueden formar compuestos mixtos como cloruros que se manifiestan en forma de depósitos cristalinos de apariencia similar a los copos de nieve (Thickett y Lee, 2004; Tétreault, 2009).

Hemos visto como las emisiones derivadas del proceso de degradación del poliuretano coinciden con las del nitrato de celulosa, el acetato de celulosa y el poliéster, y por consiguiente, podemos afirmar que este plástico, el poliuretano, es también una fuente de emisiones perjudiciales para la conservación de los objetos con base de carbonato de calcio.

#### 2.1.4.1.5 Vidrio

El vidrio es un material sensible al dióxido de azufre y el ácido sulfúrico emitido por el caucho (Blades, 1995); a los óxidos de nitrógeno y el ácido nítrico derivados de la degradación del nitrato de celulosa y el poliuretano; así como a los ácidos orgánicos emitidos por el acetato de celulosa y el poliéster (ácido acético) y el poliuretano (ácido acético y ácido fórmico)<sup>78</sup>. El ácido acético es especialmente virulento con los vidrios que ya se encuentran deteriorados, por ejemplo con los que sufren *weeping glass*<sup>79</sup> (Schmidt, 1992; Blades, 1995; Grzywacz, 2006); y puede también reaccionar con los esmaltes causando su deterioro.

Los signos de degradación más comunes son la pérdida de transparencia y de brillo, las exudaciones y los craquelados (Grzywacz, 2006).

#### 2.1.4.1.6 Cerámica

Las obras de arte realizadas en cerámica son sensibles a las emisiones de los gases contaminantes procedentes de los plásticos estudiados; siendo las eflorescencias la manifestación más común de los daños causados por dichas emisiones.

La cerámica, especialmente la de baja temperatura se ve afectada por la acción tanto de los óxidos de azufre (Blades, 1995; Grzywacz, 2006; National Service Park, 2016), como de los compuestos de azufre reducidos (Grzywacz, 2006); ambos característicos de la degradación del caucho. Este material también puede verse dañado al entrar en contacto con los óxidos de nitrógeno emitidos por el nitrato de celulosa (Thomson, 1986; Blades, 1995; Grzywacz, 2006; National Service Park, 2016) y el poliuretano; o el ácido acético producido por el acetato de celulosa, el poliéster y el poliuretano (Allen *et al.*, 1988; Blades, 1995; Tétreault, 2009; National Service Park, 2016). Así como, por el cloruro de hidrógeno derivado del proceso de descomposición del PVC, que afecta especialmente a las cerámicas porosas o el ácido fórmico que puede emanar el poliuretano (Hatchfield, 2004; National Service Park, 2016).

---

78 Al igual que en el caso de los materiales celulósicos aunque es muy probable que el ácido adípico emanado por el poliuretano cause los mismos daños que el resto de ácidos orgánicos, no se han hallado evidencias científicas que lo demuestren.

79 Deterioro característico del vidrio. La descomposición de este material va generalmente acompañada de la liberación de álcalis, que son higroscópicos y absorben la humedad y dióxido de carbono de la atmósfera, formando una película opaca y frágil; u ocasionando la formación de gotas que lo descomponen (el vidrio que llora o suda), a este último fenómeno es al que denominamos *weeping glass*.

#### 2.1.4.1.7 Materiales proteicos

Los materiales proteicos como el cuero, las pieles, la seda o la lana pueden deteriorarse por la acción de los gases contaminantes emitidos por el caucho, el nitrato de celulosa y el poliuretano.

El efecto dañino de los compuestos de azufre derivados de la degradación del caucho como el dióxido de azufre sobre el cuero y las pieles ha sido documentado a lo largo de la historia; por lo que se sabe que provoca agrietamientos, pulverulencia y *red rot* especialmente en los que han sido curtidos mediante el sistema vegetal (Thomson, 1986; Tétreault, 2009). La seda y la lana también sufren los efectos de este contaminante en forma de pérdida de resistencia, siendo más vulnerable la primera (Thomson, 1986). Asimismo, los compuestos de azufre reducidos afectan igualmente a los cueros y pieles (Grzywacz, 2006).

Mientras que los óxidos de nitrógeno emanados por el nitrato de celulosa y el poliuretano pueden deteriorar además al cuero (Grzywacz, 2006; Tétreault, 2009), la seda (Mandal y Majumdar, 1993) y la lana (Thomson, 1986; Mandal y Majumdar, 1993).

#### 2.1.4.1.8 Tintes, pigmentos, pinturas

Los óxidos de azufre y el ácido sulfúrico producidos por la degradación del caucho están directamente relacionados con el cambio de color de algunos pigmentos inorgánicos como el albayalde, pigmento blanco a base de plomo, que se convierte en sulfato de plomo ennegreciéndose (Harley, 1982; Daniels y Thickett, 1992; Hatchfield, 2004; Grzywacz, 2006; Tétreault, 2009). Otros de los pigmentos que son susceptibles a ennegrecer debido a la reacción de los sulfatos<sup>80</sup> son el rojo de plomo, amarillo de plomo-estaño, amarillo de cromo, cardenillo, naranja de cromo, verde esmeralda y rojo de cromo. Estas reacciones habitualmente son irreversibles (Blades, 1995; Grzywacz, 2006).

También provocan el desvanecimiento de los tintes de acuarelas, textiles, etc. (Yoshizumi *et al.*, 1991; Williams, Grosjean y Grosjean, 1993; Grosjean, Grosjean y Williams, 1994; Tétreault, 2009).

Asimismo los compuestos de azufre reducidos, producto de la degradación del caucho, pueden oscurecer los pigmentos de plomo; afectando tanto a los

---

80 Del lat. *sulphur* 'azufre'y -ato<sup>2</sup>./1. m. Quím. Sal mineral u orgánica del ácido sulfúrico. (RAE 2018)

carbonatos (blanco de plomo), como a los óxidos (rojo de plomo) (Grzywacz, 2006).

Dichos compuestos de azufre también pueden afectar a la estabilidad de las pinturas y causar en ellas decoloración y erosión superficial (Blades, 1995; National Service Park, 2016).

Por último, conviene saber que la acción de los óxidos de nitrógeno emitidos por el nitrato de celulosa y el poliuretano puede ser nociva sobre algunos tintes y pigmentos (Thomson, 1986; Tétreault, 2003a, 2009; Hatchfield, 2004; Grzywacz, 2006; National Service Park, 2016).

#### 2.1.4.1.9 Tejidos y polímeros sintéticos

Algunos polímeros sintéticos tampoco se libran del efecto dañino de los gases contaminantes producidos por el caucho, el nitrato de celulosa, el acetato de celulosa, el poliéster y el poliuretano.

El dióxido de azufre procedente del caucho ataca a la mayor parte de los tejidos sintéticos, pero el efecto sobre ellos no es muy notable comparado con el deterioro normal que se produce por la acción de otros factores como el aire y la luz, por lo que no se tiene en consideración. Si bien existen excepciones como el nylon, que sufre una degradación acelerada incluso a niveles bajos; y el rayón, que al tratarse de algodón reconstituido es tan sensible como cualquier otra forma de celulosa (Thomson, 1986). Estos dos tejidos sintéticos también pueden verse afectados por la acción de los óxidos de nitrógeno característicos de la degradación de nitrato de celulosa y el poliuretano (Mandal y Majumdar, 1993).

Por último, señalar cómo el ácido acético emitido por el acetato de celulosa, el poliéster y el poliuretano también puede dañar a otros polímeros sintéticos como el PMMA y el poliestireno (Fenn, 1995).

#### 2.1.4.1.10 Piedras

Respecto a las piedras, algunas variedades especialmente las empleadas para construcción en interior, pueden sufrir alteraciones como la erosión superficial y la decoloración (Grzywacz, 2006; National Service Park, 2016) por efecto de los compuestos de azufre reducidos derivados del caucho, como el sulfuro de hidrógeno.

| MATERIAL SENSIBLE  | PLÁSTICO EMISOR                          | CONTAMINANTE EMITIDO   |
|--|--|--|
| <p>METALES</p> <p>Plata<br/>Cobre<br/>Oro de baja pureza<br/>Aluminio<br/>Hierro<br/>Acero<br/>Bronce<br/>Plomo<br/>Zinc</p> | <p>Caucho</p>                            | <p><u>Óxidos de azufre (SO<sub>x</sub> o S<sup>+</sup>):</u><br/>Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)</p> <p><u>Ácidos:</u><br/>Ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)<br/>Sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S)</p>  |
|  | <p>Nitrato de celulosa</p>               | <p><u>Óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>):</u><br/>Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>)</p> <p><u>Ácidos:</u><br/>Ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>)</p>  |
| <p>Plomo<br/>Bronce<br/>Cobre<br/>Zinc<br/>Hierro</p>  | <p>Acetato de celulosa<br/>Poliéster</p> | <p>Ácido acético (CH<sub>3</sub>COOH)</p>  |
| <p>Cobre<br/>Aluminio</p>  | <p>PVC</p>                               | <p>Cloruro de hidrógeno/ácido clorhídrico (HCl)</p>  |
| <p>Plata<br/>Cobre<br/>Oro de baja pureza<br/>Aluminio<br/>Hierro<br/>Acero</p>  | <p>Poliuretano</p>                       | <p><u>Compuestos nitrogenados:</u><br/>Óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>)<br/>Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>)</p> <p><u>Ácidos:</u><br/>Ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>)<br/>Ácido acético (CH<sub>3</sub>COOH)<br/>Ácido fórmico (CH<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)<br/>Ácido adípico (CH<sub>2</sub>)<sub>4</sub>(CO<sub>2</sub>H)<sub>2</sub></p> |

Tabla 1: metales sensibles y contaminantes emitidos por los plásticos

| MATERIAL SENSIBLE         | PLÁSTICO EMISOR                  | CONTAMINANTE EMITIDO  |
|---------------------------|----------------------------------|---|
| MATERIALES<br>CELULÓSICOS | Papel<br>Algodón<br>Lino         | <u>Óxidos de azufre (SO<sub>x</sub> o S+)</u> :<br>Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )<br><br><u>Ácidos:</u><br>Ácido sulfúrico (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )  |
|                           | Nitrato de celulosa              | <u>Óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>)</u> :<br>Dióxido de nitrógeno (NO <sub>2</sub> )<br><br><u>Ácidos:</u><br>Ácido nítrico (HNO <sub>3</sub> )   |
| Papel<br>Algodón          | Acetato de celulosa<br>Poliéster | Ácido acético (CH <sub>3</sub> COOH)  |
| Papel                     | PVC                              | Cloruro de hidrógeno/ ácido clorhídrico (HCl)   |
| Papel<br>Algodón<br>Lino  | Poliuretano                      | <u>Compuestos nitrogenados:</u><br><u>Óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>)</u><br>Dióxido de nitrógeno (NO <sub>2</sub> )<br><br><u>Ácidos:</u><br>Ácido nítrico (HNO <sub>3</sub> )<br>Ácido acético (CH <sub>3</sub> COOH)<br>Ácido fórmico (CH <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ) |

Tabla 2: materiales celulósicos sensibles y contaminantes emitidos por los plásticos

| MATERIAL SENSIBLE       |  | PLÁSTICO EMISOR | CONTAMINANTE EMITIDO  |
|-------------------------|--|-----------------|---|
| MATERIALES FOTOGRÁFICOS | Fotografía en blanco y negro   | Caucho          | <u>Óxidos de azufre (SO<sub>x</sub> o S<sup>+</sup>):</u><br>Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )<br><br><u>Ácidos:</u><br>Ácido sulfúrico (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )<br>Sulfuro de hidrógeno (H <sub>2</sub> S) |
|                         | Sales de plata<br><br>Gelatina fotográfica<br><br>Películas de éster de celulosa<br><br>Tintes de fotografía a color |                 |   |
|                         |  | PVC             | Cloruro de hidrógeno/ ácido clorhídrico (HCl)   |

Tabla 3: materiales fotográficos sensibles y contaminantes emitidos por los plásticos

| MATERIAL SENSIBLE                 |  | PLÁSTICO EMISOR     | CONTAMINANTE EMITIDO   |
|-----------------------------------|--|---------------------|--|
| MATERIALES DE CARBONATO DE CALCIO |  | Caucho              | <u>Óxidos de azufre (SO<sub>x</sub> o S<sup>+</sup>):</u><br>Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )<br><br><u>Ácidos:</u><br>Ácido sulfúrico (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) |
|                                   |  | Nitrato de celulosa | <u>Óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>):</u><br>Dióxido de nitrógeno (NO <sub>2</sub> )<br><br><u>Ácidos:</u><br>Ácido nítrico (HNO <sub>3</sub> )                           |
|                                   |  | Acetato de celulosa | Ácido acético (CH <sub>3</sub> COOH)   |
|                                   |  | Poliéster           |  |

Tabla 4: materiales de carbonato de calcio sensibles y contaminantes emitidos por los plásticos

| MATERIAL SENSIBLE | PLÁSTICO EMISOR                  | CONTAMINANTE EMITIDO   |
|-------------------|----------------------------------|--|
| VIDRIO            | Caucho                           | <u>Óxidos de azufre (SO<sub>x</sub> o S+):</u><br>Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )<br><br><u>Ácidos:</u><br>Ácido sulfúrico (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )  |
|                   | Nitrato de celulosa              | <u>Óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>):</u><br>Dióxido de nitrógeno (NO <sub>2</sub> )<br><br><u>Ácidos:</u><br>Ácido nítrico (HNO <sub>3</sub> )   |
|                   | Acetato de celulosa<br>Poliéster | Ácido acético (CH <sub>3</sub> COOH)   |
|                   | Poliuretano                      | <u>Compuestos nitrogenados:</u><br>Óxidos de nitrógeno (NO <sub>x</sub> )<br>Dióxido de nitrógeno (NO <sub>2</sub> )<br><br><u>Ácidos:</u><br>Ácido nítrico (HNO <sub>3</sub> )<br>Ácido acético (CH <sub>3</sub> COOH)<br>Ácido fórmico (CH <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ) |

Tabla 5: vidrios sensibles y contaminantes emitidos por los plásticos

| MATERIAL SENSIBLE | PLÁSTICO EMISOR                  | CONTAMINANTE EMITIDO   |  |
|-------------------|----------------------------------|--|--|
| CERÁMICA          | Baja temperatura<br>Porosa       | <p><u>Óxidos de azufre (SO<sub>x</sub> o S<sup>+</sup>):</u><br/>Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)</p> <p>Compuestos reducidos de azufre:<br/>Sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S)</p> |  |
|                   | Nitrato de celulosa              | <p><u>Óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>):</u><br/>Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>)</p> <p><u>Ácidos:</u><br/>Ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>)</p>                                  |  |
|                   | Acetato de celulosa<br>Poliéster | Ácido acético (CH <sub>3</sub> COOH)   |  |
|                   | PVC                              | Cloruro de hidrógeno/ ácido clorhídrico (HCl)  |  |
|                   | Poliuretano                      |  | <p><u>Compuestos nitrogenados:</u><br/>Óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>)<br/>Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>)</p> <p><u>Ácidos:</u><br/>Ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>)<br/>Ácido acético (CH<sub>3</sub>COOH)<br/>Ácido fórmico (CH<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)</p> |
|                   |                                  |  |  |

Tabla 6: cerámicas sensibles y contaminantes emitidos por los plásticos

| MATERIAL SENSIBLE       |                               | PLÁSTICO EMISOR     | CONTAMINANTE EMITIDO  |
|-------------------------|-------------------------------|---------------------|---|
| MATERIALES<br>PROTEICOS | Cuero<br>Piel<br>Seda<br>Lana | Caucho              | <u>Óxidos de azufre (SO<sub>x</sub> o S<sup>+</sup>):</u><br>Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )<br><br><u>Ácidos:</u><br>Ácido sulfúrico (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )<br>Sulfuro de hidrógeno (H <sub>2</sub> S) |
|                         | Cuero<br>Seda<br>Lana         | Nitrato de celulosa | <u>Óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>):</u><br>Dióxido de nitrógeno (NO <sub>2</sub> )<br><br><u>Ácidos:</u><br>Ácido nítrico (HNO <sub>3</sub> )  |
|                         |                               | Poliuretano         | <u>Compuestos nitrogenados:</u><br>Óxidos de nitrógeno (NO <sub>x</sub> )<br>Dióxido de nitrógeno (NO <sub>2</sub> )  |

Tabla 7: materiales proteicos sensibles y contaminantes emitidos por los plásticos

| MATERIAL SENSIBLE     |   | PLÁSTICO EMISOR     | CONTAMINANTE EMITIDO  |
|-----------------------|---|---------------------|---|
| TINTES Y<br>PIGMENTOS | Pigmentos<br>derivados del plomo<br>Amarillo de cromo<br>Cardenillo<br>Naranja de cromo<br>Verde esmeralda<br>Rojo de cromo<br>Tintes para<br>acuarelas y tejidos | Caucho              | <u>Óxidos de azufre (SO<sub>x</sub> o S<sup>+</sup>):</u><br>Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )<br><br><u>Ácidos:</u><br>Ácido sulfúrico (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )<br>Sulfuro de hidrógeno (H <sub>2</sub> S) |
|                       |   | Nitrato de celulosa | <u>Óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>):</u><br>Dióxido de nitrógeno (NO <sub>2</sub> )<br><br><u>Ácidos:</u><br>Ácido nítrico (HNO <sub>3</sub> )  |
|                       |   | Poliuretano         | <u>Compuestos nitrogenados:</u><br>Óxidos de nitrógeno (NO <sub>x</sub> )<br>Dióxido de nitrógeno (NO <sub>2</sub> )  |

Tabla 8: tintes y pigmentos sensibles y contaminantes emitidos por los plásticos

| MATERIAL SENSIBLE | PLÁSTICO EMISOR | CONTAMINANTE EMITIDO   |
|-------------------|-----------------|--|
| PINTURAS          | Caucho          | <p><u>Óxidos de azufre (SO<sub>x</sub> o S<sup>+</sup>):</u><br/>                     Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)</p> <p><u>Ácidos:</u><br/>                     Ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)<br/>                     Sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S)</p> |

Tabla 9: pinturas sensibles y contaminantes emitidos por los plásticos

| MATERIAL SENSIBLE              | PLÁSTICO EMISOR                        | CONTAMINANTE EMITIDO             |  |
|--------------------------------|--|----------------------------------|--|
| TEJIDOS Y POLÍMEROS SINTÉTICOS | Nylon<br>Rayón                         | Caucho                           | <p><u>Óxidos de azufre (SO<sub>x</sub> o S<sup>+</sup>):</u><br/>                     Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)</p>   |
|                                |  | Nitrato de celulosa              | <p><u>Óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>):</u><br/>                     Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>)</p>   |
|                                | PMMA<br>Poliestireno                   | Acetato de celulosa<br>Poliéster | Ácido acético  |
|                                | Nylon<br>Rayón<br>PMMA<br>Poliestireno | Poliuretano                      | <p><u>Compuestos nitrogenados:</u><br/>                     Óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>)<br/>                     Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>)</p> <p><u>Ácidos:</u><br/>                     Ácido acético (CH<sub>3</sub>COOH)<br/>                     Ácido fórmico (CH<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)</p> |

Tabla 10: tejidos y polímeros sintéticos sensibles y contaminantes emitidos por los plásticos

| MATERIAL SENSIBLE |                       | PLÁSTICO EMISOR | CONTAMINANTE EMITIDO                               |
|-------------------|-----------------------|-----------------|--|
| PIEDRAS           | Construcción interior | Caucho          | Ácidos:<br>Sulfuro de hidrógeno (H <sub>2</sub> S) |

Tabla 11: piedras sensibles y contaminantes emitidos por los plásticos

#### 2.1.4.2 Personal expuesto

El personal expuesto que desempeña su trabajo en museos o instituciones, deben tener en cuenta algunas consideraciones. Los niveles de exposición máximos recomendados a contaminantes gaseosos como los óxidos de azufre (SO<sub>x</sub> o S<sub>+</sub>), entre los que cabe destacar el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>); los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) como el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>); los ácidos como el ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), el sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S), el ácido acético (CH<sub>3</sub>COOH), el ácido fórmico (CH<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) o el ácido clorhídrico (HCl) para los seres vivos, están muy por encima de los considerados adecuados para la preservación a largo plazo de las colecciones patrimoniales. Por ello, si se respetan los umbrales de contaminación gaseosa indicados para la conservación de obras de arte, el personal expuesto no corre ningún tipo de riesgo<sup>81</sup>.

<sup>81</sup> En cualquier caso, se ha realizado un breve repaso por los síntomas más comunes tras la inhalación de los contaminantes más frecuentemente emitidos por los plásticos según el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT):

Dióxido de azufre (caucho): tos, jadeo, dolor de garganta y dificultad respiratoria.

Ácido sulfúrico (caucho): sensación de quemazón, tos, dificultad respiratoria, jadeo, dolor de garganta. Además cabe señalar que los síntomas no son inmediatos.

Sulfuro de hidrógeno (caucho): dolor de cabeza, vértigo, tos, dolor de garganta, náuseas, dificultad respiratoria y pérdida del conocimiento.

Ácido nítrico (nitrato de celulosa y poliuretano): sensación de quemazón, tos, dificultad respiratoria, jadeo, dolor de garganta. Además cabe señalar que los síntomas no son inmediatos.

Ácido acético (poliéster, acetato de celulosa y poliuretano): dolor de garganta, tos, sensación de quemazón, dolor de cabeza, vértigo, jadeo y dificultad respiratoria.

Ácido fórmico (poliuretano): sensación de quemazón, tos, dolor de garganta, dificultad

### 2.1.4.3 Límites de exposición de los contaminantes gaseosos emitidos por los plásticos para materiales patrimoniales y personal expuesto

En el estado de la cuestión veíamos como a principios del siglo XXI se iniciaban una serie de estudios encaminados a establecer estrategias sostenibles para el control de contaminantes gaseosos; es precisamente en estos estudios en los que se sientan las bases para determinar los límites de exposición a contaminantes que se manejan hoy en día en ambientes museísticos.

Estos límites de exposición se establecen teniendo en cuenta varios factores que se dividen esencialmente en dos grupos: los directamente relacionados con la obra, es decir, su historia material (condiciones ambientales a las que ha estado expuesta, intervenciones de restauración a las que ha sido sometida, etc.) y su estado de conservación; y por otro lado, los posibles agentes de deterioro extrínsecos como la temperatura, la humedad y los niveles de iluminación (Gibson, 1999; Grzywacz, 2006). Además de esto, hay que tener en cuenta que el daño producido por la acción de los contaminantes es acumulativo e irreversible.

Por todo ello, establecer unos niveles máximos de exposición a contaminantes aerotransportados no es una tarea fácil, ya que medidas como restringir el acceso al público o llevar a cabo un control riguroso de todas las variables arriba descritas ralentizarían de forma considerable el deterioro material de las obras. Sin embargo, la primera de estas pautas limitaría una de las funciones principales de los museos, mostrar el patrimonio a visitantes e investigadores; mientras que la segunda supondría un gasto injustificable y sería difícilmente sostenible. Por consiguiente, la ASHRAE desde 2007 plantea que el nivel de riesgo aceptable debe situarse entre lo teóricamente ideal y la realidad práctica, es decir, el objetivo tiene que ser gestionar el riesgo, no evitarlo completamente.

Como ya hemos visto, el daño producido por los contaminantes gaseosos es acumulativo e irreversible, por lo que es necesario minimizar la exposición de las colecciones a ellos tanto si la obra va a estar sometida a altas concentraciones durante un periodo corto de tiempo, como si lo va a estar a bajos niveles durante un periodo largo (The American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2007, 2011).

---

respiratoria, jadeo, pérdida de conocimiento.

Cloruro de hidrógeno o ácido clorhídrico (PVC): sensación de quemazón, tos, dificultad respiratoria, jadeo, dolor de garganta.

Asimismo, cabe señalar que no se han encontrado referencia para el ácido adípico.

Además cuando hablamos de climas interiores y microclimas no podemos ignorar los efectos sinérgicos de la combinación de dos o más contaminantes, es decir, cuando en un mismo espacio cerrado se junta más de un tipo de contaminante, los materiales implicados no serán solamente aquellos que muestran sensibilidad a cada contaminante de manera individual, si no que la combinación de dos o más gases, puede llegar a dañar a algunos de ellos que no se habrían visto afectados por un solo agente; por ejemplo el zinc no es sensible a la acción ni del sulfuro de hidrógeno, ni del dióxido de nitrógeno por separado, sin embargo, el efecto sinérgico de ambos puede causar daños en este material.

La evaluación de los riesgos derivados de la acción de los contaminantes gaseosos depende de muchos factores, por lo que se debe hacer una simplificación para que la predicción de los efectos adversos sea factible. Teniendo en cuenta que en los museos se evitan las condiciones ambientales extremas como la exposición directa a la luz solar, las grandes fluctuaciones de humedad ambiental y las altas temperaturas; o variables como la iluminación, la humedad relativa y la temperatura se pueden considerar "pseudo" constantes, lo que simplifica el problema de tal manera que los únicos factores a tener en cuenta sean el nivel de contaminante y el tiempo de exposición al mismo.

Los criterios para establecer los límites de exposición a contaminantes se han ido modificando. En los años ochenta la tendencia se basaba en utilizar la mejor tecnología posible con el objetivo de minimizar al máximo los niveles de emisión; sin embargo a finales del siglo XX esta tendencia se desechó debido a que tiene una mala relación coste-beneficio, por lo que se sustituyó por la de intentar limitar únicamente los niveles máximos de contaminante a valores en los que el riesgo sea mínimo o nulo (Tétreault, 1999).

Así, entre finales del siglo XX y principios del XXI se realizaron varios estudios con el objetivo de determinar un criterio que permitiera establecer cuáles son los umbrales recomendables para los contaminantes que con mayor frecuencia aparecen en los entornos museísticos. Desde un primer momento se analizó la complejidad para establecer dichos estándares, debido a que algunos contaminantes que en principio son inocuos para determinados materiales, dejan de serlo cuando se oxidan en contacto con el oxígeno y la humedad ambiental (Van Grieken y Janssens, 2005). Las primeras propuestas que se tuvieron en consideración a lo largo de estos años fueron: nivel de fondo, concentración de riesgo aceptable, dosis de riesgo aceptable<sup>82</sup>, concentración

---

<sup>82</sup> La concentración es el valor límite permitido para una sustancia contaminante por unidad de volumen; mientras que la dosis es el flujo máximo acumulado (concentración x tiempo) permitido para un contaminante (Brimblecombe, 2000).

sin detección de efectos adversos y umbral (Gibson, 1999).

Nivel de fondo: fue la primera consigna sobre la que se trabajó para establecer el nivel máximo de contaminantes en ambientes museísticos, en concreto para el control del dióxido de azufre y del dióxido de nitrógeno. Se trata de un planteamiento sencillo, desarrollado por Thomson en 1986, basado en los niveles promedio del ambiente exterior no contaminado, ya que tras una investigación previa este autor llegó a la conclusión de que los objetos almacenados lejos del entorno industrial o urbano permanecen en condiciones mucho mejores durante décadas o siglos que aquellos expuestos a un entorno urbano contaminado. Estos niveles propuestos por Thomson fueron los más utilizados en conservación durante las dos últimas décadas del siglo XX.

La concentración de riesgo aceptable: es la cantidad de contaminantes por metro cúbico por debajo de la cual el riesgo es mínimo. Es con este criterio con el que se viene trabajando desde finales del siglo XX; entre las investigaciones realizadas cabe destacar la propuesta por Brimblecombe (2000) que sugiere que la concentración máxima de un contaminante se debe corresponder con el nivel al cual la tasa de daño se vuelve menos significativa que el daño producido por otros mecanismos; y los ensayos llevados a cabo por Tétréault desde finales del siglo XX con el objetivo de determinar una relación cuantitativa entre un contaminante dado y su efecto sobre los diversos materiales que componen las obras de arte.

Dosis de riesgo aceptable: es la concentración de contaminantes a la cual una obra puede estar expuesta durante un tiempo concreto sin sufrir daños que pongan en riesgo su perdurabilidad. Este parámetro se ha tenido en cuenta en varios estudios realizados desde finales del siglo XX, de entre los que cabe destacar los de Brimblecombe (2000), Ryhl-Svendsen (2001) y Tétréault (2003); y en especial este último, ya que en él se acuña el término LOAED, el cual se utiliza para determinar la relación exposición-efecto de los contaminantes sobre los distintos materiales y corresponde con la dosis más baja de los mismos, a la cual se pueden observar efectos adversos sobre las obras de arte.

El criterio conocido por las siglas NOAEL, Concentración a la que no se observan efectos adversos, define la cantidad máxima de un contaminante a la cual puede estar expuesta una obra de arte sin sufrir daños en unas condiciones determinadas (método analítico, tiempo de exposición, temperatura, humedad relativa, etc.). El uso adecuado de este término debe incluir especificaciones de todos los parámetros necesarios para que el valor resultante sea significativo, ya que en caso contrario se puede llegar a una conclusión prematura e inexacta (Tétréault, 2003a).

Umbral: bajo esta denominación se sobreentiende el nivel en el cual es imposible que ocurra ninguna reacción química. Se trata de un valor basado en la cinética y la termodinámica de las reacciones, el cual se ha aplicado en escasas ocasiones al campo de la conservación (Gibson, 1999).

En la actualidad, el referente internacional lo lidera la ASHRAE en cuyo manual cuatrienal sobre calefacción, ventilación y aire acondicionado se dedica un capítulo a los museos, galerías, archivos y bibliotecas. Teniendo en cuenta este dato, se puede afirmar que las investigaciones llevadas a cabo por Tétrault en 2003 siguen vigentes, ya que en el último manual publicado en 2019, los límites de exposición a contaminantes gaseosos tomaron como referencia la dosis más baja a la que se comienzan a observar los primeros síntomas de deterioro (LOAED); y en la dosis más alta de un contaminante a la cual no se observa ningún efecto adverso (NOAEL). Los datos LOAED y NOAEL proporcionan información cuantitativa sobre los efectos nocivos de los contaminantes sobre determinados materiales; y están extraídos de la revisión crítica tanto de las observaciones de casos reales, como de estudios de laboratorio. Los resultados LOAED y NOAEL son complementarios, por ejemplo en caso de que un NOAEL no pueda ser determinado con total certeza, basaremos la dosis en la relación entre la concentración de un contaminante y el tiempo de exposición al que se comienzan a observar los primeros síntomas de deterioro, es decir, en la dosis LOAED.

Para expresar la contaminación en el aire se utilizan las unidades de concentración en partes por billón o microgramos por metro cúbico ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ); pese a que tienen diferentes significados, a menudo se utilizan indistintamente, y pueden convertirse fácilmente de uno a otro. La parte por billón mide la fracción volumétrica de gas contaminante en el aire, es decir, qué proporción de un volumen de aire dado está compuesto por un contaminante en estado gaseoso; por tanto, esta fracción es directamente proporcional al número de moléculas contaminantes presentes en el aire. Esto significa que una molécula de gas contaminante está presente en cada billón de moléculas de aire; aunque pueda parecer una fracción pequeña, cabe recordar que  $1\text{m}^3$  de aire contiene más de  $10^{25}$  moléculas, entonces 1ppb significa que hay más de  $10^{16}$  moléculas contaminantes presentes (Blades et al., 2000).

El  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  expresa la concentración de contaminantes como masa por unidad de volumen, en lugar de en una fracción de volumen. Se trata de una medida más apropiada para la contaminación por partículas, pero que también se usa comúnmente para la contaminación gaseosa. Debido a que los contaminantes tienen diferentes masas moleculares, una concentración en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  no representa el mismo número de moléculas para cada gas (Ibíd.).

Los factores de conversión entre los dos sistemas dependen de la temperatura

y la presión. En condiciones ambientales normales (20°C y 1 atmósfera), se utilizan los factores de conversión recogidos en la siguiente tabla:

|                      | ppb | $\mu\text{g}/\text{m}^3$ |
|----------------------|-----|--------------------------|
| Dióxido de azufre    | 1   | 3,6                      |
| Dióxido de nitrógeno | 1   | 1,9                      |
| Sulfuro de hidrógeno | 1   | 1,4                      |
| Sulfuro de carbonilo | 1   | 2,5                      |
| Ácido fórmico        | 1   | 1,9                      |
| Ácido acético        | 1   | 2,5                      |

Tabla 12: factores de conversión entre partes por billón (ppb) y microgramos por metro cúbico ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) de algunos compuestos volátiles emitidos por los plásticos<sup>83</sup>

Por ejemplo, para convertir de ppb a  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  del dióxido de nitrógeno, multiplicamos por 1,9; y para convertir de  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  a ppb lo dividimos por la misma cifra.

Las concentraciones de contaminantes gaseosos pueden expresarse en partes por millón (ppm) o partes por billón (ppb), que dependen de la temperatura y la presión; o en unidades gravimétricas como por ejemplo microgramos por metro cúbico ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), que son independientes de la temperatura y la presión. Para estandarizar los informes de unidades volumétricas, el Compressed Air and Gas Institute (CAGI) en 2002 recomienda utilizar una temperatura y presión estándar de 20°C y 99,97 kPa.

#### 2.1.4.4 Niveles máximos de contaminación recomendados en la actualidad

A lo largo de las últimas décadas se han ido tomando como referencia diversos estudios para estimar unos niveles máximos de contaminantes adecuados para la conservación de las colecciones patrimoniales. De la revisión efectuada sobre lo publicado en relación a este tema cabe destacar dos libros por haberse convertido en referentes en esta materia. El primero al que nos referimos es el titulado *Airborne Pollutants in Museums, Galleries and Archives: Risk Assessment, Control Strategies and Preservation Management* (Tétreault, 2003a) editado por el Canadian Conservation Institute en el cual podemos encontrar una lista detallada de las dosis aceptables de varios contaminantes para diversos materiales. Aunque como se puede ver en esta publicación es

83 Los datos recogidos en esta tabla están parcialmente reproducidos del Box 1. *Quantifying pollutants levels* del artículo *Guidelines on pollution control in heritage buildings* (Blades et al., 2000).

posible determinar la concentración aceptable de cada contaminante para cada objeto, se trata de una tarea excesivamente costosa en términos de tiempo y dinero. Por ello, muchos museos prefieren establecer las concentraciones máximas de los contaminantes más dañinos en relación a la sensibilidad media de una colección. Este libro también incluye una tabla en la que se estiman unos niveles límite para los principales contaminantes (ácido acético, sulfuro de hidrógeno, dióxido de nitrógeno, ozono, partículas finas y vapor de agua) en ambiente de museos, galerías, bibliotecas y archivos; para distintos periodos de tiempo (un año, diez años y cien años).

| Contaminantes gaseosos   | Concentraciones máximas promedio para los distintos objetivos de preservación <sup>a</sup> $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ppb) |         |                  | Rango de concentración promedio de referencia |                     |
|--|---|---------|------------------|---|---------------------|
|  | 1 año   | 10 años | 100 años         | Troposfera limpia                             | Área urbana         |
| Ácido acético  | 1000 (400)  | 100     | 100 <sup>b</sup> | 0,3-5   | 0,5-20 <sup>c</sup> |
| Sulfuro de hidrógeno   | 1 (0,71)  | 0,1     | 0,01             | 0,01-1  | 0,02-1              |
| Dióxido de nitrógeno   | 10 (5,2)  | 1       | 0,1              | 0,2-20  | 3-200               |
| Dióxido de azufre  | 10 (3,8)  | 1       | 0,1              | 0,1-30  | 6-100               |
| Vapor de agua  | Mantener por debajo del 60% HR <sup>d</sup>   |         |                  |   |                     |
| <p>Notas:</p> <p>a: El objetivo de preservación es el tiempo (en años) durante el cual una obra puede estar expuesta a la concentración de contaminante indicada corriendo el mínimo riesgo de deterioro. Este objetivo está basado en el LOAED de la mayor parte de los materiales siempre y cuando se encuentre limpios, a una HR de entre el 50 y el 60%, y una temperatura de entre 20 y 30°C (en caso contrario los niveles se deberían ajustar). Estos valores no son aplicable a materiales hipersensibles.</p> <p>b: Las concentraciones inferiores a 100 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math> no son obligatorias en el caso del ácido acético, ya que la gran mayoría de los materiales tienen un valor NOAEL alto</p> <p>c: Los niveles de ácido acético pueden ser mayores de 10.000 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math> en el interior de contenedores realizados con materiales inapropiados como silicona fresca de curado ácido</p> <p>d: Para colecciones permanentes en las que la HR media no esté entre el 50 y el 60%, se deben mantener las condiciones habituales.</p> |   |         |                  |   |                     |

Tabla 13: umbrales para calidad del aire en museos, galerías, bibliotecas y archivos<sup>84</sup>

Sin embargo, algunos autores como Tétreault (2003b) señalan que estos estándares no son apropiados para materiales hipersensibles como por ejemplo

<sup>84</sup> Los datos recogidos en esta tabla están parcialmente reproducidos de la *Table. 5: Air quality targets for museum, gallery, library, and archival collectios* (p.33) del libro *Airborne Pollutants in Museums, Galleries and Archives: Risk Assessment, Control Strategies and Preservation Management* (Tétreault, 2003a).

el acetato de celulosa, el plomo, el caucho natural, la plata, el poliuretano, etc. El segundo libro, *Monitoring for Gaseous Pollutants in Museum Environments* (Grzywacz, 2006), nace con el objetivo de establecer unos niveles máximos de contaminación que puedan aplicarse al conjunto de una colección heterogénea. En él se ofrece una revisión de los estándares vigentes, basándose esencialmente en otras publicaciones de dos instituciones punteras en este tema: Canadian Conservation Institute (CCI) e Indoor Air Quality in museums and archives (IAQ).

Esta revisión nos ha permitido confeccionar una tabla en la que se han recopilado los niveles de contaminación máximos recomendados para los objetos patrimoniales que se encuentren en ambientes en los que la temperatura esté comprendida entre los 15°C y los 25°C y la humedad relativa no supere el 60%, siendo preferible que esta se encuentre en torno al 50%. Como podemos observar en la tabla 15 se establecen dos umbrales, uno general y uno específico para materiales sensibles<sup>85</sup>, completando de esta manera las carencias del estudio de Tétreault (2003a). También se recogen los límites máximos de exposición a partir de los cuales se deben tomar medidas para mitigar el riesgo de deterioro de las obras que se encuentran en el área afectada; así como los valores dados por instituciones de peso que se han tomado como referencia para la elaboración de esta tabla.

Cabe señalar que los cambios en los criterios utilizados a lo largo de los años para establecer los límites de exposición a contaminantes de las obras de arte se ven reflejados en el ya mencionado capítulo dedicado al control ambiental de museos, galerías, archivos y bibliotecas del manual cuatrienal de la ASHRAE. En él, se dedica una sección a los contaminantes gaseosos en la cual se recomiendan niveles máximos de contaminantes para ambientes en los que se encuentran albergados objetos culturales. Los niveles propuestos en el manual de 2003 están basados en las investigaciones llevadas a cabo por Tétreault (2003a); datos que fueron actualizados en el manual de 2007, en el que se incorporaron los avances publicados por Grzywacz en 2006. Por otro lado los valores propuestos por esta última autora se han añadido de nuevo en la publicación de la ASHRAE más reciente, la de 2019, por lo que se puede confirmar que siguen vigentes a día de hoy.

En la siguiente tabla se muestran los niveles máximos recomendados para el ácido acético, ácido fórmico, ácido nítrico y dióxido de azufre (ácido sulfúrico cuando reacciona la con la humedad ambiental) en museos; no habiéndose encontrado referencias de límites de exposición en el ámbito museístico ni para el ácido clorhídrico, ni para el adípico.

---

85 Se consideran materiales sensibles aquellos que son conocidos por ser susceptibles a la acción de un determinado contaminante gaseoso.

| Contaminante  | Límite de contaminante sugerido para colecciones <sup>a,b</sup> (ppb) |                                      | Límites de acción <sup>c</sup> : (ppb) |                       | Recomendaciones de calidad del aire (ppb) |                                       | Concentraciones de referencia (ppb)  |  |  |  |   |
|---|---|--------------------------------------|--|-----------------------|---|---------------------------------------|--|--|--|--|---|
|   | Materiales sensibles <sup>d</sup>                                     | Otros materiales                     | Alto                                   | Extremadamente alto   | Almacenamiento de documentos de archivo   | Bibliotecas, archivos y museos        | Niveles de referencia naturales  | Áreas Urbanas  | Salud: Nivel de toxicidad aguda en 1h. de exposición | U.S EPA Límites de la Ley de Aire Limpio | Organización Mundial de la Salud (OMS) límites TWA <sup>e</sup> |
| Ácido nítrico (HNO <sub>3</sub> )   | < 0.1   | < 1.0                                |  |                       |   |                                       | 0.02-0.2 <sup>2</sup>  | 1-11 <sup>4</sup><br>3-49 <sup>2</sup>   | OEHA (HNO <sub>3</sub> ): 33                         |  |   |
| Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> ) (reacciona con la humedad dando lugar a ácido sulfúrico (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )) | < 0.04 - 0.4  | 0.4-2                                | 8-15                                   | 15-57                 | Canadá: 0.4<br>EEUU: 0.4                  | 1.0                                   | 0.04-11 <sup>4</sup><br>Rural:<br>EEUU: 6-10 <sup>4</sup><br>Europa: 1-14 <sup>4</sup> | 8-380 <sup>1</sup><br>2-152 <sup>2</sup><br>EEUU: 4-6 <sup>2</sup><br>Canadá: 4-64 <sup>2</sup><br>Europa: 2-94 <sup>2</sup> | OEHA: 248<br>OMS: 19<br>OSHA: 5 ppm                  | 30 [1 año]<br>140 [24 h]                 | 190 [10 min]<br>10 [24 h]<br>19 [anual]                         |
| Sulfuro de hidrógeno H <sub>2</sub> S   | < 0.010   | < 0.100                              | 0.4 - 1.4                              | 2.0 - 20              | 0.005 - 10 <sup>3</sup>                   | 0.1 - 5 <sup>4</sup><br>0.080 - 0.150 |  |  | OEHA: 30<br>OSHA: 10 ppm                             |  | 107 ppb   |
| Ácido acético CH <sub>3</sub> COOH  | < 5   | 224 <sup>3</sup> / <sub>40-280</sub> | 200-480 <sup>7</sup>                   | 600-1000 <sup>8</sup> |   |                                       | 0.1-4 <sup>4</sup>   | 0.1-16 <sup>10</sup>   | OSHA: 10 ppm   |  |   |
| Ácido fórmico HCOOH   | < 5   | 5-20                                 | 20-120                                 | 150-450               |   |                                       | 0.05-4 <sup>11</sup><br>0.05-0.2 <sup>4</sup>  | 0.05-17 <sup>10</sup><br>0.6-104   | OSHA: 5 ppm  |  |   |

<sup>a</sup> Basado en los mejores estándares actualmente disponibles, no significando que estas concentraciones sean recomendaciones finales y absolutas. Las concentraciones límite para materiales y objetos se encuentran en continua revisión. Fuentes: CCI ([www.cci-icc.gc.ca](http://www.cci-icc.gc.ca)) y la página web del IAQ in Museums and Archives (IAQ.dk).

<sup>b</sup> Niveles máximos que permiten asegurar el mínimo riesgo para los materiales sensibles; asumiéndose una temperatura entre los 15°C y los 25°C, la limpieza de la colección y una humedad relativa inferior al 60%, idealmente del 50% (Tétrault 2001)

<sup>c</sup> Se deben tomar medidas de mitigación para proteger a los objetos de la colección

<sup>d</sup> Los materiales sensibles son aquellos que se encuentran en riesgo en presencia de un contaminante gaseoso en particular

<sup>e</sup> Time weighted Average (TWA) o el valor límite umbral-media ponderada en el tiempo es la concentración media ponderada en el tiempo para una jornada normal de trabajo de ocho horas y una semana laboral de cuarenta horas, a la que se considera que pueden estar expuestos los trabajadores diariamente sin sufrir efectos adversos.

<sup>1</sup> Seinfeld 1986.  
<sup>2</sup> Tétrault 2003b  
<sup>3</sup> World Health Organization 2000.  
<sup>4</sup> Sano 1999.  
<sup>5</sup> Sano 2000.  
<sup>6</sup> Bradley y Thickett 1999.  
<sup>7</sup> Kawamura, Steinberg y Kaplan 1996.  
<sup>8</sup> Granby y Christensen 1997.

Tabla 14: niveles máximos recomendados para contaminantes gaseosos en museos<sup>86</sup>

86 Los datos recogidos en esta tabla están parcialmente reproducidos del apéndice 2 titulado *Current Target Levels for Key Gaseous Pollutants in Museums* del libro *Monitoring for Gaseous Pollutants in Museum Environments* (Grzywacz, 2006).

### 2.1.5 Los espacios cerrados y el aumento del riesgo de contaminación

Las emisiones de sustancias volátiles contaminantes por parte de los plásticos presentes en algunas obras de arte, por lo general, no suponen un riesgo potencial cuando se producen en espacios de amplias dimensiones en los que se lleve a cabo un control ambiental mínimo, como por ejemplo las salas de un museo. Sin embargo, cuando se encuentran en espacios cerrados de dimensiones limitadas, como las vitrinas o las cajas de almacenamiento, estas emisiones pueden acumularse convirtiéndose en una amenaza para la preservación del patrimonio cultural (Tétreault, 2003a).

Para evaluar el riesgo de concentración de contaminantes se deben conocer principalmente cuatro parámetros: la tasa de emisión del material, es decir, la cantidad de sustancias volátiles contaminantes que emite por cada  $\text{cm}^2$  a la hora; el área de emisión; el volumen del contenedor y la tasa de fuga de aire, o lo que es lo mismo, el número de renovaciones por día del volumen total del contenedor que son aportadas por el caudal de aire limpio proveniente del exterior (Turmo Sierra, 1993; Herráez *et al.*, 2018; Tétreault, 2019). En función de su tasa de fuga de aire, los contenedores pueden ser herméticos, semiherméticos o ventilados.

Además de estos cuatro parámetros, si se busca más precisión habrá que tener en cuenta otros aspectos como el tiempo de exposición al contaminante, las condiciones del ambiente exterior o las del interior del contenedor (Dahlin, 2010).

Se han utilizado varios tipos de contenedores cerrados como los marcos microclimáticos, las cajas de viaje, los armarios de almacenamiento o las vitrinas para proteger las distintas tipologías que comprenden el patrimonio cultural, existiendo multitud de diseños para cada uno de ellos. Si atendemos a su tasa de fuga de aire, se pueden clasificar en tres tipos: ventilados, los que renuevan el aire interior más de diez veces al día; semiherméticos, los que lo hacen entre una y diez veces diarias y herméticos, los que lo reemplazan menos de una vez cada veinticuatro horas (Tétreault, 2019).

Las nuevas tendencias tratan de crear microclimas que permitan realizar un control más estricto de las condiciones ambientales, especialmente para las obras de arte realizadas en materiales sensibles, como pueden ser algunos tipos de plásticos (National Museum Director's Conference, 2009); por lo que hoy en día el uso de contenedores herméticos sigue siendo muy común. Estos contenedores estabilizan la humedad relativa en su interior y son además muy eficaces para la protección de las obras de arte contra la contaminación

exterior; en cambio cuando la fuente de emisiones se encuentra en el interior, hay que tener en cuenta que los ambientes confinados propician el incremento de los niveles de contaminación gaseosa (Sánchez Cabrero *et al.*, 2015), lo que puede conllevar un alto riesgo para las obras que contienen. Esta acumulación de emisiones en el interior del contenedor se atribuye a los bajos índices de intercambio de aire; por ello la preferencia actual por los contenedores herméticos acrecienta este problema, ya que las condiciones estáticas imposibilitan el escape de los volátiles nocivos dando lugar a altos niveles de contaminación (Schieweck y Salthammer, 2009). Por tanto, cuanto menos estanco sea el contenedor, mayor será el intercambio de aire y menor la concentración de contaminantes<sup>87</sup>; pero a su vez también será más difícil estabilizar la humedad relativa, lo que aumentará el riesgo de daños derivados de la contaminación exterior, especialmente por acumulación de partículas.

Otro aspecto a tener en cuenta es la duración de la exposición, es decir, el periodo de tiempo que va a estar la obra de arte en el interior de un contenedor estanco. En este sentido Tetreault (2019) señala que para uso temporal se puede ser aceptable mantener piezas emisoras de volátiles nocivos en el interior de un contenedor estanco, siempre y cuando estas no permanezcan un tiempo superior al considerado seguro; mientras que para el almacenamiento o la exhibición a largo plazo es indispensable investigar opciones más adecuadas.

En conclusión, el riesgo de acumulación de contaminantes gaseosos en un contenedor estanco será más alto cuanto mayor sea la tasa de emisión del material que compone la obra de arte, más grande sea el área de emisión de dicho material, más prolongada sea la duración de la exposición, y menor sea la tasa de fuga de aire y el volumen del contenedor (Tétreault, 2019).

Por último, es importante señalar que la mayoría de los daños que se producen en el interior de los espacios estancos se derivan de una deficiente valoración de los riesgos potenciales de los contaminantes gaseosos, de la falta de información o de la falta de adecuación de los productos con los que está fabricado el contenedor (Tétreault, 2003a). De ahí que si se establecen unas pautas adecuadas para la preservación de obras de arte realizadas en plásticos emisores de compuestos gaseosos, se podría minimizar en buena medida el nivel de riesgo que suponen para las obras de arte.

---

87 Siempre y cuando el contenedor se encuentre en un espacio ambiental libre de contaminación.

## 2.2 La detección y control de contaminantes en ambientes museísticos

Como señalábamos al final del punto anterior, la falta de atención sobre el problema de las emisiones de gases nocivos por parte de determinados plásticos en su proceso de deterioro, incrementa el riesgo de aparición de numerosas degradaciones tanto en la propia obra de arte como en las obras colindantes. El primer paso para tratar de solventar este problema pasa por establecer unas pautas que permitan detectar y controlar dichas emisiones; por esta razón, a lo largo de esta apartado se van a revisar los distintos métodos y dispositivos que sirven para la detección y el control de gases contaminantes con el objetivo de analizar cuales son los más adecuados.

Algunos síntomas de la degradación de los plásticos como la decoloración, el agrietamiento, las exudaciones o la pulverulencia pueden ser identificados mediante un examen organoléptico; mientras que otros síntomas de deterioro como la emisión de sustancias volátiles son mucho más difíciles de detectar (Baker, McCauley y Tsang, 2015). Esto se debe a que, aunque muchos de los compuestos volátiles emitidos por los plásticos son olorosos, existen algunos como el ácido sulfúrico expulsado por el caucho que son inodoros.

Por ello, desde finales del siglo XX hasta nuestros días se han desarrollado numerosos dispositivos y métodos para la detección y el control de la contaminación gaseosa en entornos museísticos, incluidas las sustancias volátiles emitidas por algunos plásticos. Los procedimientos utilizados para este fin coinciden en muchas ocasiones con los empleados para la identificación de los plásticos, por lo que se tendrán en cuenta en esta revisión.

Los sistemas de detección y control para estos fines son de dos tipos: los basados en el método analítico-empírico, que se caracterizan por su subjetividad, y los que se sustentan en el método científico, que proporcionan datos objetivos y cuantificables.

### 2.2.1 Método analítico-empírico

El sistema de detección y control de contaminantes basado en el método analítico-empírico consiste en determinar la presencia de contaminación gaseosa por medio del olfato. Este sistema ha sido muy utilizado a lo largo de la historia tanto para la identificación de los plásticos como para la detección de su degradación, y se observa su vigencia de uso, en la recogida de datos de los Condition Report específicos para plásticos; a pesar de que algunos autores como Morgan (1991), Waentig (2008) o Shashoua (2008) ya advierten de su subjetividad debido a que existen grandes diferencias en la percepción de los olores en función de la persona que realice la evaluación.

Pese a todo, entre finales del siglo pasado y principios del presente han surgido diversas investigaciones que señalan que el análisis de los olores de los compuestos volátiles emitidos por algunos plásticos puede ser un método eficaz para su identificación.

Una de las líneas de trabajo, estaba enfocada a buscar procedimientos que acentuasen el olor y que hicieran más fácil la caracterización de los distintos plásticos; para lo cual se propusieron varias técnicas como: encerrar el plástico en un tarro de vidrio o bolsa de polietileno sellada (Morgan, 1991), mojarlo con agua caliente (Morgan, 1991; Shashoua, 2008b), calentarlo (Mossman, 1988; Morgan, 1991; Nazaroll y Cass, 1991; Shashoua, 2008b), frotar la superficie con el dedo o con un paño de algodón (Mossman, 1988; Morgan, 1991; Shashoua, 2008b), quemarlo o someterlo al *hot test*<sup>88</sup> (Morgan, 1991). No obstante, algunos autores (Morgan, 1991; Shashoua, 2008b) advierten de que, a excepción de las tres primeras, estas acciones pueden producir daños físicos en los plásticos, por lo que no son recomendables para ser aplicadas sobre una obra real.

También cabe señalar por su interés la clasificación realizada por Morgan (1991), en la que establece qué técnica de detección de olor es la más adecuada para cada tipo de plástico. De esta forma divide los plásticos en tres grupos: los que emiten un olor característico al ser frotados entre los que se encuentran el fenol formaldehído, caucho vulcanizado y celuloide; aquellos que lo hacen al ser lavados con agua caliente como el fenol formaldehído, tiourea formaldehído, celuloide, caseína y acetato de celulosa; y los que se pueden reconocer quemando la muestra o por medio del *hot test*, como el caucho vulcanizado, shellac, bituminosos, celuloide, acetato de celulosa, caseína, fenolformaldehído, amino formaldehído, PVC, poliestireno, polimetil metacrilato, polietileno, polipropileno, nylon, resina acetálica y tereftalato de polietileno.

Como ya se ha señalado, el olor también es considerado un síntoma de la degradación de los plásticos, hecho que se ve reflejado a lo largo de los años en diversas publicaciones. Uno de los olores más representativos de la descomposición de los plásticos es sin duda el olor a vinagre del ácido acético emitido por el acetato de celulosa en su proceso de envejecimiento; este característico olor hace que dicho proceso de degradación sea conocido como "síndrome del vinagre". Existen además, otros dos olores que han sido considerados históricamente como marcadores de degradación: el olor a alcanfor propio del nitrato de celulosa y el olor definido como "plástico" o "a coche nuevo" propio de la descomposición del PVC (Quye y Williamson, 1999; May y Jones, 2006; Shashoua, 2008b; Waentig, 2008; The Plastics Historical Society, 2015).

88 Técnica que consiste en tocar el objeto de plástico con un alfiler ardiendo.



Figura 34: viñeta de comic que hace referencia, en clave de humor, al olor a alcanfor de una serie de joyería de Damien Hirst realizada en nitrato de celulosa

También encontramos referencias a los olores de los plásticos, como un signo más de degradación, en los *Condition Report* diseñados específicamente para las obras realizadas en este material. Buen ejemplo de ello es el propuesto por Demerouskas (1998), ya que en el apartado dedicado a los posibles tipos de degradación señala la detección de algunos olores, en concreto, el olor a fenol, a azufre, a alcanfor y a vinagre. Además en el glosario que adjunta, incide en que la aparición de cualquier olor fuerte es un síntoma de una degradación severa.

**CONDITION REPORT FORM for PLASTIC OBJECTS**

TITLE/DESCRIPTION: (eg. Artwork title or Tortoise shell eyeglass case)

ARTIST/MANUFACTURER: (eg. Artist or company name if known or imprinted)

DATE:

MEDIUM (Type of plastic or brandname & method of manufacture if known or evident):

---

If any of the below conditions apply: check, note size, extent and location.

**COMMON CONDITIONS:**

- BREAKS:
- CHIPS:
- CRACKS:
  - Blind
  - Stress
- LOSSES:
- SCRATCHES/ABRASION:

**PLASTIC CONDITIONS:**

- ADHESIVE FAILURE:
- CORROSION OF ASSOCIATED PARTS:
- CRAZING/CRIZZLING
- DEFORMATION or CREEP:
- EMBRITTELEMENT:
- FORMATION OF BUBBLY AREAS:
- INHERENT MANUFACTURING FLAWS:
  - (flash, flow marks, inclusions, orange peel, sprue, witness marks)
- LIQUID EXUDATE:
- ODOROUS (phenol, sulphur, camphor, vinegar):
- POWDERING:
- SCORCHING:
- SHRINKAGE:
- SPLITTING/DELAMINATION:
- STICKINESS/TACKINESS

**COLOR CHANGE:**

- BLANCHING/CLOUDING/CHALKING:
- FADING:
- SPOTTING:
- STAINS/ACCRETIONS:
- YELLOWING:

Figura 35: modelo de *Condition Report* para plásticos propuesto por Demerouskas en 1998

Otro ejemplo lo encontramos en el libro derivado del proyecto POP ART; que recoge los resultados más interesantes del mismo, y en cuyo punto 4. *Description of condition* encontramos el apartado 4.3 *Smell* el cual da como opciones agrio, alcanfor, parafina, gomoso, vinagre y otros. Considerándose estos olores como causas intrínsecas de deterioro.

| 4- Description of condition          |                      | rate from 1 (= slight and limited) to 4 (= important and general), except tables* "feel" and "smell" (tick the boxes only) |               |                  |                       |           |                  |
|--------------------------------------|----------------------|--|---------------|------------------|-----------------------|-----------|------------------|
| <b>4.1 visible degradation</b>       |                      | <b>P1</b>  | <b>P2</b>     | <b>P3</b>        | <b>Comments</b>       |           |                  |
| biological attack                    | insect               |  |               |                  |                       |           |                  |
|                                      | mould                |  |               |                  |                       |           |                  |
|                                      | other:               |  |               |                  |                       |           |                  |
| colour change                        | darkening            |  |               |                  |                       |           |                  |
|                                      | discolouration       |  |               |                  |                       |           |                  |
|                                      | fading               |  |               |                  |                       |           |                  |
|                                      | yellowing            |  |               |                  |                       |           |                  |
|                                      | other:               |  |               |                  |                       |           |                  |
| deformation                          | dent                 |  |               |                  |                       |           |                  |
|                                      | fold                 |  |               |                  |                       |           |                  |
|                                      | shrinkage            |  |               |                  |                       |           |                  |
|                                      | warping              |  |               |                  |                       |           |                  |
|                                      | other:               |  |               |                  |                       |           |                  |
| deposit                              | bloom                |  |               |                  |                       |           |                  |
|                                      | dirty                |  |               |                  |                       |           |                  |
|                                      | drop                 |  |               |                  |                       |           |                  |
|                                      | dust                 |  |               |                  |                       |           |                  |
|                                      | stain                |  |               |                  |                       |           |                  |
|                                      | sweating             |  |               |                  |                       |           |                  |
|                                      | other:               |  |               |                  |                       |           |                  |
| others                               | abrasion             |  |               |                  |                       |           |                  |
|                                      | blister              |  |               |                  |                       |           |                  |
|                                      | break                |  |               |                  |                       |           |                  |
|                                      | change in gloss      |  |               |                  |                       |           |                  |
|                                      | chip                 |  |               |                  |                       |           |                  |
|                                      | crack                |  |               |                  |                       |           |                  |
|                                      | crazing              |  |               |                  |                       |           |                  |
|                                      | loss                 |  |               |                  |                       |           |                  |
|                                      | loss of transparency |  |               |                  |                       |           |                  |
|                                      | peeling              |  |               |                  |                       |           |                  |
|                                      | scratch              |  |               |                  |                       |           |                  |
|                                      | tear                 |  |               |                  |                       |           |                  |
|                                      | other:               |  |               |                  |                       |           |                  |
| other elements                       | corrosion            |  |               |                  |                       |           |                  |
| other :                              |                      |  |               |                  |                       |           |                  |
| <b>4.2- feel*</b>                    | <b>P1</b>            | <b>P2</b>  | <b>P3</b>     | <b>Comments:</b> | <b>4.3- smell*</b>    | <b>P1</b> | <b>Comments:</b> |
| brittle                              |                      |  |               |                  | acid                  |           |                  |
| crumbly                              |                      |  |               |                  |                       |           |                  |
| greasy                               |                      |  |               |                  |                       |           |                  |
| hardening                            |                      |  |               |                  |                       |           |                  |
| sticky                               |                      |  |               |                  |                       |           |                  |
| other :                              |                      |  |               |                  |                       |           |                  |
|                                      |                      |  |               |                  | camphor               |           |                  |
|                                      |                      |  |               |                  | paraffin              |           |                  |
|                                      |                      |  |               |                  | rubbery               |           |                  |
|                                      |                      |  |               |                  | vinegar               |           |                  |
|                                      |                      |  |               |                  | other :               |           |                  |
| <b>Plastics overall condition</b>    |                      | <b>Good</b> ☐  | <b>Fair</b> ☐ | <b>Poor</b> ☐    | <b>Unacceptable</b> ☐ |           |                  |
| <b>Comments :</b>                    |                      |  |               |                  |                       |           |                  |
| <b>5- artefact overall condition</b> |                      | <b>Good</b> ☐  | <b>Fair</b> ☐ | <b>Poor</b> ☐    | <b>Unacceptable</b> ☐ |           |                  |
| <b>Comments :</b>                    |                      |  |               |                  |                       |           |                  |
| <b>Actions needed:</b>               |                      |  |               |                  |                       |           |                  |

Figura 36: sección del modelo de *Condition Report* para plásticos derivado del proyecto de investigación *Preservation of Plastic Artefacts in Museum Collections*, en la cual se hace referencia a los olores de los plásticos como síntoma de degradación

En la lista de verificación del estado de conservación de los plásticos utilizada en el Museo de la ciencia de Londres, en la sección destinada a los tipos de deterioro específicos de este material, se encuentran referencias a olores como vinagre, alcanfor, ácido y penetrante, y dulce y "plástico", como síntomas de degradación del acetato de celulosa, nitrato de celulosa y PVC.

Después de esta revisión se ha elaborado una tabla que presentamos a continuación, en la que se han recopilado todos los plásticos mencionados en dichos estudios y los olores descritos para cada uno de ellos.

| Plástico                         | Investigaciones |   |                            |   |                        |                             |
|----------------------------------|-----------------|---|----------------------------|---|------------------------|-----------------------------|
|                                  | Mossman 1988    | Morgan 1991   | Williamson 1999            | Waentig 2008  | Shashoua 2008          | Problem Plastics Check List |
| Acetal                           |                 |   | Formaldehído, muy fuerte   |   |                        |                             |
| Acetato de butirato de celulosa  |                 |   | Mantequilla rancia         | A vinagre, mantequilla rancia, papel quemado              |                        |                             |
| Acetato de celulosa              |                 | Ácido acético, vinagre  | Vinagre, papel quemado     | A vinagre, papel quemado                                  | Vinagre, papel quemado | Vinagre, dulce y "plástico" |
| Acrílico                         |                 |   |                            |   | Dulce, afrutado        |                             |
| Acrilonitrilo butaideno estireno |                 |   | Como poliestireno + caucho | Dulce, gas ciudad (estireno)                              |                        |                             |
| Amino formaldehído               |                 | Formaldehído y papel quemado (celulosa cargada con ácido clorhídrico) |                            |   |                        |                             |
| Bituminoso                       |                 | Alquitran caliente  | Alquitran caliente         |   |                        |                             |
| Caseína                          |                 | Olor a humedad, leche quemada   | Leche o pelo quemado       |   | Leche o pelo quemado   |                             |
| Caucho vulcanizado               |                 | Sulfuroso   |                            |   |                        |                             |
| Epoxi                            |                 |   |                            | Ester y derivados, aminas y derivados, fenol y derivados. |                        |                             |

Tabla 15: olores característicos de los plásticos según las distintas investigaciones

| Plástico                              | Investigaciones           |                      |  |  |  |  |
|---------------------------------------|---------------------------|----------------------|--|--|--|--|
|                                       | Mossman 1988              | Morgan 1991          | Williamson 1999                        | Waentig 2008   | Shashoua 2008                                  | Problem Plastics Check List              |
| Fenol formaldehído                    |                           | Fenólico (carbólico) | Fenol o jabón carbólico                | Fenol, formaldehído  | Jabón antiséptico                              |  |
| Fenólico                              | Ácido carbonílico o fenol |                      | Fenol o jabón carbólico                |  |  |  |
| Fibra vulcanizada                     |                           |                      | Heno quemado                           |  |  |  |
| Gutapercha                            |                           |                      | Caucho quemado                         |  |  |  |
| Melamina formaldehído                 |                           |                      | Pescado                                | Amoníaco, aminas, desagradable a pescado, formaldehído     | Pescado  |  |
| Nitrato de celulosa                   | Alcanfor                  | Alcanfor             | Alcanfor, entonces óxidos de nitrógeno | Óxidos de nitrógeno, alcanfor                              | Alcanfor                                       | Bolas de alcanfor, ácido y penetrante    |
| Nylon                                 |                           | Pelo quemado o apio  | Pelo quemado, apio                     |  | Lana o pelo quemado, apio                      |  |
| Poliamida                             |                           |                      |  | A cuerno quemado o pelo                                    |  |  |
| Policarbonato                         |                           |                      |  | Al principio suave, después a fenol                        |  |  |
| PVC                                   |                           | Ácido Clorhídrico    | Sudor, plasticoso                      | Desagradablemente picante (ácido hidrocórico), cosquilloso |  | Ácido y penetrante, dulce y "plasticoso" |
| Policloruro de venilo no plastificado |                           |                      | Ácido clorhídrico, cloro               |  | Acre, cloro, aromático                         |  |
| PVC plastificado                      |                           |                      | Ácido clorhídrico + aromático          |  | Dulce, asientos de coche nuevo                 |  |
| Poliéster                             |                           |                      |  | Estireno, olor fuerte                                      | Mermelada de frambuesa, canela, caucho quemado |  |
| Poliéster no saturado                 |                           |                      |  |  |  |  |
| Poliestireno                          |                           | Gas natural          | Gas natural, caléndula                 | Dulce, gas ciudad (estireno)                               | Estireno, acre                                 |  |
| Polietileno                           |                           | Cera de vela quemada | Cera, velas, parafina                  | Vela quemada (parafina-cera) suave                         | Cera, velas, parafina                          |  |

Tabla 15: olores característicos de los plásticos según las distintas investigaciones

| Plástico                 | Investigaciones |                    |                                 |  |                                       |                             |
|--------------------------|-----------------|--------------------|---------------------------------|--|---------------------------------------|-----------------------------|
|                          | Mossman 1988    | Morgan 1991        | Williamson 1999                 | Waentig 2008   | Shashoua 2008                         | Problem Plastics Check List |
| Polimetil metacrilato    |                 | Dulce, afrutado    | Dulce, afrutado                 | Dulce, afrutado, a flores                              |                                       |                             |
| Polipropileno            |                 | Cera               | Cera, velas, parafina           | Vela quemada (parafina-cera) suave                     | Cera, velas                           |                             |
| Poliuretano              |                 |                    | Picante                         | Olor fuerte desagradable (isocianato)                  | Acre, olor picante                    |                             |
| Resina acetálica         |                 | Formaldehído ácido |                                 |  |                                       |                             |
| Shellac                  |                 | Lacre              | Lacre                           |  |                                       |                             |
| Tiourea formaldehído     |                 | Sulfuroso          |                                 |  |                                       |                             |
| Trefalato de polietileno |                 | Dulce y aromático  | Mermelada de frambuesa quemada  | Dulce, acre  |                                       |                             |
| Urea formaldehído        |                 |                    | Formaldehído, pescado, amoníaco | Amoníaco, aminas, desagradable a pescado, formaldehído | Formaldehído, líquido de conservación |                             |
| Vulcanita                |                 |                    | Azufre quemado/ caucho          |  |                                       |                             |

Tabla 15: olores característicos de los plásticos según las distintas investigaciones

En esta tabla-resumen se observa que no todas las investigaciones hacen referencia a los mismos plásticos, de hecho, solo el nitrato de celulosa y el acetato de celulosa están en todas o en la mayoría de ellas. Por otro lado, las descripciones que dan sobre los olores son muy variadas, e incluso en algunos casos proporcionan la misma descripción para varios plásticos.

Por tanto, pese a que la aparición de olores concretos como los descritos, se han utilizado a lo largo de la historia para la identificación y la detección de la degradación de los plásticos, no hay que olvidar que son datos subjetivos, difíciles de estandarizar, y no cuantificables (Lavédrine, Fournier and Martin, 2012).

Por otro lado, como hemos señalado en párrafos anteriores, algunos de los compuestos volátiles emitidos por los plásticos, como el ácido sulfúrico, son inodoros, e imposibles de detectar mediante el olfato.

Teniendo en cuenta todo lo expuesto podemos concluir que el método analítico-empírico no es un método adecuado debido a que no es capaz de detectar todos los compuestos volátiles potencialmente emitidos por los plásticos y aporta datos subjetivos, no computables y difícilmente tipificables.

## 2.2.2 Método científico

Como hemos visto, el método analítico empírico, a pesar de haber sido utilizado históricamente, es subjetivo e impreciso. Por ello se han desarrollado otros sistemas para la detección y el control de la contaminación gaseosa basados en el método científico que sí proporcionan datos objetivos. Estos sistemas pueden dividirse en dos tipos: activo y pasivo; la diferencia esencial entre ambos reside en que el activo requiere de una bomba que fuerza a pasar una determinada cantidad de aire por el tubo de muestreo durante un tiempo concreto, mientras que en el pasivo el aire pasa de forma natural por el sorbente.

Además, el muestreo activo requiere de una tecnología más sofisticada y de mayor especialización técnica para su utilización que el pasivo, por lo que es un método mucho más costoso; no obstante, sigue siendo el mejor valorado para determinar la concentración de contaminantes, al ser el único que controla el caudal de aire que pasa por el sorbente.

Inicialmente los muestreos activos eran más precisos que los pasivos; sin embargo, a partir de los años setenta se consiguieron avances significativos en la tecnología y procedimientos analíticos de los pasivos, lo que hizo disminuir sustancialmente las diferencias que existían en cuanto a exactitud y precisión entre ambos sistemas (Grzywacz, 2006).

Como comentábamos en el estado de la cuestión, hay que tener presente que la mayoría de los museos no disponen ni de los medios ni de los recursos para implementar una estrategia de control de contaminantes específica; por lo que se asume que la opción más viable para poder realizar un control de la calidad del aire es recurrir a métodos simples y estrategias sostenibles. Por ello en esta investigación nos vamos a centrar en el muestreo pasivo.

### 2.2.2.1 Dispositivos de muestreo pasivo

Los dispositivos de muestreo pasivo pueden ser de dos tipos: los de lectura directa, que proporcionan resultados inmediatos tras el periodo de exposición, y los que requieren análisis de laboratorio.

El funcionamiento de ambos es muy distinto; los de lectura directa consisten en uno o varios materiales adecuadamente preparados para que reaccionen químicamente en presencia de gases contaminantes, dando como resultado en la mayoría de las ocasiones un cambio de color; mientras que los que requieren análisis de laboratorio están compuestos por una carcasa, la cual contiene una superficie activa que retiene el contaminante tras una barrera de difusión.

También encontramos diferencias notables en su funcionamiento y en los resultados que proporcionan. Los dispositivos de lectura directa son capaces de detectar grupos de contaminantes, generalmente en concentraciones de ppm, son de fácil manejo y su coste es moderado; mientras que los que requieren análisis de laboratorio son capaces de detectar contaminantes específicos a niveles de ppb, pero su coste es más elevado y son más difíciles de utilizar.

Como ya hemos señalado, uno de los objetivos de esta investigación es localizar un dispositivo que permita detectar y controlar todas las emisiones de los plásticos emisores de forma sostenible, objetiva y sencilla. Estos factores confluyen en los dispositivos de lectura directa y se adaptan mejor a nuestras necesidades. Por tanto, a continuación, se van a revisar los dispositivos de lectura directa sensibles a los compuestos volátiles emitidos por los plásticos.

Veámos como los dispositivos de lectura directa se componen de una superficie activa que reacciona con los contaminantes presentes en el aire, dando lugar a un cambio de aspecto o de color; y se pueden dividir a su vez en dos tipos: cuantitativos y cualitativos.

En los dispositivos cuantitativos, la superficie activa esta calibrada de tal manera que en presencia de compuestos volátiles nocivos reacciona y se produce un cambio de color proporcional a la cantidad de contaminante; y por tanto, para conocer la concentración, basta con comparar el color resultante con la escala referenciada que nos proporciona el fabricante. De ahí que este tipo de dispositivos también sean conocidos como muestreadores colorimétricos de lectura directa. En cuanto a sus presentaciones comerciales cabe destacar que son muy variadas, de modo que podemos encontrarlos en forma de tubos de difusión, papeles reactivos, placas detectoras, etc. (Grzywacz, 2006).

Mientras, los dispositivos cualitativos son simplemente una superficie activa, generalmente inespecífica, que reacciona con los contaminantes ambientales indicándonos su presencia, pero no su concentración. Esta superficie activa puede estar compuesta, bien por láminas de materiales conocidos por ser susceptibles a determinados compuestos volátiles, o bien por tiras de papel tratadas químicamente para reaccionar con ciertos contaminantes.

En el mercado existen multitud de dispositivos de lectura directa; a fin de seleccionar el más apropiado para ser implementado en un protocolo específico para la conservación de obras de arte realizadas en plástico hemos confeccionado la tabla que se muestra a continuación. En ella, se enumera una selección de dispositivos de lectura, tanto cuantitativos como cualitativos, que serían adecuados para ser utilizados en entornos museísticos y se indica qué

sustancias volátiles, potencialmente desprendidas por los plásticos emisores, son capaces de detectar cada uno.

|   | Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> ) | Ácido sulfúrico (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) | Sulfuro de hidrógeno (H <sub>2</sub> S) | Dióxido de nitrógeno (NO <sub>2</sub> ) | Ácido nítrico (HNO <sub>3</sub> ) | Ácido acético (CH <sub>3</sub> COOH) | Ácido clorhídrico (HCl) | Ácido fórmico (CH <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ) |
|---|--------------------------------------|---|---|---|-----------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|---|
| A-D Strips  | *                                    |   | *                                       | *                                       |                                   |                                      |                         |   |
| Monitores personales ChemDisk™                        |                                      |   |   |   |                                   |                                      |                         |   |
| Placa colorimétrica ChromAir®                         |                                      |   |   |   |                                   |                                      |                         |   |
| Tubos de difusión Dräger                              |                                      |   |   |   |                                   |                                      |                         |   |
| Cupones ambientales reactivos – Purafil®              |                                      |   |   |   |                                   |                                      |                         |   |
| Tubos dosímetro Gastec™ Color                         |                                      |   |   |   |                                   |                                      |                         |   |
| Tubos de difusión Gradko                              |                                      |   |   |   |                                   |                                      |                         |   |
| Muestreadores de difusión IVL                         |                                      |   |   |   |                                   |                                      |                         |   |
| Cupones metálicos                                     |                                      |   |   |   |                                   |                                      |                         |   |
| Muestreadores pasivos Ogawa                           |                                      |   |   |   |                                   |                                      |                         |   |
| Tubos de difusión Oxford Brookes University Open-Path |                                      |   |   |   |                                   |                                      |                         |   |
| Placas colorimétricas SafeAir®                        |                                      |   |   |   |                                   |                                      |                         |   |
| Tubos de difusión University of Strathclyde Museum    |                                      |   |   |   |                                   |                                      |                         |   |

\* Se detectan las formas ácidas de estos contaminantes

Tabla 16: dispositivos de muestreo pasivo capaces de detectar los compuestos volátiles emitidos por los plásticos emisores<sup>89</sup>

En la tabla se puede observar como solo las A-D Strips y los cupones metálicos son capaces de detectar todos los compuestos volátiles potencialmente emitidos por los *malignant plastics*; el análisis comparativo entre ellos que se muestra a continuación, permitirá seleccionar el que mejor se adapta para nuestros fines.

Los cupones metálicos constan de tres láminas de 1 cm<sup>2</sup> y un 1 mm de espesor de cobre, plata y plomo; estos metales son capaces de detectar cloruros, compuestos de azufre reducidos, ácidos inorgánicos y compuestos carbonílicos orgánicos en concentraciones de partes por trillón en el caso de los de plata y de partes por billón en el resto; mientras que las A-D Strips son unas tiras de papel tratadas químicamente que reaccionan con cualquier tipo de ácido volátil a niveles de partes por millón.

<sup>89</sup> Los datos de esta tabla están parcialmente reproducidos de la Table 4.1 Selected passive sampling devices by pollutants del libro *Monitoring for Gaseous Pollutants in Museum Environments* (Grzywacz, 2006)



Figura 37: A-D Strip (izquierda) y cupones metálicos; plata, plomo y cobre (derecha)

En cuanto a los tiempos de exposición y obtención de resultados, en el caso de las A-D Strips bastará con comparar el color que presenta la tira, tras 24 horas de exposición, con la escala de colores referenciada que proporciona el fabricante; en cambio los cupones metálicos necesitan tiempos de exposición más elevados, entre semanas y meses, y el análisis se efectúa comparando la muestra expuesta con la de control mediante examen organoléptico o microscópico. En lo relativo a los costes cabe destacar que pese a que ni las tiras, ni los cupones metálicos son reutilizables, se tratan de métodos asequibles; si bien el coste de cada análisis es notablemente más bajo en el caso de las A-D Strips, 0,22€ cada tira detectora de ácido frente a los 30€ que cuestan las tres láminas de 1 cm<sup>2</sup> y 1 mm de espesor (cobre, plata y plomo) necesarias para la realización de este tipo de test.

|                          | A-D Strips  | Cupones metálicos   |
|--------------------------|---|---|
| Contaminantes detectados | Gases ácidos  | Cloruros, compuestos de azufre reducidos, ácidos inorgánicos, compuestos carbonílicos orgánicos               |
| Tiempo de exposición     | 24 h. a temperatura ambiente  | Semanas - meses   |
| Rango de concentraciones | ppm   | Plata: ppt<br>Otros: ppb  |
| Coste                    | 55 € (250 tiras)<br>0,22 €/análisis   | Precios por una lámina de 1 cm <sup>2</sup> y 1 mm de espesor: 5€ cobre, 5€ plomo, 20€ plata<br>30 €/análisis |
| Análisis                 | Comparación de color de la tira expuesta con el lapiz con la escala de colores referenciada | Comparación visual y microscópica con el cupón de control   |

Tabla 17: comparativa entre las A-D Strips y los cupones metálicos

Tras confrontar las posibilidades que nos proporciona cada opción y teniendo en cuenta que uno de los fines de esta investigación es determinar cuál es el método de muestreo más adecuado para detectar las emisiones derivadas de las obras de arte realizadas en plástico que pueda implementarse en un protocolo de conservación específico; se ha considerado que las A-D Strips son la mejor opción al ser la forma más sencilla, rápida, económica y objetiva<sup>90</sup> para detectar cualquiera de las sustancias volátiles potencialmente emitidas por los plásticos en su forma ácida<sup>91</sup>.

#### 2.2.2.1.1 Las A-D Strips: ventajas, limitaciones y recomendaciones

Existen varias marcas que comercializan este producto; Danchek® y Film Decay detector® fueron las primeras en salir al mercado; si bien su uso ha quedado relegado en favor de las comercializadas por el Image Permanence Institute, ya que estas últimas mejoraron la fórmula de las dos anteriores, llegando a ser galardonadas en 1998 con el Academy Award por su contribución a la preservación de la historia de la industria cinematográfica. Por este motivo, nos centraremos en las tiras detectoras de ácido A-D Strips distribuidas por el Image Permanence Institute.

Las A-D Strips fueron originalmente desarrolladas para la detección del ácido acético producido por las películas de acetato de celulosa en su proceso de degradación, pero se ha demostrado que son también adecuadas para la monitorización de cualquier material que emita gases ácidos, como es el caso de los plásticos (Nicholson y O'Loughlin, 1996; Shashoua, 2008b; Coughlin, 2011; Baker, McCauley y Tsang, 2015). Este sistema de muestreo consiste en una tira de papel impregnada en verde de bromocresol y una pequeña cantidad de hidróxido de sodio que mantiene unos niveles de pH altos antes de su uso (Adelstein et al., 1995). El verde de bromocresol reacciona con los gases ácidos presentes en el aire dando lugar a un cambio de color que va desde el azul hasta el amarillo pasando por varios tonos de verde; el color resultante tras la exposición nos indica la concentración de contaminantes en el aire, cuanto más cerca se encuentre este del amarillo, mayor concentración de volátiles ácidos habrá en el ambiente (Coughlin, 2011).

---

90 Los colores resultantes tras la exposición son fácilmente medibles con un espectrofotómetro, por lo que los resultados obtenidos serán mucho más objetivos que los de los cupones metálicos, en los que las lecturas se realizan por comparativa mediante inspección visual.

91 Que como ya veíamos en el punto 2.1 *Los plásticos emisores de contaminantes gaseosos en ambientes museísticos. Definición del problema* es la forma más habitual y perjudicial en la que se encuentran este tipo de contaminantes en el interior de los museos.

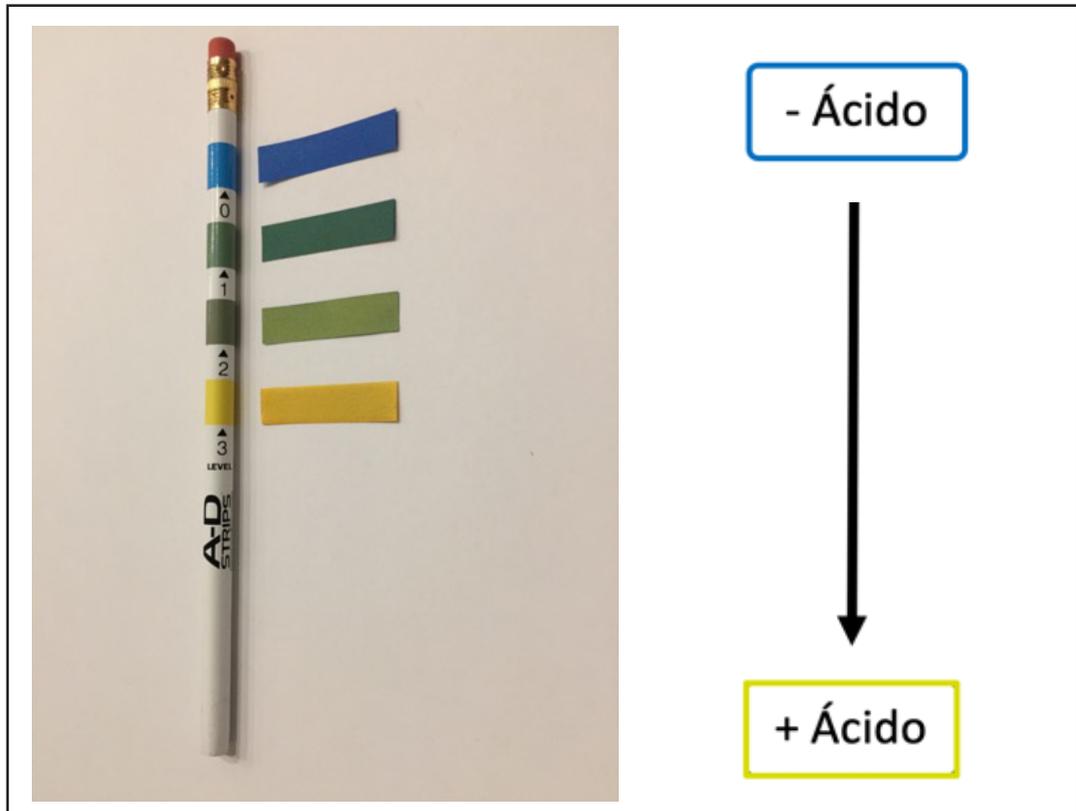


Figura 38: A-D Strips después de medir distintos grados de concentración ácida junto al lápiz de referencia proporcionado por el IPI

Como ya hemos visto, las A-D Strips son una excelente opción para el control de los contaminantes gaseosos ácidos que emanan los plásticos emisores; ya que permiten monitorizar de forma sencilla, económica e inmediata sus cambios de concentración, es decir, la colocación de una A-D Strip en el interior de un espacio cerrado que contenga una obra realizada en PMMA, poliéster, PVC, caucho, poliuretano, acetato de celulosa y/o nitrato de celulosa, nos permitirá, por un lado conocer si la obra está emitiendo compuestos volátiles ácidos; y por otro, a saber si la concentración de dichos volátiles cambia, ya que son capaces de detectar tanto el aumento como la disminución de su concentración, al cambiar de color. Además, se pueden lograr resultados consistentes y reproducibles registrando la variación de color de forma más precisa y objetiva mediante un espectrofotómetro.

No obstante, es preciso tener en cuenta que presentan algunas limitaciones como que sólo registran pH entre 5,4 y 3,8; que no identifican gases concretos, solo la presencia de ácidos; que no registran concentraciones por debajo de partes por millón; y que son sensibles a determinadas fuentes lumínicas. Además de que sólo están calibradas para conocer la concentración aproximada del

ácido acético, en el resto de casos solo nos proporcionan información sobre su presencia o cambio de concentración (Hackney, 2016).

En cuanto a su utilización es importante conocer, no solo las recomendaciones de uso del fabricante, sino también los estudios centrados en investigar la mejora de este sistema de muestreo, con el fin de obtener resultados precisos y fiables. Teniendo en cuenta que nuestro propósito es monitorizar obras de Arte Contemporáneo tridimensionales realizadas total o parcialmente en plástico que se encuentran en espacios cerrados, bien en exhibición o bien almacenadas; es importante recordar que las A-D Strips son fotosensibles, por lo que su exposición a la luz intensa durante periodos de tiempo prolongados puede alterar los resultados y proporcionar datos inexactos. Con respecto a los parámetros ambientales, Shashoua (2008) y Hatchfield (2002) recomiendan realizar las mediciones en ambientes con humedad relativa no inferior al 30%, preferiblemente del 50%; mientras que la temperatura aconsejada debe situarse entre 15 y 20 °C <sup>92</sup>.

En cuanto al manejo y colocación de las tiras, Nicholson y O'Loughlin (1996) sugieren utilizar guantes o pinzas para no contaminarlas y advierten de que no pueden entrar en contacto directo con la obra ya que podrían mancharla.

Por otro lado, el Image Permanence Institute (2016) indica que, a temperatura ambiente<sup>93</sup>, el tiempo mínimo de exposición de las A-D Strips establecido para obtener resultados fiables en el caso de obras que han estado en el interior de un contenedor cerrado durante un largo periodo de tiempo, es de 24 horas. Igualmente ha de tenerse en cuenta que las tiras tienen que ser analizadas de inmediato, ya que cuando se sacan del entorno ácido recobran su color azul, pese a lo cual hay que aclarar que no son reutilizables.

Además, cabe señalar que una vez que se tienen evidencias de la presencia de volátiles ácidos en un espacio cerrado como por ejemplo una vitrina, hay que verificar el origen de las emisiones; si provienen de la obra o de los materiales que componen el contenedor. Para ello se debe aislar la obra en otro contenedor sellado hecho de polietileno o vidrio<sup>94</sup>, junto con una A-D strip que se encuentre cercana a la obra, pero sin tocarla. En este caso, se recomienda

---

92 Las A-D strips son capaces de detectar compuestos volátiles ácidos desde los -4°C, siempre y cuando se prolonguen los periodos de exposición; si bien, en esta investigación hemos hecho referencia al rango de temperaturas más comunes tanto para el almacenamiento como para la exhibición de obras de arte tridimensionales realizadas en plástico.

93 El Image Permanence Institute considera temperatura ambiente a aquella superior a 13°C.

94 El polietileno y el vidrio son los materiales que se ha comprobado que no interfieren en el análisis de volátiles.

no realizar la lectura hasta mínimo una semana después con el fin de que el ácido emitido se vuelva a acumular. Además, se aconseja utilizar una tira de control si el contenedor es de vidrio y dos si es de polietileno, para asegurarse de que la configuración del ensayo es adecuada (Hatchfield, 2002; Coughlin, 2011). Asimismo, es importante saber que los contenedores de vidrio pueden ser reutilizados tras una correcta limpieza y ventilación; mientras que los de polietileno son de un solo uso, ya que este material puede absorber y retener la acidez (Nicholson y O'Loughlin, 1996).

#### 2.2.2.1.1.2 Las A-D Strips: casuística de aplicaciones prácticas

Las tiras A-D Strips llevan utilizándose desde finales del siglo XX para testar si determinados materiales son aptos para ser utilizados en la conservación y exhibición de obras de arte. Entre los estudios llevados a cabo en esta línea cabe destacar *The Use of A-D Strips for Screening Conservation and Exhibit Materials* (Nicholson y O'Loughlin, 1996) por ser el pionero en utilizar las A-D Strips para un fin distinto al que se habían creado, que no era otro que el de medir los niveles de ácido acético emitido por las películas de acetato de celulosa en su proceso de degradación y determinar su grado de deterioro.

A esta primera investigación se han ido sumando otras en las que las tiras detectoras de ácido se han utilizado para evaluar, en ocasiones junto a otros ensayos, la idoneidad de determinados materiales para su uso en conservación. Algunos ejemplos son el proyecto *Evaluating the Stability of Commercially Available Artists' Coloring Materials Used to Create Compensation Infills for Losses in Textiles* (Kaldany, Berman y Sigurdardottir, 1999) en el que se utilizaron las A-D Strips para verificar que las sustancias colorantes comerciales empleadas en la realización de reintegraciones en la conservación de textiles no emiten gases ácidos; o *Acetic Acid Off Gassing in Clamshell Enclosures* (Brewer, 2013) en el que se emplearon para comprobar si los adhesivos de acetato utilizados en la construcción de cajas de conservación "tipo concha" emiten sustancias volátiles ácidas.

Años más tarde se ha llevado a cabo una investigación en la que se ha propuesto una nueva aplicación para las A-D Strips, como lo era detectar la presencia de contaminación ácida volátil y determinar sus variaciones de concentración en zonas de almacenamiento y sistemas de exhibición como cajas microclimáticas y marcos de anoxia utilizados en la Tate (Hackney 2016). Esta investigación resulta de gran interés para nuestro estudio, ya que la metodología desarrollada puede extrapolarse de forma sencilla a la monitorización de contaminantes ácidos desprendidos por los plásticos emisores.

Páginas 137 y 138 sujetas a  
confidencialidad por la autora

proyecto que mencionábamos anteriormente desarrollado en la Tate (Hackney, 2016) y el control del estado de conservación que se lleva a cabo actualmente en la obra *Éxtasis, status, estatua* de Juan Luis Moraza en el Museo Guggenheim de Bilbao.

## **2.3 Situación actual; recomendaciones y pautas para la conservación de los plásticos en las colecciones de Arte Contemporáneo**

Como ya se anticipaba en el estado de la cuestión, aunque no existen protocolos de conservación específicos para plásticos, las investigaciones enfocadas hacia su conservación sugieren interesantes recomendaciones tanto para su exhibición, como para su almacenaje. Asimismo, las encuestas realizadas a los responsables de las colecciones contemporáneas evidencian las pautas que siguen en la actualidad para su conservación. A continuación se expondrá una síntesis de todo ello, ya que la información extraída de ambas fuentes nos será de gran interés para la elaboración de la propuesta de protocolo.

### **2.3.1 Situación actual; recomendaciones generales y específicas recogidas en investigaciones especializadas**

Las recomendaciones extraídas de las investigaciones centradas en la conservación de los plásticos como materia artística se pueden agrupar en seis bloques que se corresponden con diferentes aspectos como son los generales, el control de la iluminación, el control de la temperatura, el control de la humedad relativa, la reducción del oxígeno ambiental y la reducción o inhibición de los contaminantes gaseosos.

#### **2.3.1.1 Generales**

Respecto a las medidas generales, hemos procedido a revisar las estrategias de manipulación, identificación, limpieza y almacenaje recomendadas específicamente para obras de arte realizadas en plástico.

De esta revisión lo primero que se extrae es la necesidad de utilizar siempre guantes, si bien no hay unanimidad entre los investigadores en cuanto al tipo de tejido; de tal modo que Albus *et al.* (2007) recomiendan los de algodón, idealmente blancos; mientras que Coughlin (2018) se decanta por los de nitrilo, bajo la idea de que ofrecen mayor seguridad al no ser porosos y por tanto

no permitir la absorción de los plastificantes presentes en la superficie de los plásticos; algo que al parecer si permiten los de algodón, que incluso podrían transmitir al plástico, las toxinas que se liberan a través de la piel.

Para la identificación de las piezas Waentig (2008) sostiene que lo más recomendable es escribir a lápiz los números de inventario en pequeños cartones libres de ácidos que se depositarán junto a la obra; esta misma investigadora coincide con Albus *et al.* (2007) en que no se pueden utilizar bajo ningún concepto etiquetas autoadherentes, independientemente del material que sean, ya que los adhesivos de todas ellas contienen plastificantes que pueden migrar al plástico de la obra y cambiar su aspecto.

Albus *et al.* (2007) también nos advierten de que se debe evitar la acumulación tanto de polvo como de suciedad, ya que se componen, entre otras sustancias, de pequeñas escamas de piel que contienen ácidos y otras partículas higroscópicas que pueden atraer la humedad acelerando los procesos de degradación. En caso de que la obra ya presente suciedad superficial, estos mismos autores sostienen que lo más recomendable es limpiarla suavemente con un tejido que atrape el polvo o aspirarla con ayuda de un cepillo suave. Si excepcionalmente fuese preciso utilizar humedad, la limpieza se debe realizar en el menor tiempo posible, secando acto seguido la zona con un paño seco; nunca con un secador o similar, ya que el calor que desprende puede deteriorar el material. Igualmente, se desaconseja el uso de agentes de limpieza, por suaves que sean, debido a que contienen compuestos químicos que pueden afectar a la estabilidad de la obra.

Por último, Albus *et al.* (2007) en sus recomendaciones generales también nos alertan de que las obras hinchables se deben almacenar siempre infladas, ya que en caso contrario, si el plastificante migra a la superficie puede provocar que las capas se adhieran entre sí, de forma prácticamente irreversible<sup>96</sup>. Asimismo, señalan que para el inflado conviene utilizar elementos mecánicos, y nunca efectuarse con la boca, ya que al insuflar podríamos introducir junto al aire microorganismos a los que los plastificantes servirían como alimento haciéndolos desaparecer por completo.

### 2.3.1.2 Control de la iluminación

En cuanto al control de la iluminación, tras analizar en profundidad los datos recabados se pone en evidencia la necesidad de filtrar las radiaciones UV

---

<sup>96</sup> La migración del plastificante a la superficie hace que el material se vuelva muy frágil y quebradizo, haciendo casi imposible que se puedan separar las capas sin producir ningún desgarro u orificio.

procedentes de cualquier fuente de luz, tanto directa como indirecta<sup>97</sup>, pero siempre teniendo presente que la eliminación de este tipo de radiación no hace a la luz inocua, si no menos virulenta (Pagliarino y Shashoua, 1999; Albus *et al.*, 2007; Shashoua, 2014; The Plastics Historical Society, 2015). Por lo que autores como Blank (1990), Pagliarino y Shashoua (1999), Albus *et al.* (2007), Waentig (2008) y The Plastics Historical Society (2015), 2015 aconsejan excluir la luz en almacenaje y limitarla lo más posible durante la exhibición, iluminando las salas únicamente cuando haya público. Si bien, en lo relativo a la iluminancia<sup>98</sup> se detectan discrepancias entre los distintos autores, The Plastics Historical Society (2015) es la menos restrictiva, situando los niveles de iluminación entre los 50 y los 150 lux; seguido de Shashoua (2014) que los establece entre los 50 y los 100 lux; mientras que autores como Quye y Williamson (1999) o Albus *et al.* (2007) son más estrictos y aseguran que solo adquiriendo el compromiso de no superar los 50 lux se garantizará la perdurabilidad de las obras realizadas en plástico. En cuanto al número máximo de recomendado de lux/hora de exposición al año, dependerá del nivel de iluminación que se considere más adecuado, ya que se calcula multiplicando las horas de exposición anuales<sup>99</sup> por el número máximo de lux recomendado (National Service Park, 2016).

### 2.3.1.3 Control de la temperatura

En lo relativo a la temperatura, de la revisión bibliográfica se extrae que existe un consenso en la necesidad de mantener esta magnitud física lo más estable posible. En cambio, se detecta una diferencia de criterios en el número de grados que debe haber en el ambiente para la correcta preservación de los plásticos en general; Shashoua (2014) establece que la temperatura ambiental debe estar entre 18 y 20°C, Coughlin (2018) amplía el rango situándola entre 17 y 25°C; mientras que The Plastics Historical Society (2015) señala que no es recomendable en ningún caso superar los 20°C.

Algunos autores, son aún más precisos y proponen temperaturas específicas para algunos plásticos emisores; en concreto entre 2 y 5°C para el nitrato y el acetato de celulosa (Agencia Nacional Danesa de Patrimonio, 2006; The Plastics Historical Society, 2015), 5°C para el PVC, y 20°C para la espuma de poliuretano (The Plastics Historical Society, 2015). Pero si tenemos en cuenta que

---

97 La dispersión de los rayos luminosos no hace que la energía de la radiación disminuya, por lo que es tan perjudicial la luz directa como la indirecta (Waentig 2008)

98 Magnitud que expresa el flujo luminoso que incide sobre la unidad de superficie, y cuya unidad en el sistema internacional es el lux (REAL ACADEMIA ESPAÑOLA, 2019).

99 El estándar de horas de exposición anuales que se utiliza para este tipo de recomendaciones se suele calcular asumiendo que las obras estarán expuestas a la luz durante diez horas al día (National Service Park, 2016).

la temperatura habitual en las salas de exposición de los museos suele ser de entre 18 y 22 °C y que, como ya adelantábamos, lo ideal es que esta magnitud permanezca lo más estable posible; parece que estas recomendaciones específicas sólo se podrán llevar a cabo en casos muy concretos, previo estudio de los pros y contras.

Además, como se desprende de las conclusiones del apartado dedicado a la temperatura del punto 2.1 de esta tesis doctoral, está ampliamente aceptado que un descenso de esta constante reduce los índices de degradación química de los plásticos considerablemente. Por lo que autores como Michalski (2002) o Shashoua (2005) proponen sistemas de almacenaje en frío para preservar las obras a largo plazo; el primero sugiere mantenerlas a 10°C como medida low-cost para reducir la velocidad de su deterioro químico<sup>100</sup>, mientras que la segunda sostiene que su almacenaje en congeladores domésticos, a -30°C, debe ser tenido en consideración como alternativa sostenible<sup>101</sup>.

Si bien, el análisis de la información obtenida pone en evidencia que este tipo de almacenamiento no es adecuado para todos los tipos de obras; a priori solo está recomendado para las piezas de plástico que tengan menos de un centímetro de espesor, ya que en su forma tridimensional la baja conductividad térmica de este material hace que el proceso de enfriamiento sea lento, lo que podría llegar a dar una amplia diferencia entre la temperatura superficial y la del interior, generando tensiones que pueden derivar en fisuras y agrietamientos (Shashoua, 2004, 2014). Tampoco se recomienda este tipo de almacenamiento para las obras realizadas con materiales compuestos, ya que al encontrarse en contacto componentes de diversa naturaleza, tienden a contraerse de manera independiente restringiendo los movimientos entre sí, dando lugar a tensiones que pueden derivar en la aparición de craquelados y fisuras. Asimismo, autores como Blank (1990) y Shashoua (2004, 2014) advierten de que a bajas temperaturas se debe reducir al mínimo su manipulación, especialmente en el caso de los plásticos que tienen una temperatura de transición vítrea por debajo de la ambiental, ya que cambian a estado vítreo volviéndose rígidos y quebradizos (Blank, 1990; Shashoua, 2004, 2014).

---

100 Principalmente los procesos de oxidación e hidrólisis

101 Esta propuesta se basa en los resultados obtenidos por Shashoua en un estudio previo titulado *Modern Plastics: Do they Suffer from the Cold* (2004) en el que se demostró que a esta temperatura se reduce quince veces la velocidad de difusión del plastificante del PVC

#### 2.3.1.4 Control de la humedad relativa

Todas las investigaciones<sup>102</sup> revisadas coinciden en que la humedad relativa debe ser lo más estable posible tanto en exhibición como en almacenaje; sin embargo, no existe un consenso en cuanto a qué porcentaje sería el más adecuado. Para los plásticos en general, Shashoua (2014) sostiene que la humedad relativa debe estar en torno al 50%; The Plastics Historical Society (2015) la establece entre el 30 y el 50%; mientras que Coughlin (2018) amplía aún más este rango fijándola entre el 20 y el 65%. Por otro lado, la Agencia Nacional Danesa de Patrimonio (2006) distingue entre los plásticos semisintéticos y derivados de la celulosa, para los cuales recomienda un 20-30% de humedad relativa; y los sintéticos y derivados de la caseína, para los que propone entre un 50 y un 60%. Otros autores se decantan por medidas algo más específicas como que los plásticos que se deterioran por hidrólisis deben mantenerse al 30% de humedad relativa, o que los plastificados con agua como la caseína formaldehído requieren una humedad superior al 40% para evitar su agrietamiento por deshidratación (Shashoua, 2008b).

Finalmente, recogemos las discrepancias entre las pautas que proponen los distintos investigadores. Así las cosas, la Agencia Nacional Danesa de Patrimonio (2006), Shashoua (2008b) y The Plastics Historical Society (2015) proponen una humedad relativa entre el 35 y el 45 % para el caucho; y entre el 20 y el 30 % para el nitrato de celulosa, el acetato de celulosa y el PVC. Coughlin (2018) en cambio, propone un único rango para los anteriores, entre el 35 y el 45%. Por último, las recomendaciones de Shashoua (2008b) y The Plastics Historical Society (2015) para el poliuretano consisten en mantener unos niveles entre el 20 y el 30% de humedad relativa.

#### 2.3.1.5 Reducción del oxígeno ambiental

Respecto a la reducción del oxígeno ambiental, como ya se adelantaba en el punto dedicado a los agentes de deterioro del punto 2.1, se trata de una medida muy prometedora para la preservación de los plásticos, especialmente para el caucho, PVC y poliuretano (The Plastics Historical Society, 2015; Coughlin, 2018); motivo por el cual hemos profundizado en los dos sistemas más utilizados en la conservación de patrimonio para este fin, como son los absorbentes y el almacenaje en atmósfera de nitrógeno.

Los absorbentes reducen el oxígeno ambiental atrapándolo mediante

---

102 Kulturarvstyrelsen (Agencia Nacional Danesa de Patrimonio 2006); *Conservation of plastics. Materials, science, degradation and preservation* (Shashoua 2008); *A safe place. Store Strategies for Plastics* (Shashoua 2014); *The Conservation of Plastics* (The Plastics Historical Society 2015); *Looking at Plastics. An introduction to caring for Plastics* (Coughlin 2018).

quimisorción para dejar prácticamente a cero sus niveles en el aire, inhibiendo el deterioro causado por la oxidación. Existen diferentes marcas comerciales que lo distribuyen, de entre las que cabe resaltar Ageless®, Atco® y RP-K® por ser las más utilizadas.

Ageless® es un absorbente compuesto de fino polvo de hierro que destaca por su eficiencia para generar atmósferas con un bajo contenido de oxígeno, su fácil aplicación, su atoxicidad y su bajo coste. El control del oxígeno atmosférico mediante este tipo de absorbente requiere presencia de humedad para que sea eficaz. Existen cinco tipos, y se clasifican en función de la humedad relativa que necesitan para ser efectivos (Ver tabla 19). Tres de ellos, los tipos Z, S y FX, absorben únicamente oxígeno; el del tipo E absorbe oxígeno y dióxido de carbono; y el otro, tipo GE, absorbe oxígeno mientras produce dióxido de carbono.

| Tipos de Ageless |  |   |
|------------------|--|---|
| Tipo             | Aplicación   | Humedad relativa requerida para su aplicación |
| Z                | Absorbe O <sub>2</sub>   | 85% HR o menos                                |
| S                | Absorbe O <sub>2</sub>   | 65% - 95% HR                                  |
| FX               | Absorbe O <sub>2</sub>   | 85% HR o más                                  |
| E                | Absorbe CO <sub>2</sub> y O <sub>2</sub> simultáneamente           | 30% HR o menos                                |
| GE               | Absorbe O <sub>2</sub> al mismo tiempo que produce CO <sub>2</sub> | 30% - 90% HR                                  |

Tabla 18: tipos de Ageless®, aplicación y humedad requerida para asegurar su efectividad

Son capaces de reducir la concentración de oxígeno de un contenedor hermético a un 0.01% (100 ppm) o menos (Shashoua, 2001), siempre y cuando se introduzcan en un embalaje adecuado, es decir con baja permeabilidad a los gases y completamente hermético; de igual modo es recomendable monitorizar la concentración de oxígeno con el fin de verificar su eficacia. No obstante, este método no es adecuado para obras que tengan plata o cobre, ya que el hierro sulfuroso que contiene puede dañarlas; tampoco lo es para los materiales susceptibles al calor o la humedad relativa alta como el nitrato de celulosa, el acetato de celulosa, los derivados de la caseína o el PVC, ni para los que presentan un proceso de degradación activo, ya que la reacción que se genera para atrapar el oxígeno es exotérmica y produce un aumento de la temperatura y la humedad (Pagliarino y Shashoua, 1999). A pesar de ello, se tiene constancia de que es un método que ha dado muy buenos resultados en la conservación del caucho (Shashoua, 1999).

Atco<sup>®</sup> es un absorbente de oxígeno con unas características prácticamente iguales a las del Ageless, por lo que todo lo expuesto hasta ahora es perfectamente aplicable.

RP-K<sup>®</sup> es un absorbente comercializado por Mitsubishi Gas Chemical que permite reducir tanto el oxígeno como algunos contaminantes ambientales, manteniendo la humedad relativa estable de forma sencilla; si bien es cierto que su coste es notablemente más elevado que el del Ageless<sup>®</sup> o el Atco<sup>®</sup>.

El fabricante lo recomienda para preservar materiales (del ámbito del patrimonio cultural) no metálicos como la madera, el papel, los tejidos, el cuero, etc.; si bien algunos autores como Grieve (2008), Linke, Keller y Tafelski (2010) señalan que este absorbente también puede ser adecuado para la conservación de obras realizadas en plástico. Según Mitsubishi Gas Chemical (2018) la eficacia del producto se puede prolongar cinco años, siempre y cuando se mantenga la obra en un embalaje sellado herméticamente cuya permeabilidad al oxígeno no sea superior a 0,05 ml/m<sup>2</sup>-día-atm en condiciones del 25°C y 60%HR. En cualquier caso se recomienda introducir en el embalaje un indicador de oxígeno como control; siempre teniendo en cuenta que Linke, Keller y Tafelski, (2010) advierten de que estos indicadores presentan una fiabilidad limitada, especialmente cuando la humedad ambiental cae por debajo del 50%.

En cuanto al almacenaje en atmósfera de nitrógeno, se puede concluir que es un método interesante, ya que la ligera presión que produce este gas evita que penetre aire del exterior, al tiempo que protege a la obra de la contaminación por partículas; siendo de aplicación tanto en el interior de una vitrina como a gran escala, por ejemplo, en un almacén completo. Como contrapartida, su puesta en práctica en espacios grandes es bastante compleja debido a que se tiene que impermeabilizar el área completa en el que se va a implementar, se requiere personal cualificado para cambiar el aire por nitrógeno; y limita el acceso para el control periódico de las obras o para su investigación (Linke, Keller y Tafelski, 2010).

### 2.3.1.6 Reducción e inhibición de los contaminantes gaseosos

La falta de control y reducción de los contaminantes del ambiente en el que se encuentran las obras ponen en compromiso su correcta preservación. Como se explicaba en el estado de la cuestión los contaminantes pueden ser de tres tipos en función de cómo alcanzan al objeto y provocan su deterioro: transportados por el aire, transferidos por contacto e intrínsecos. Dada la amplitud de este tema, las pautas de conservación se van a centrar en el control y mitigación de

los contaminantes intrínsecos, al tratarse de los gases protagonistas de esta investigación.

Tras analizar en profundidad la información recogida de la literatura, se extrae que las obras potencialmente emisoras no deben almacenarse en contenedores cerrados, ya que propician el incremento de los niveles de contaminación gaseosa. En el supuesto de que por fuerza mayor fuese necesario que permaneciesen en dichos contenedores, algunos investigadores entre ellos Albus *et al.* (2007) señalan que es imprescindible que estén confeccionados con materiales libres de ácidos (en ningún caso se pueden utilizar maderas, especialmente aglomerado) y que se cambien periódicamente, al menos una vez a año. Los mismos autores nos advierten de que es norma obligada separar las obras bien conservadas de aquellas que presentan síntomas de degradación, y chequear regularmente su estado de conservación con el fin de verificar si presentan algún signo de alteración, especialmente cuando se encuentran en embalajes cerrados.

También se deduce que existen diversos métodos para la reducción de los contaminantes gaseosos, los cuales pueden dividirse en dos bloques: aireación y sorción.

La aireación es un sistema que se viene aplicando desde principios del siglo XX hasta nuestros días debido a su efectividad en la reducción del riesgo de degradación autocatalítica (Quye y Williamson, 1999). A lo largo de la historia, se ha demostrado que se trata de un método eficaz para la preservación del caucho, del nitrato de celulosa, del acetato de celulosa, del PVC y del poliuretano; sin embargo, recientemente Coughlin (2018) asegura que no es un método adecuado para el PVC, ya que la ventilación de este material puede inducir a la pérdida de plastificantes.

Los sorbentes comenzaron a venderse a finales del siglo XX en presentaciones diseñadas para su aplicación en la conservación de obras de arte; siendo los más comunes las zeolitas y el carbón activado.

Las zeolitas se comercializaron con el objetivo de reducir la velocidad de degradación de los negativos de acetato de celulosa (Ram *et al.*, 1994; Shashoua y Ward, 1995) y de las obras de arte (Derrick, Stulik y Ordendez, 1993), atrapando la humedad ambiental y el ácido acético que desprendían. Se componen de aluminosilicatos hidratados que contienen iones cargados positivamente de metales alcalinos y alcalinotérreos, y en función de las condiciones de producción pueden tener poros de diversas dimensiones que determinarán qué gases son capaces de atrapar (Shashoua, 2008a; Shashoua, Schilling y Mazurek, 2014).

Aunque a lo largo de los años se ha sostenido que las zeolitas eran una opción testada con éxito para el almacenamiento a largo plazo de las películas de acetato de celulosa (Shashoua y Ward, 1995; Pagliarino y Shashoua, 1999), recientes investigaciones llevadas a cabo por Shashoua, Schilling y Mazurek (2014) demuestran mediante la desorción de estos absorbentes que el agua, el ácido acético y el dietil ftalato (DEP) compiten por el espacio de los poros de las zeolitas, en el caso de los dos últimos, probablemente debido a que los diámetros de sus moléculas son similares. Esto provoca que si en lugar de absorber el ácido acético, la zeolita extrae el plastificante, el acetato de celulosa se puede contraer y volverse quebradizo.

El carbón activado se utilizaba para inhibir la degradación de los objetos de nitrato de celulosa mediante la adsorción de su producto de degradación principal, el óxido de nitrógeno, con el fin de evitar así su autocatálisis (Shashoua y Ward, 1999).

La principal diferencia entre las zeolitas y el carbono activado radica en cómo retienen los contaminantes. El carbono activado sujeta las moléculas débilmente mediante fisisorción, mientras que las zeolitas las sostienen en sus poros por quimisorción o enlaces covalentes, los cuales presentan aproximadamente diez veces más energía. Otra de las diferencias entre estos dos métodos es que las zeolitas son capaces de reducir la humedad ambiental, mientras que el carbono activado no es polar, por lo que tiene alta afinidad por las moléculas orgánicas y baja por el agua (Shashoua, Schilling y Mazurek, 2014).

The Plastics Historical Society (2015) y Coughlin (2018) desaconsejan el uso tanto de absorbentes (zeolitas) como de adsorbentes (carbono activado) para la preservación del acetato de celulosa, nitrato de celulosa y PVC, ya que pueden inducir o acelerar la pérdida de plastificantes, como ya apuntaba Shashoua, Schilling y Mazurek (2014) en el caso específico de la interacción entre las zeolitas y el acetato de celulosa; sosteniendo que en el único supuesto que sería aceptable su utilización sería en el caso de que el plástico ya hubiese perdido todo su plastificante.

Asimismo, se ha detectado que, aunque de manera menos extendida, a lo largo de la historia también se han empleado otros métodos como el gel de sílice o el Corrosion Intercept. El primero se utilizó para reducir la contaminación por ácido acético (Kopaç y Kocabas, 2002); mientras que el segundo, a pesar de que se desarrolló para proteger a los metales de la corrosión también se usó para inhibir la degradación del acetato de celulosa (Mossman y Abel, 2007).

Finalmente, es importante resaltar que Shashoua, Schilling y Mazurek (2014) en una investigación llevada a cabo para testar la eficiencia de sorbentes en la inhibición de contaminantes gaseosos concluyeron que la utilización de cartón de calidad archivo<sup>103</sup> para los embalajes de los plásticos emisores, es más eficaz que cualquiera de los hasta ahora mencionados; si bien para asegurar su eficacia es preciso cambiar los embalajes anualmente. Entre los sorbentes testados el Corrosion Intercept fue el que dio mejores resultados, seguido de las zeolitas 4 Å, el carbón activado y el gel de sílice.

### 2.3.2 Situación actual; pautas de conservación generales y específicas recogidas mediante encuestas

Los resultados de las encuestas enviadas a los responsables de colecciones contemporáneas han permitido conocer de primera mano las pautas de conservación que siguen los museos e instituciones para preservar sus obras realizadas en plástico. Las respuestas obtenidas ponen en evidencia la ausencia de protocolos específicos para la conservación de estas obras, como ya veíamos en el extracto que se expone en el estado de la cuestión, en concreto en el apartado 1.4.4.2 *Datos extraídos mediante encuestas*. Por este motivo, se envió un nuevo cuestionario a los mismos museos<sup>104</sup>, con el fin de conocer de primera mano, las pautas que sus conservadores aplican a las obras a las que hacemos referencia.

El cuestionario en esta ocasión se componía de cinco preguntas mediante las que se trataba de abordar distintos aspectos de la conservación de las obras de arte realizadas en plástico:

1. ¿Se utilizan los mismos parámetros para obras en buen estado de conservación que para aquellas que presentan algún tipo de deterioro?

---

103 El cartón de calidad archivo utilizado para este fin debe cumplir la norma ISO 11108:1996, la cual certifica que se trata de un cartón libre de lignina, que contiene al menos un 2% de carbonato de cálcico y posee un pH entre 7,5 y 10.

104 Artium (Vitoria, País Vasco), Centro Andaluz de Arte Contemporáneo (Sevilla, Andalucía), Centro Atlántico de Arte Moderno (Las Palmas, Canarias), Denver Art Museum (Denver, Estados Unidos), Die neue sammlung -The international design museum (Munich, Alemania), Fundación Gala-Dalí (Figueres, Cataluña), Guggenheim Bilbao (Bilbao, País Vasco), Kunststoff-Museums-Verein e. V. (Düsseldorf, Alemania), Museum of Design in Plastics (Poole, Inglaterra), Museum of Modern Art (Nueva York, Estados Unidos), Pinacoteca do Estado de São Paulo (São Paulo, Brasil), Science Museum London (Londres, Inglaterra), Smithsonian (Washington DC, Estados Unidos), , Statens Museum for Kunsts (København, Dinamarca), Tampere Museum (Tampere, Finlandia), Victoria & Albert (Londres, Inglaterra), Vitra Design Museum (Weil am Rhein, Alemania) y Vostell Malpartida (Cáceres, Extremadura).

2. ¿Se almacenan y exhiben las obras deterioradas y las que se encuentran en buen estado juntas?
3. ¿Se realiza algún tipo de mantenimiento como medida de prevención?
4. ¿Se realiza algún control de emisiones de gases contaminantes?
5. Llegando el caso de que la obra se encuentre en riesgo de desaparición, se opta por ¿la conservación preventiva, la intervención, la réplica o la documentación?, ¿La toma de estas decisiones se realiza de forma individualizada o se siguen directrices propias o de algún organismo como el IIC?

Se obtuvieron respuestas de quince museos, seis nacionales<sup>105</sup>, seis europeos<sup>106</sup> y tres americanos<sup>107</sup>. Las encuestas revelan que once museos<sup>108</sup> establecen los parámetros ambientales en función de estado de conservación de las obras, especialmente en cuestiones de iluminación, dos<sup>109</sup> no lo hacen, aunque el Die neue sammlung -Design Museum puntualiza que en ocasiones hace excepciones con las obras de caucho y las almacena en bolsas en el interior de las cuales genera un ambiente en anoxia mediante absorbentes. Mientras que dos<sup>110</sup> de los museos encuestados no respondieron a esta cuestión.

---

105 Artium (Vitoria, País Vasco), Centro Andaluz de Arte Contemporáneo (Sevilla, Andalucía), Centro Atlántico de Arte Moderno (Las Palmas, Canarias), Fundación Gala-Dalí (Figueres, Cataluña), Guggenheim Bilbao (Bilbao, País Vasco) y Vostell Malpartida (Cáceres, Extremadura).

106 Die neue sammlung -The international design museum (Munich, Alemania), Kunststoff-Museums-Verein e. V. (Düsseldorf, Alemania), Museum of Design in Plastics (Poole, Inglaterra), Statens Museum for Kunsts (København, Dinamarca), Tampere Museum (Tampere, Finlandia) y Victoria & Albert (Londres, Inglaterra).

107 Denver Art Museum (Denver, Estados Unidos), Museum of Modern Art (Nueva York, Estados Unidos) y Pinacoteca do Estado de São Paulo (São Paulo, Brasil).

108 Artium (Vitoria, País Vasco), Centro Andaluz de Arte Contemporáneo (Sevilla, Andalucía), Centro Atlántico de Arte Moderno (Las Palmas, Canarias), Denver Art Museum (Denver, Estados Unidos), Fundación Gala-Dalí (Figueres, Cataluña), Guggenheim Bilbao (Bilbao, País Vasco), Museum of Design in Plastics (Poole, Inglaterra), Pinacoteca do Estado de São Paulo (São Paulo, Brasil), Statens Museum for Kunsts (København, Dinamarca), Victoria & Albert (Londres, Inglaterra) y Vostell Malpartida (Cáceres, Extremadura).

109 Die neue sammlung -The international design museum (Munich, Alemania) y Kunststoff-Museums-Verein e. V. (Düsseldorf, Alemania).

110 Museum of Modern Art (Nueva York, Estados Unidos) y Tampere Museum (Tampere, Finlandia).

En cuanto a si almacenan o exhiben las obras degradadas y las obras en buen estado de conservación juntas, siete<sup>111</sup> responden en sentido afirmativo; seis<sup>112</sup> no lo hacen y dos<sup>113</sup> se han abstenido. Cabe señalar que la gran mayoría de los que no siguen esta pauta lo achacan a problemas de espacio o curatoriales.

En lo relativo a si realizan algún tipo de mantenimiento como medida de conservación, cuatro<sup>114</sup> de ellos contestaron que sí; mientras que el resto no respondieron a la pregunta.

De las respuestas obtenidas se extrae que tan solo tres museos realizan algún tipo de control de emisiones de contaminantes gaseosos intrínsecos, y lo hacen de forma muy distinta; el Tampere Museum utiliza un equipamiento (el cual no especifica) que le permite hacer un control general de COVs en tiempo real; el Denver Art Museum hace un control empírico periódico (olfato) y el Museo Guggenheim de Bilbao utiliza A-D Strips, por lo que sólo hace un seguimiento de los ácidos volátiles. Asimismo, parece ser que el principal motivo por el cual no se llevan a cabo este tipo de controles es la falta de recursos para estos fines.

Por último, todos los museos que han respondido<sup>115</sup> a la pregunta sobre si la toma de decisiones se realiza de forma individualizada o se siguen directrices propias o de algún otro organismo, sostienen que lo hacen de

111 Centro Andaluz de Arte Contemporáneo (Sevilla, Andalucía), Centro Atlántico de Arte Moderno (Las Palmas, Canarias), Denver Art Museum (Denver, Estados Unidos), Die neue sammlung -The international design museum (Munich, Alemania), Pinacoteca do Estado de São Paulo (São Paulo, Brasil), Statens Museum for Kunst (København, Dinamarca) y Tampere Museum (Tampere, Finlandia).

112 Fundación Gala-Dalí (Figueras, Cataluña), Kunststoff-Museums-Verein e. V. (Düsseldorf, Alemania), Museum of Design in Plastics (Poole, Inglaterra), Museum of Modern Art (Nueva York, Estados Unidos), Victoria & Albert (Londres, Inglaterra) y Vostell Malpartida (Cáceres, Extremadura).

113 Artium (Vitoria, País Vasco) y Guggenheim Bilbao (Bilbao, País Vasco).

114 Artium (Vitoria, País Vasco), Centro Atlántico de Arte Moderno (Las Palmas, Canarias), Fundación Gala-Dalí (Figueras, Cataluña) y Vostell Malpartida (Cáceres, Extremadura).

115 Artium (Vitoria, País Vasco), Centro Andaluz de Arte Contemporáneo (Sevilla, Andalucía), Centro Atlántico de Arte Moderno (Las Palmas, Canarias), Denver Art Museum (Denver, Estados Unidos), Die neue sammlung -The international design museum (Munich, Alemania), Fundación Gala-Dalí (Figueras, Cataluña), Guggenheim Bilbao (Bilbao, País Vasco), Museum of Design in Plastics (Poole, Inglaterra), Museum of Modern Art (Nueva York, Estados Unidos), Pinacoteca do Estado de São Paulo (São Paulo, Brasil), Statens Museum for Kunst (København, Dinamarca) y Vostell Malpartida (Cáceres, Extremadura).

forma individualizada. Mientras que se desconoce la rutina de tres<sup>116</sup> de ellos, al no haber contestado a la pregunta. En cuanto a los criterios que rigen sus decisiones, y llegado el caso de riesgo de la desaparición de la obra, se opta por la conservación, la intervención, la réplica o la documentación, la respuesta es muy variada. La Pinacoteca de Sao Paolo, el SMK y el Museo Guggenheim de Bilbao toman las decisiones en consenso con el artista si este está vivo; algo contemplado en la metodología de conservación de Arte Contemporáneo, pero siempre haciéndoles propuestas que en el caso del SMK se basan en las directrices del INCCA; mientras que el Museo Guggenheim de Bilbao toma como referencia los últimos avances en la materia y casuísticas similares recogidos en publicaciones especializadas.

La Fundación Gala-Salvador Dalí tiene en cuenta igualmente las directrices de instituciones marco como INCCA o IIC; pero añade además que se basa también en los criterios generales de conservación preventiva para Arte Contemporáneo, al igual que el Museo Artium de Vitoria, el Centro Andaluz de Arte Contemporáneo, el Centro Atlántico de Arte Moderno y Die neue sammlung - Design Museum. Mientras que tanto el Museo Vostell Malpartida como el Devert Art Museum se guían por las directrices que marcan los organismos patrimoniales de los que dependen; American Institute for Conservation y American Alliance of Museums en el caso del primero y el Centro de Conservación y Restauración de Bienes Muebles de la Consejería de Educación y Cultura del Gobierno de Extremadura en el segundo.

---

116 Kunststoff-Museums-Verein e. V. (Düsseldorf, Alemania), Tampere Museum (Tampere, Finlandia) y Victoria & Albert (Londres, Inglaterra).

Página 152 sujeta a confidencialidad  
por la autora

## PARTE III: ESTUDIO EMPÍRICO

### 3.1 Ensayo práctico

#### 3.1.1 Introducción

Para la preparación del ensayo hemos seleccionado finalmente seis plásticos; poliéster, PVC, caucho, poliuretano y acetato de celulosa, junto al PMMA.

Si bien veíamos en el apartado 2.1, cómo los plásticos más peligrosos por su potencial para emitir compuestos volátiles son el poliéster, el PVC, el caucho, el poliuretano, el acetato de celulosa y el nitrato de celulosa; se ha descartado el nitrato de celulosa debido a que su presentación comercial no permitía su incorporación al ensayo<sup>117</sup>. Sin embargo, hemos considerado interesante sumar a los cinco restantes, el PMMA que pese a no aparecer señalado como peligroso, es uno de los más presentes en las obras de arte contemporáneo.

De la revisión de las investigaciones sobre plásticos emisores se extrae que ningún estudio define con claridad no solo el nivel de virulencia de cada plástico emisor de volátiles nocivos, sino tampoco la relación entre su grado de envejecimiento y su tasa de emisión de contaminantes; así como la que existe entre la concentración de contaminantes, el volumen del contenedor y el tiempo de exposición. Y por otro lado, como veíamos en el apartado 2.1 *Los plásticos emisores de contaminantes gaseosos en ambientes museísticos. Definición del problema*, tampoco se tienen evidencias científicas de que las obras de arte contemporáneo realizadas en PMMA no emanen ningún tipo de sustancia volátil peligrosa.

Para dar respuesta a los interrogantes que han quedado planteados se ha considerado de interés, por un lado, introducir tres variables: influencia del envejecimiento de la muestra, tiempo de exposición de las A-D Strips a las muestras y volumen del contenedor que las alberga. Y por otro, testar el PMMA junto al caucho, acetato de celulosa, PVC, poliéster y poliuretano, para comprobar si emite o no sustancias nocivas. Dichas variables son las que han permitido el estudio y análisis de los datos obtenidos en el ensayo.

---

117 Solo se han localizado proveedores que suministren nitrato de celulosa en su presentación en polvo.

El ensayo práctico se ha estructurado en cuatro partes; preparación de las muestras, envejecimiento acelerado de las mismas, acondicionamiento de contenedores para alojar las muestras y posterior lectura de resultados. En la primera fase se han preparado un total de noventa muestras, todas ellas en forma de cubo de dos centímetros de lado, que corresponden a tres sets, cada uno de ellos compuesto por cinco muestras de cada material (caucho, acetato de celulosa, PVC, poliuretano, poliéster y PMMA)

En la segunda fase, las muestras, a excepción de los testigos han sido envejecidas artificialmente, sometiendo cuatro muestras de cada plástico a un ciclo de envejecimiento diferente: el ciclo 1 de 100h, el ciclo 2 de 300h, el ciclo 3 de 600h y el ciclo 4 de 1200h.

La tercera parte ha consistido en la preparación y acondicionamiento de los contenedores utilizados para alojar las muestras en su interior y realizar después las lecturas. En la última fase se ha procedido a realizar la lectura de los resultados comparando las A-D Strips con la banda de colores del lápiz de referencia que se proporciona con ellas; se ha implementado además, un análisis colorimétrico efectuado con un espectrofotómetro de reflectancia, ya que en un estudio anterior llevado a cabo por Hackney (2016) se pudo demostrar que este sistema aporta datos objetivos y reproducibles que no se pueden conseguir mediante la lectura con el lápiz de referencia.

### 3.1.2 Metodología experimental

En este apartado describiremos la metodología experimental diseñada con el fin de que permitiera el desarrollo de la investigación; indicando los pasos seguidos en la preparación tanto de las muestras, como los de contenedores.

También se explican las técnicas de análisis y ensayo; así como los protocolos que han sido utilizados para el envejecimiento y caracterización material de las muestras, al igual que para la medición de los contaminantes gaseosos ácidos emitidos por cada una de ellas.

Respecto a las técnicas de análisis empleadas, se aportan las referencias de los estudios en los que están basadas; y se describe el equipamiento utilizado, sus características técnicas y las condiciones de trabajo en las que se han efectuado.

Asimismo, se exponen los protocolos tomados como modelo para proceder a los ensayos de envejecimiento artificial acelerado, bajo variables controladas de radiación arco-xenón, temperatura y humedad; y para la medición de

contaminantes gaseosos ácidos, en la que se han tenido en cuenta parámetros como la iluminación, la temperatura, la humedad relativa, el área de emisión, la capacidad del contenedor y la tasa de fuga de aire.

|   |  |  |                                |                             |
|---|--|--|--------------------------------|-----------------------------|
| PLÁSTICOS TESTADOS  |  | PMMA   | Poliéster                      | PVC                         |
|   |  | Caucho   | Poliuretano                    | Acetato de celulosa         |
| VARIABLES   |  | Influencia del envejecimiento de la muestra              |                                |                             |
|   |  | Influencia del tiempo de exposición a las A-D Strips     |                                |                             |
|   |  | Influencia del volumen del contenedor                    |                                |                             |
| E<br>S<br>T<br>R<br>U<br>C<br>T<br>U<br>R<br>A:<br>4<br>F<br>A<br>S<br>E<br>S | 1. Preparación de muestras                       | 90 muestras = 3 sets x 6 plásticos x 5 muestras/plástico |                                |                             |
|   |  | Forma y tamaño: cubo de 2 cm                             |                                |                             |
|   |  | Superficie emisora: 20 cm <sup>2</sup>                   |                                |                             |
|   | 2. Envejecimiento acelerado                      | Ciclo de envejecimiento acelerado                        | Horas envejecimiento acelerado | Correspondencia años reales |
|   |  | CE-0   | Sin envejecer                  | 0 años                      |
|   |  | CE-1   | 100h                           | 25 años                     |
|   |  | CE-2   | 300h                           | 75 años                     |
|   |  | CE-3   | 600h                           | 150 años                    |
|   |  | CE-4   | 1200h                          | 300 años                    |
|   | 3. Preparación y montaje del sistema de medición | Contenedores de vidrio                                   | Cubicaje                       | Correspondencia             |
|   |  |  | 90 cm <sup>3</sup>             | Embalaje                    |
|   |  |  | 320 cm <sup>3</sup>            | Vitrina individual          |
|   |  |  | 1000 cm <sup>3</sup>           | Vitrina compartida          |
|   |  | A-D Strips   | Sujetas con hilos de nylon     |                             |
|   | Sellado  | Parafilm   |                                |                             |
|   | 4. Lectura y análisis de datos                   | Parámetros ambientales                                   | Iluminación                    | 0 lux                       |
|   |  |  | Humedad relativa               | 60% (+-2)                   |
|   |  |  | Temperatura                    | 19 °C (+-1)                 |
|   |  | Tiempos de exposición                                    | TE-1                           | 1 semana                    |
|   |  |  | TE-2                           | 3 semanas                   |
| TE-3  |  |  | 6 semanas                      |                             |
| Lecturas  |  | Patrón de equivalencias                                  |                                |                             |
|   | Espectrofotómetro                                |  |                                |                             |

Tabla 19: resumen de las fases del ensayo práctico: plásticos testados, variables y fases del ensayo práctico

### 3.1.2.1 Preparación de muestras

Las muestras han sido preparadas atendiendo principalmente a las características de los materiales a testar; las dimensiones interiores de la cámara de envejecimiento, con el fin de optimizar el espacio disponible; y el volumen necesario de plástico para llevar a cabo la medición de compuestos volátiles ácidos. Considerando todo ello, las dimensiones finales de las muestras son de 2 x 2 x 2 cm, es decir, cubos de dos centímetros de lado<sup>118</sup>, por lo que si tenemos en cuenta que cinco de las seis caras se encuentran expuestas, ya que la sexta ejerce de base, la superficie emisora de cada una de las muestras es de 20 cm<sup>2</sup>.

### 3.1.2.2 Envejecimiento acelerado

Hemos explicado cómo cuatro de las cinco muestras que hay de cada plástico en cada set se han sometido a un proceso de fotoenvejecimiento acelerado artificial con el objetivo de obtener cinco estados diferentes de envejecimiento por cada tipo de plástico, el testigo más los cuatro envejecidos.

Para llevar a cabo el envejecimiento acelerado se ha utilizado una cámara de luz xenón Solarbox 1500 dotada de una lámpara de xenón refrigerada con aire que trabaja con sensor de irradiancia para el control de la exposición hasta los 1000 W/m<sup>2</sup> (en la banda de 300 – 800 nm.); control de temperatura a la altura de la muestra por medio de un BST (Black Standard Thermometer). Con opción de filtros de UV para simular condiciones tanto de exterior como de interior.

Para el diseño del protocolo de envejecimiento artificial acelerado bajo la acción de la radiación Arco-Xenón se siguieron las pautas de envejecimiento seguidas por la Amedeo Avogadro University of Eastern Piedmont para la predicción y clasificación del estado de degradación de los plásticos utilizados en Arte Contemporáneo, basada en la norma ISO 4892-2b. Se someten las muestras a una radiación de 700 W/m<sup>2</sup> con un filtro que elimina las radiaciones UV por debajo de aproximadamente 310 nm que simula la exposición de interior; y un control de temperatura (BST) a 50°C y de humedad relativa al 60% (Manfredi, Barberis y Marengo, 2016).

En la introducción de este apartado, indicábamos que los ciclos de

---

<sup>118</sup> En el caso del acetato de celulosa, debido a la imposibilidad de obtener una lámina de 2 cm de grosor, se ha optado por superponer 10 láminas de 0,2 x 2 x 2 cm, simplemente colocadas unas encima de otras, sin ningún tipo de adhesivo.

envejecimiento a los que se han sometido las muestras que han sido cuatro: 100h, 300h, 600h y 1200h; que a su vez se corresponden a 25, 75, 150 y 300 años aproximadamente si nos basamos en los factores de conversión utilizados por Thea Van Oosten en su libro PUR Facts (2011) en el que establece que 4h de envejecimiento acelerado para plásticos mediante radiación de arco-xenón (en condiciones que simulan el envejecimiento en ambientes museísticos, como los descritos en el párrafo anterior) es equivalente a 1 año real a 200 lux.

Las muestras se han introducido en la cámara de envejecimiento por ciclos, empezando por el más largo (Ciclo 4: 1200h) y terminando por el más corto (Ciclo 1: 100h) con el objetivo de que todas ellas terminasen el envejecimiento al mismo tiempo; es decir, en primer lugar se han introducido las muestras del ciclo 4 (1200h), una vez transcurridas 600h de envejecimiento las del ciclo 3 (600h), tras 900h las del 2 (300h) y a las 1100h de envejecimiento las del 1 (100h,) de esta forma se ha conseguido que todas las muestras envejecidas estén preparadas en el mismo momento para ser sometidas a la detección de compuestos volátiles ácidos con A-D Strips.

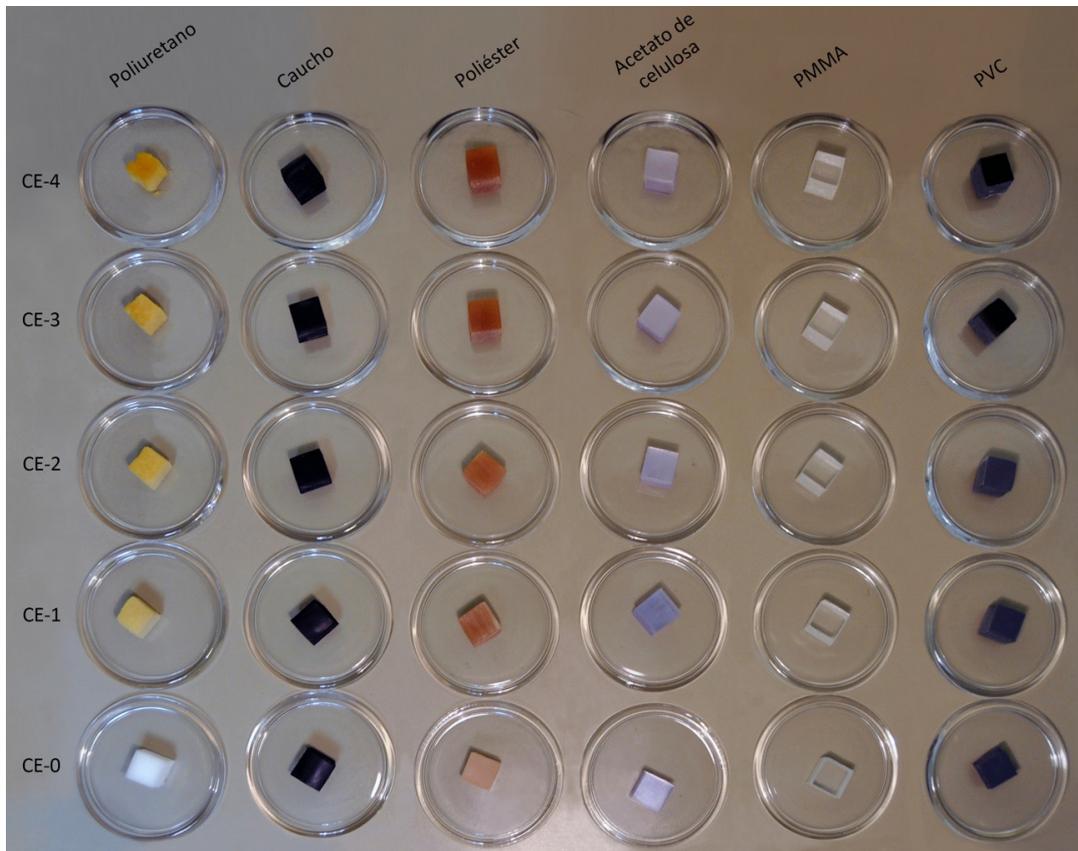


Figura 43: fotografía general de un set completo de muestras: poliuretano, caucho, poliéster, acetato de celulosa, PMMA, PVC (de izquierda a derecha); y ciclos de envejecimiento CE-0, CE-1, CE-2, CE-3 y CE-4 (de abajo a arriba)

### 3.1.2.3 Caracterización de los plásticos

#### 3.1.2.3.1 Equipo utilizado y condiciones de trabajo

La caracterización de los polímeros se ha realizado en el Instituto Polymat<sup>119</sup> con espectroscopia infrarroja transformada de Fourier de reflectancia total atenuada (ATR-FTIR) utilizando un espectrómetro FTIR Thermo Nicolet 6700, con detector DTGS, cubriendo un rango de 4000 a 400  $\text{cm}^{-1}$ , con una resolución de 4  $\text{cm}^{-1}$ , y un registro de espectros de 64 barridos. Se ha empleado un accesorio de reflectancia total atenuada (ATR) (Golden Gate, specac) de cristal de diamante. Todos los espectros han sido recogidos a temperatura ambiente y analizados bajo la supervisión de la Dra. Lourdes Irusta<sup>120</sup> utilizando el software Omnic v 7.3.

#### 3.1.2.3.2 Caucho

Las bandas asignadas permiten identificar la muestra como un caucho sintético vulcanizado tipo etileno-propileno-dieno (EPDM) con carga inorgánica de talco. El análisis comparativo de los espectros correspondientes a los distintos ciclos de envejecimiento hace ver como a medida que la muestra se encuentra más envejecida presenta una mayor presencia de talco en la superficie, y por tanto, evidencian que a medida que aumenta el tiempo de exposición la carga migra al exterior.

---

119 Polymat es un instituto de investigación perteneciente a la Universidad del País Vasco (UPV/EHU) especializado en el campo de los polímeros

120 Doctora en Ciencias Químicas y profesora titular en el Departamento de Polímeros y Materiales Avanzados: Física, Química y Tecnología de la Facultad de Química (Donostia) de la Universidad del País Vasco

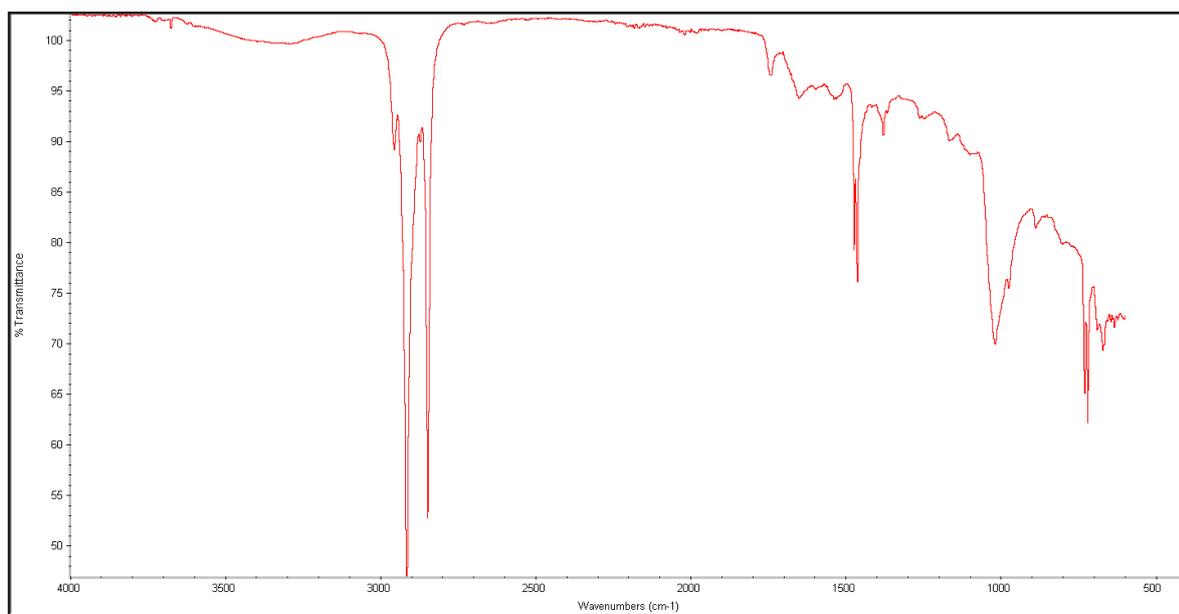


Figura 44: espectro FTIR-ATR correspondiente con la muestra de caucho del CE-0

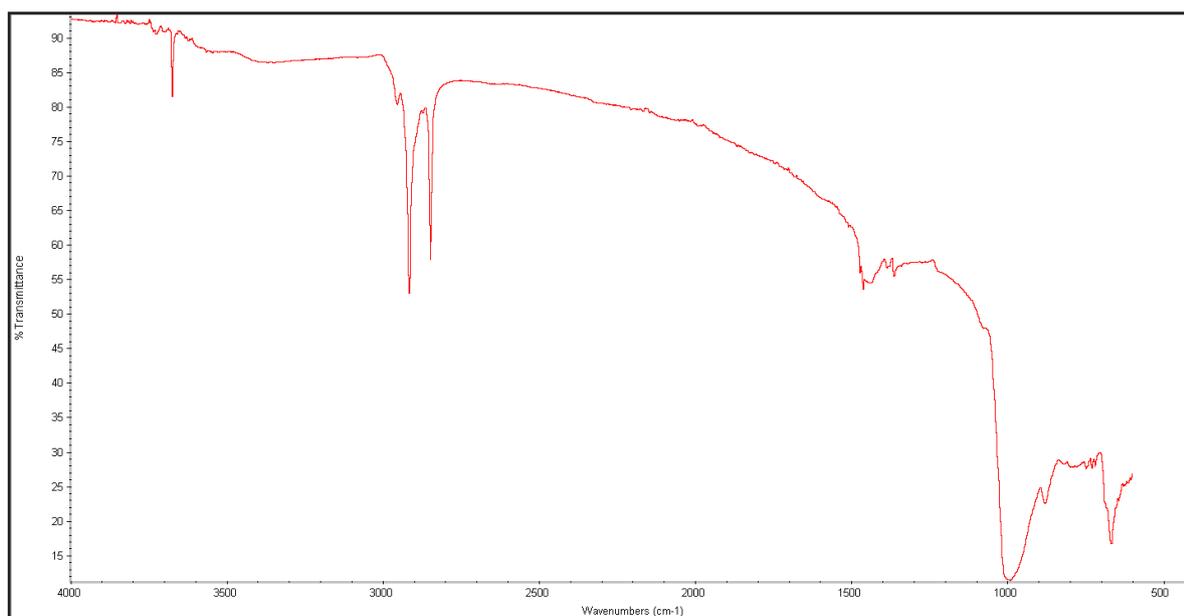


Figura 45: espectro FTIR-ATR correspondiente con la muestra de caucho del CE-1

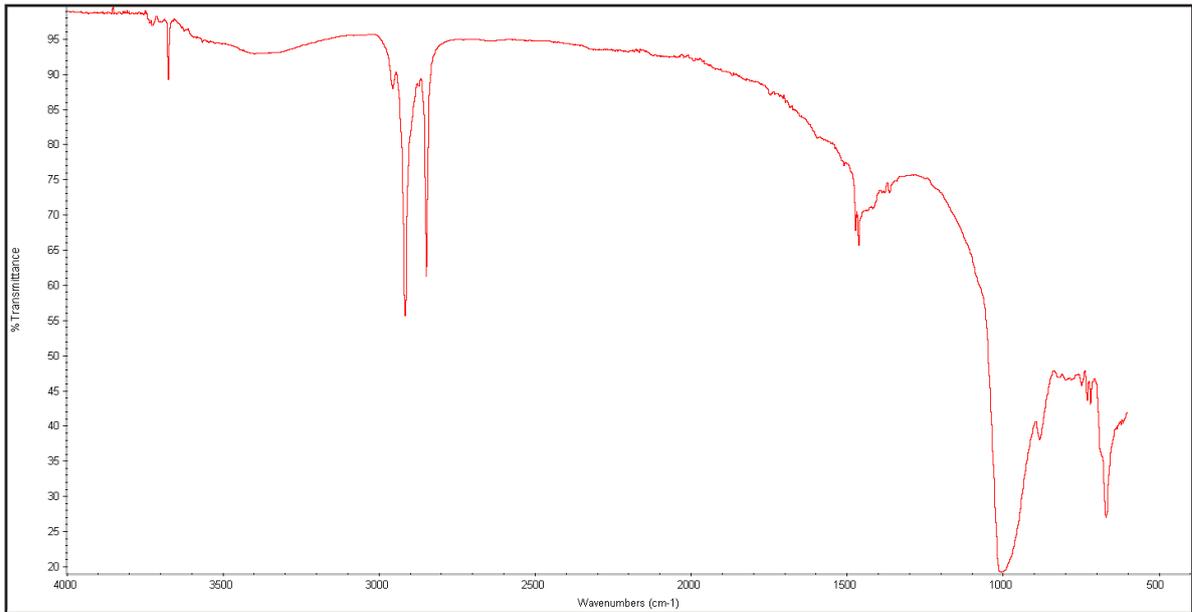


Figura 46: espectro FTIR-ATR correspondiente con la muestra de caucho del CE-2

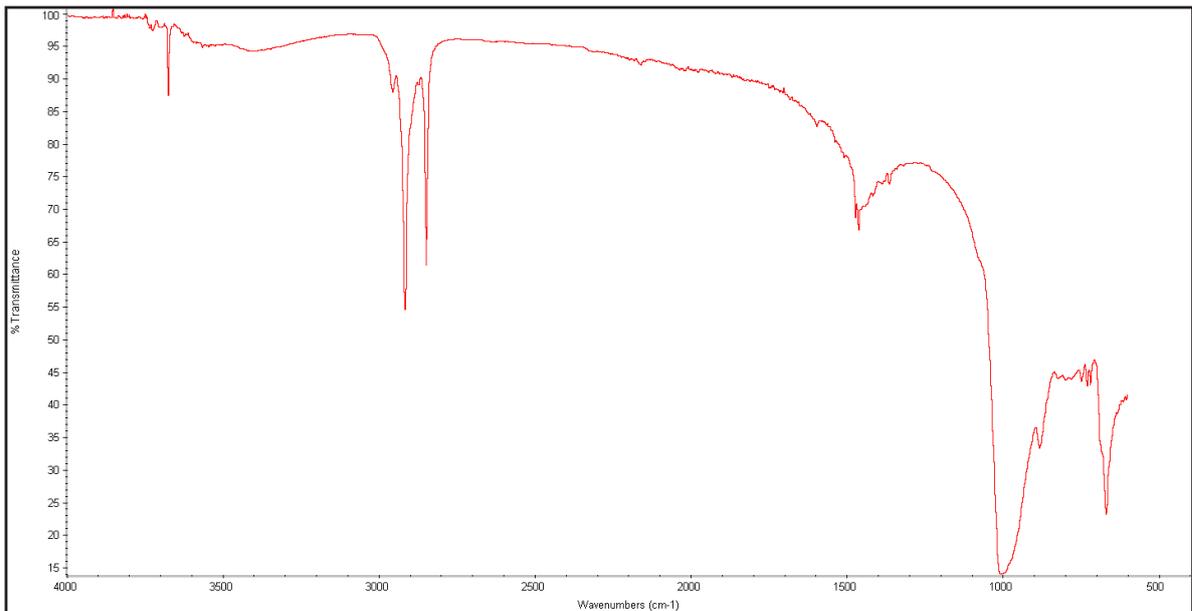


Figura 47: espectro FTIR-ATR correspondiente con la muestra de caucho del CE-3

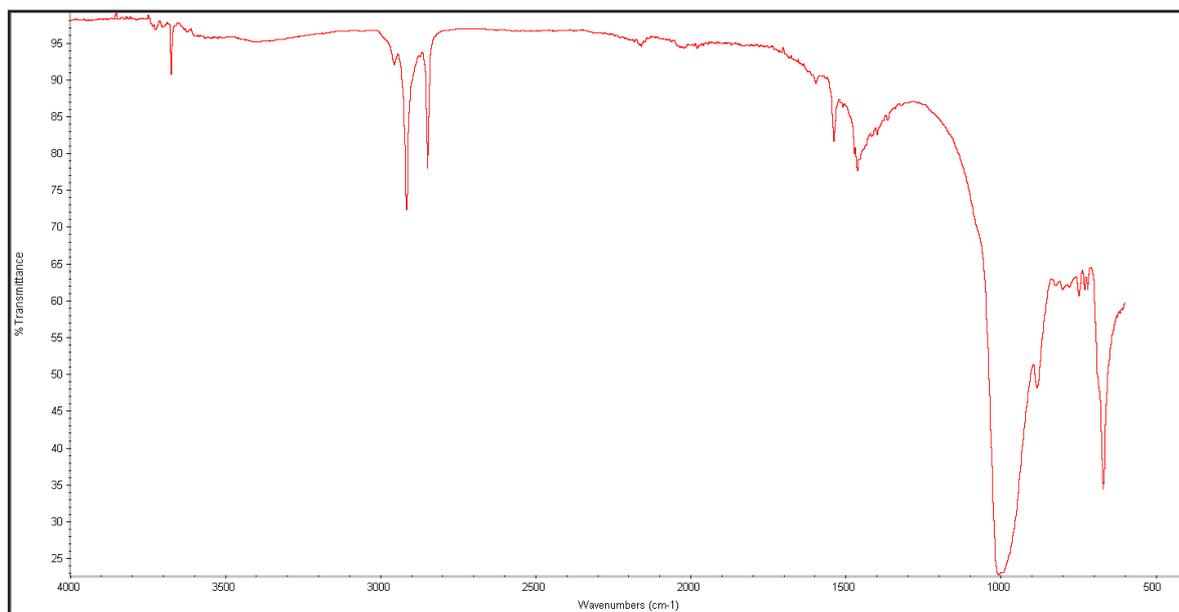


Figura 48: espectro FTIR-ATR correspondiente con la muestra de caucho del CE-4

### 3.1.2.3.3 Acetato de celulosa

Las bandas asignadas muestran que se trata de acetato de celulosa plastificado, el cual a medida que se fotooxida va perdiendo el plastificante.

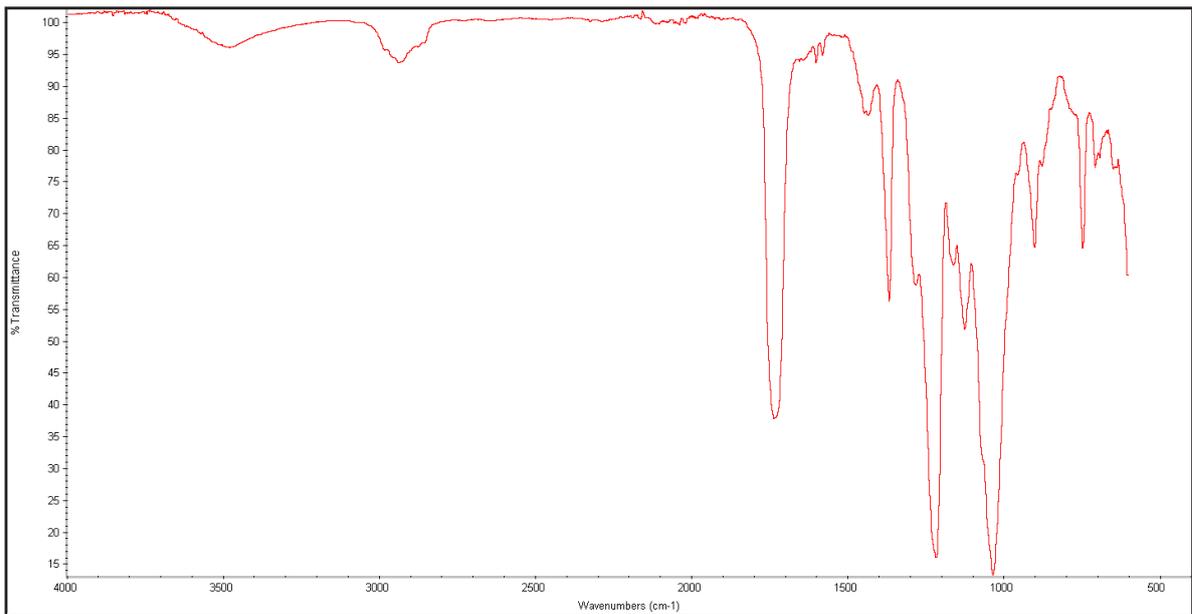


Figura 49: espectro FTIR-ATR correspondiente con la muestra de acetato de celulosa del CE-0

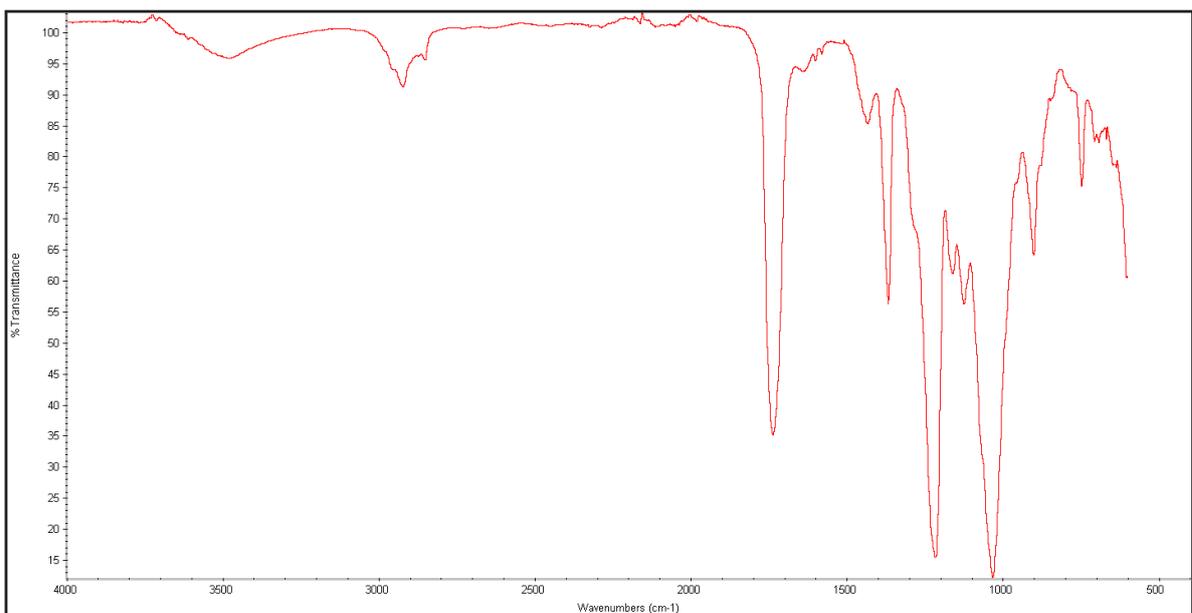


Figura 50: espectro FTIR-ATR correspondiente con la muestra de acetato de celulosa CE-1

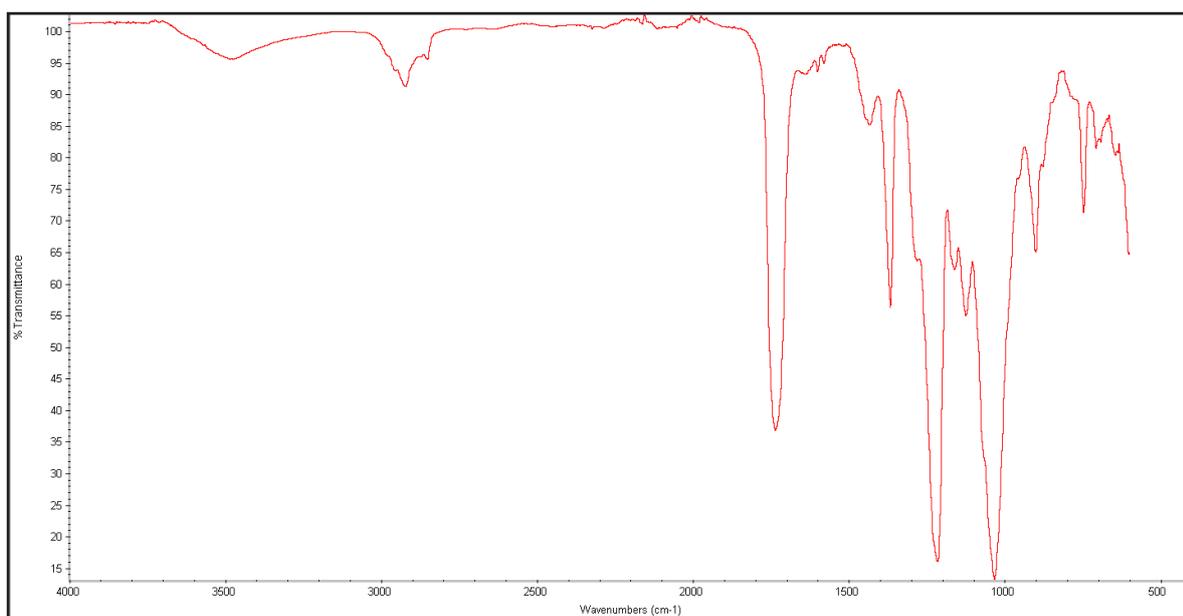


Figura 51: espectro FTIR-ATR correspondiente con la muestra de acetato de celulosa CE-2

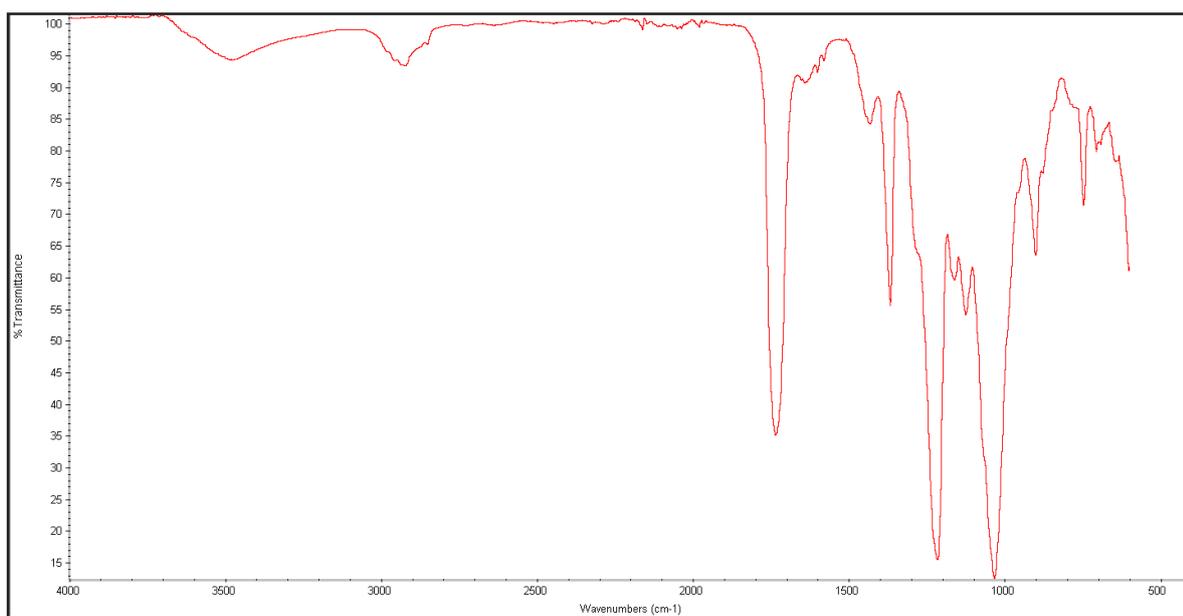


Figura 52: espectro FTIR-ATR correspondiente con la muestra de acetato de celulosa CE-3

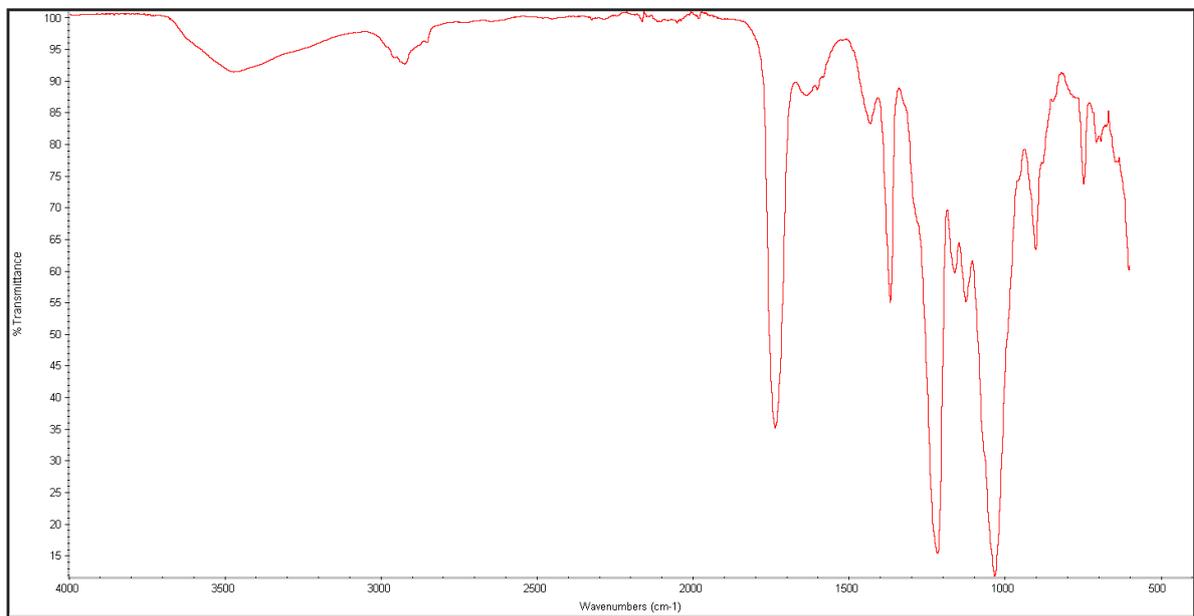


Figura 53: espectro FTIR-ATR correspondiente con la muestra de acetato de celulosa CE-4

### 3.1.2.3.4 PVC

Las bandas asignadas permiten identificar que la muestra analizada es policloruro de vinilo con carga inorgánica, en concreto carbonato de calcio. Los primeros espectros no muestran cambios significativos. Sin embargo, los espectros obtenidos a tiempos de degradación superiores muestran bandas debidas a agua, que posiblemente provienen de una hidratación de la muestra durante su exposición.

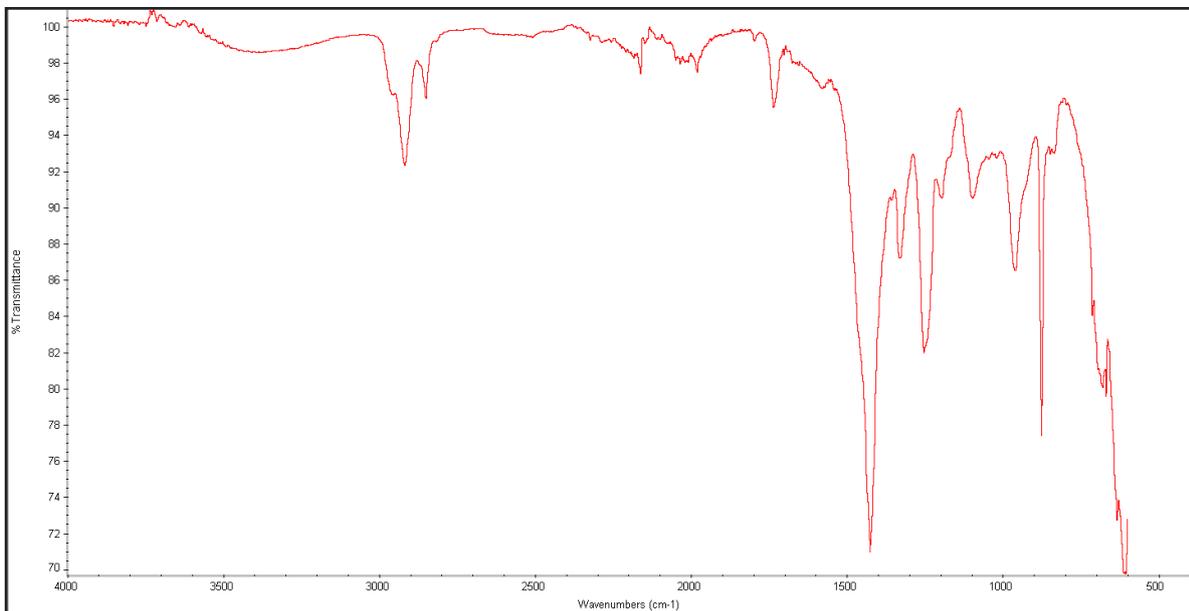


Figura 54: espectro FTIR-ATR correspondiente con la muestra de PVC del CE-0

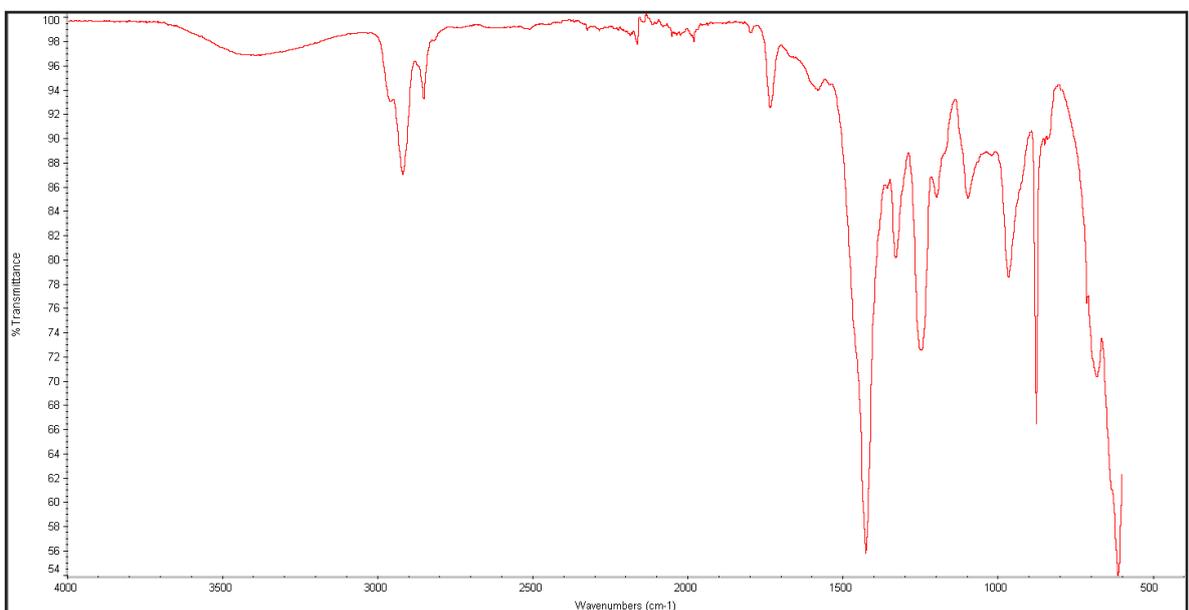


Figura 55: espectro FTIR-ATR correspondiente con la muestra de PVC del CE-1

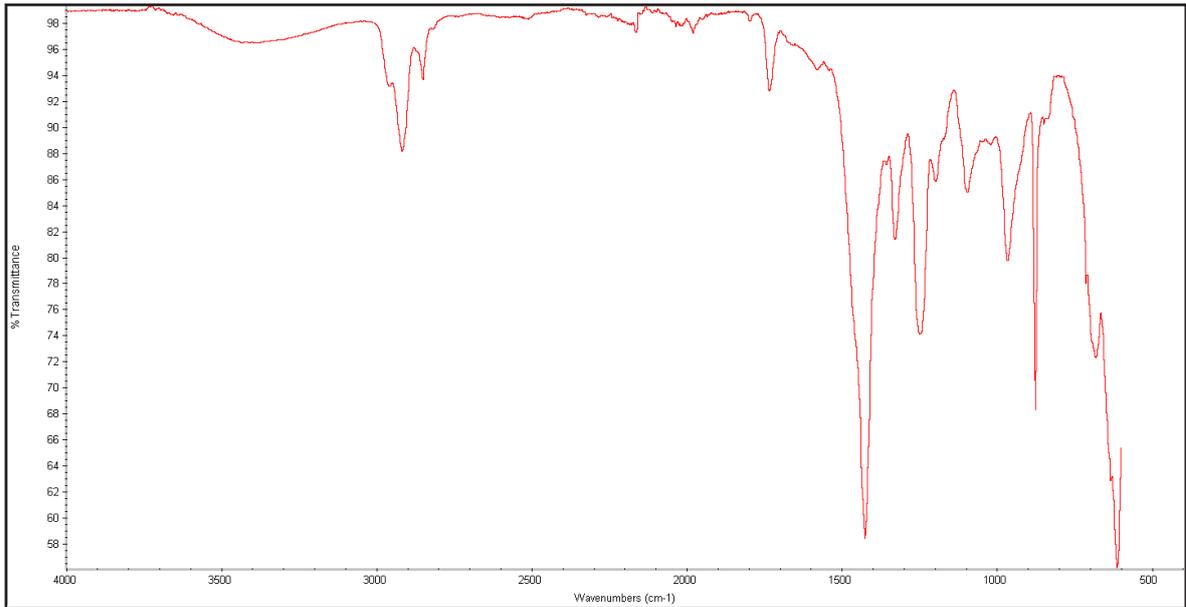


Figura 56: espectro FTIR-ATR correspondiente con la muestra de PVC del CE-2

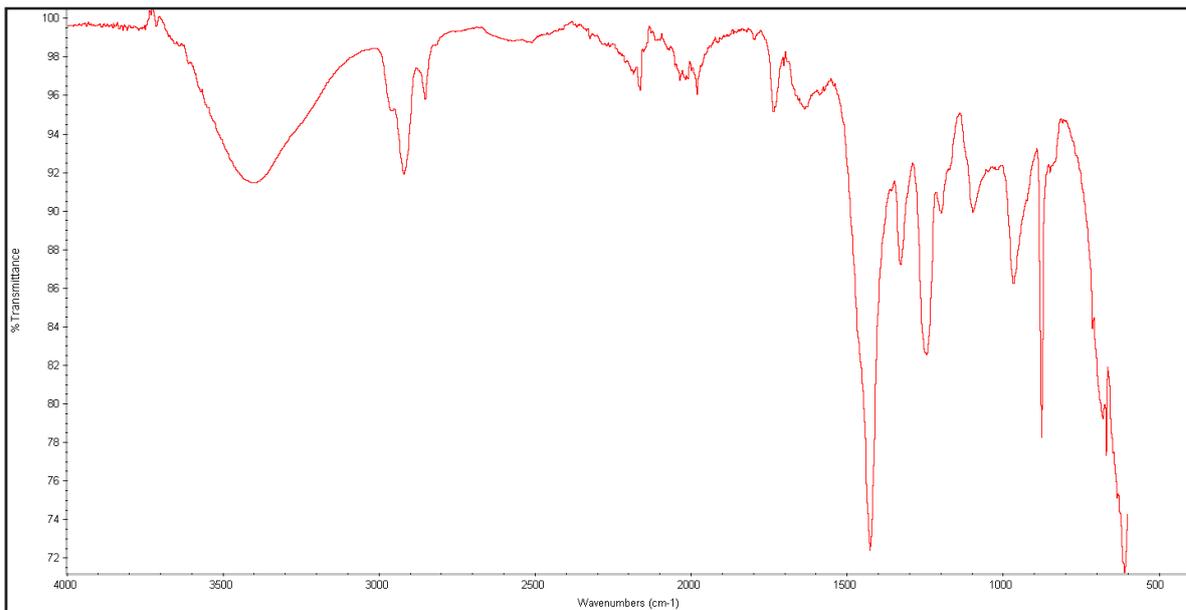


Figura 57: espectro FTIR-ATR correspondiente con la muestra de PVC del CE-3

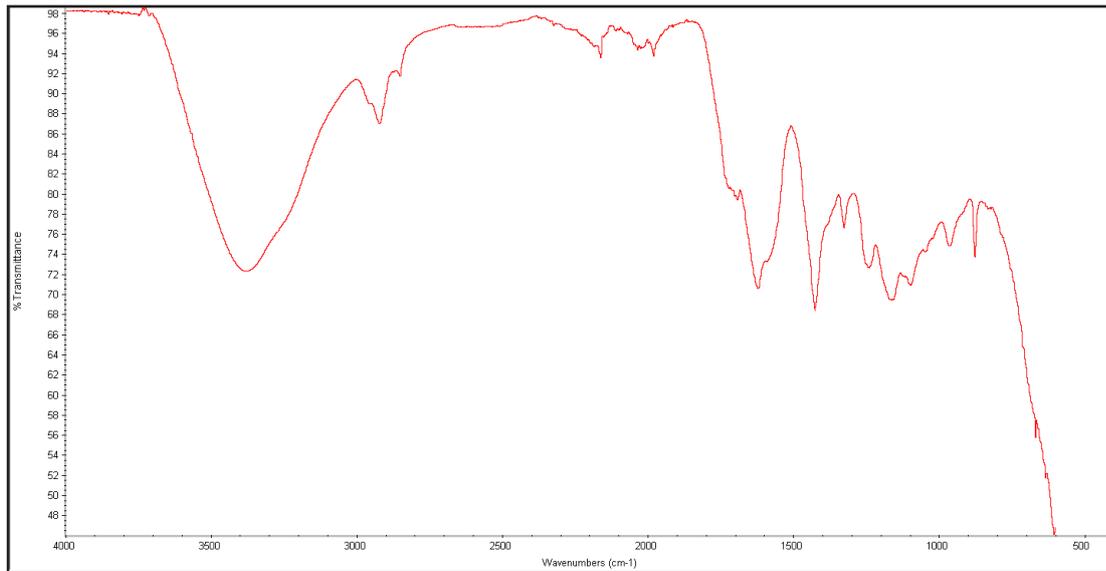


Figura 58: espectro FTIR-ATR correspondiente con la muestra de PVC del CE-4

### 3.1.2.3.5 PMMA

Las bandas asignadas permiten identificar la muestra como polimetilmetacrilato, no observándose cambios significativos entre las muestras correspondientes con los distintos ciclos de envejecimiento.

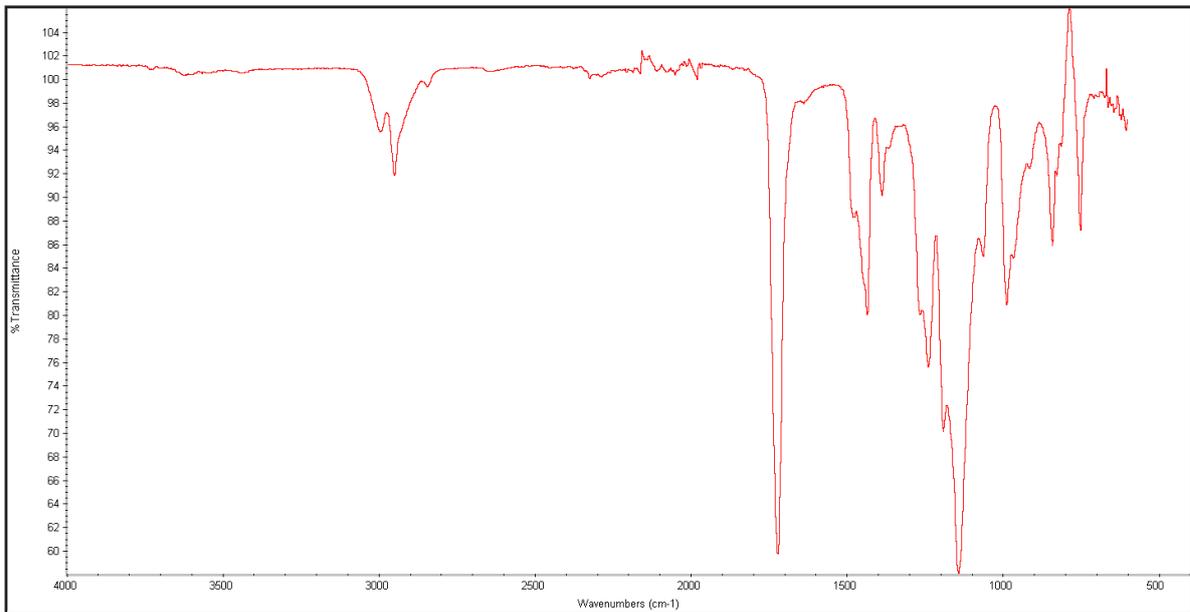


Figura 59: espectro FTIR-ATR correspondiente con la muestra de PMMA del CE-0

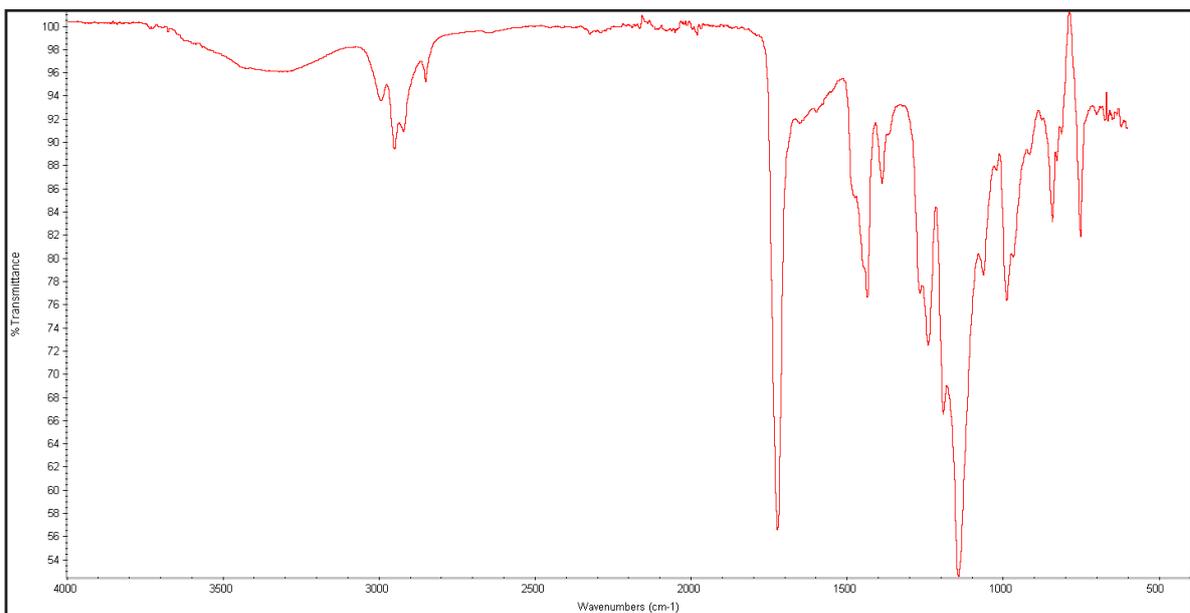


Figura 60: espectro FTIR-ATR correspondiente con la muestra de PMMA del CE-1

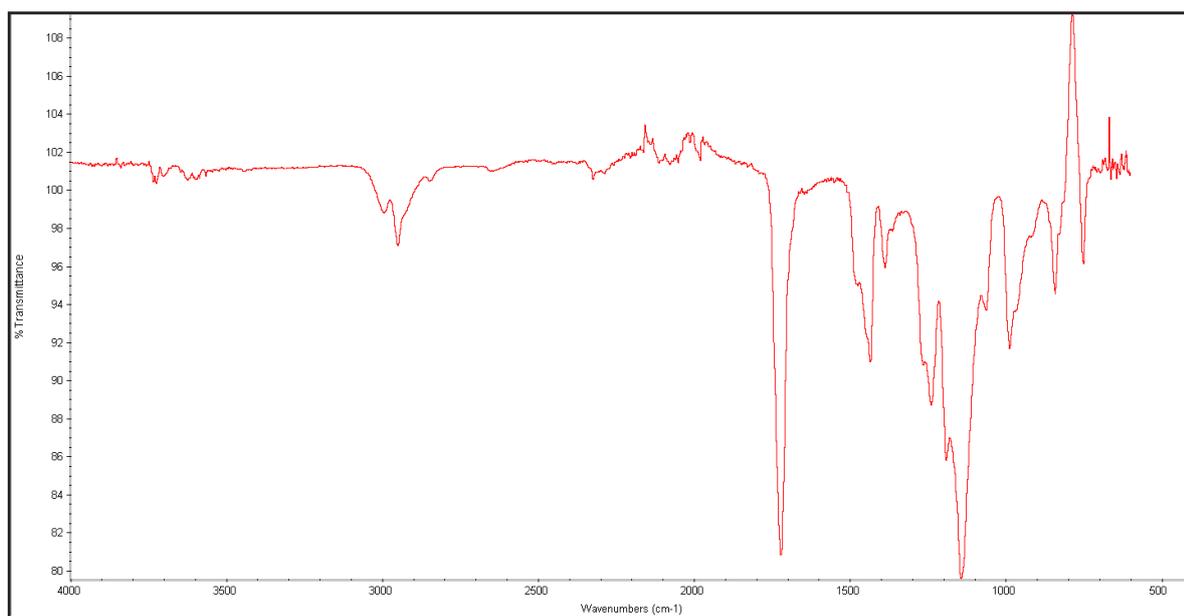


Figura 61: espectro FTIR-ATR correspondiente con la muestra de PMMA del CE-2

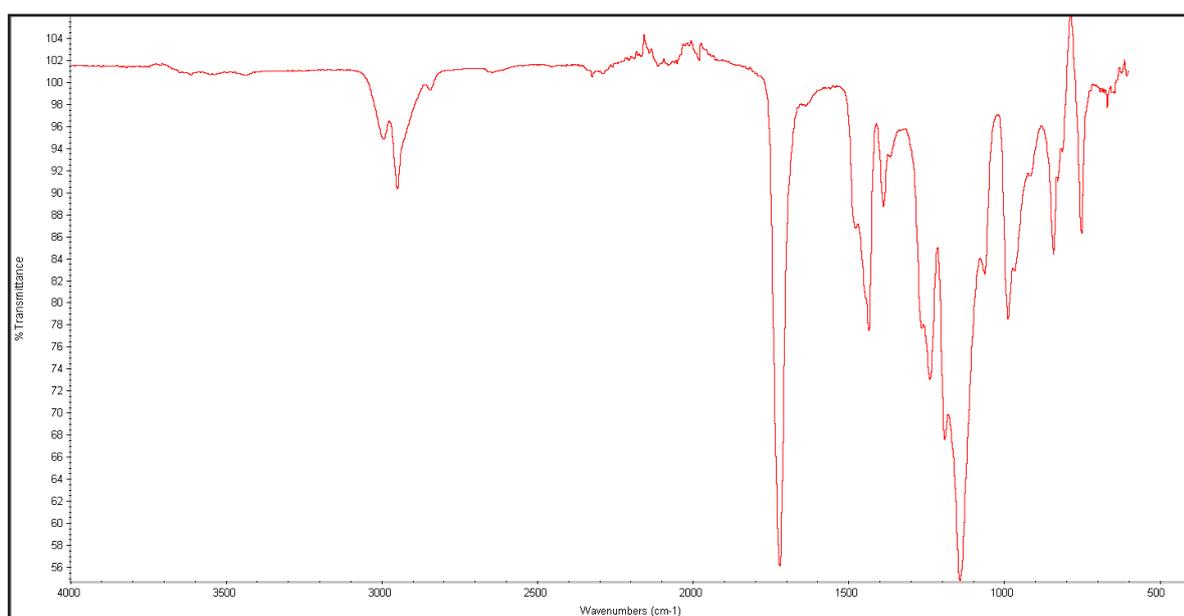


Figura 62: espectro FTIR-ATR correspondiente con la muestra de PMMA del CE-3

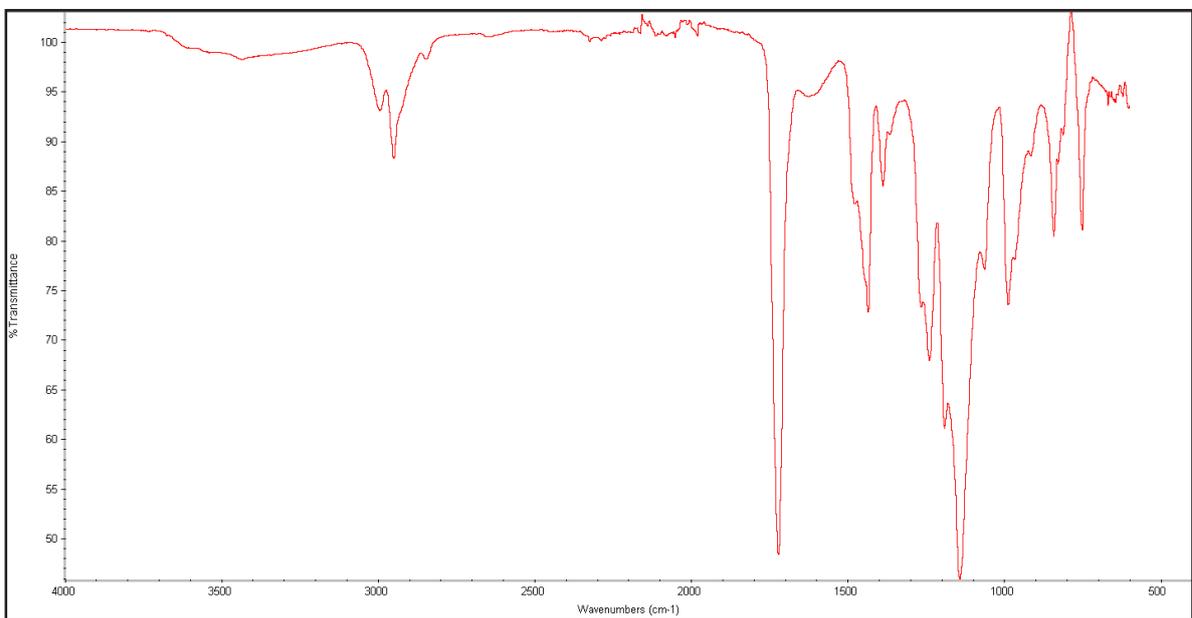


Figura 63: espectro FTIR-ATR correspondiente con la muestra de PMMA del CE-4

### 3.1.2.3.6 Poliéster

Las bandas asignadas permiten identificar la muestra como poliéster insaturado con estireno; no observándose cambios significativos con el tiempo de exposición.

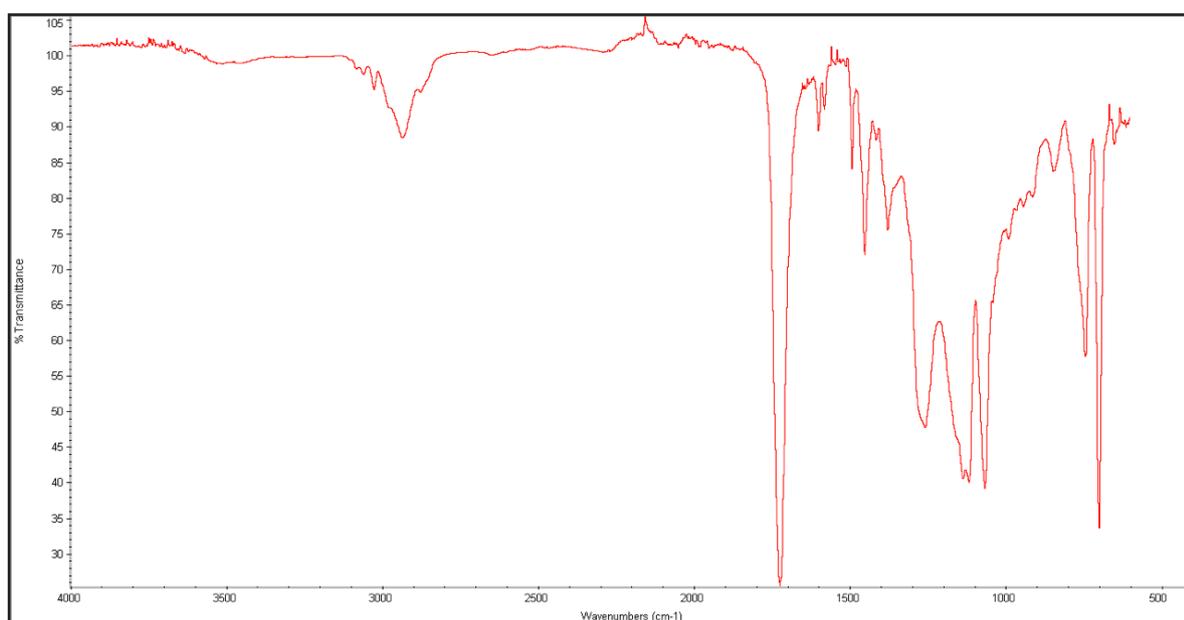


Figura 64: espectro FTIR-ATR correspondiente con la muestra de poliéster del CE-0

Por un defecto en la manipulación del equipo de laboratorio, en la lectura de la muestra CE-1 se produjo un error en la adquisición del espectro, razón por la cual no se incorpora la imagen correspondiente a este ciclo de envejecimiento.<sup>121</sup>

121 Al hacer la revisión la Dra. Lourdes Irusta detecta este error en el espectro, si bien confirma que el resto de anotaciones son correctas y que al no haber diferencia entre los distintos ciclos de envejecimiento de este plástico, no se ha considerado necesario repetir el espectro de la muestra.

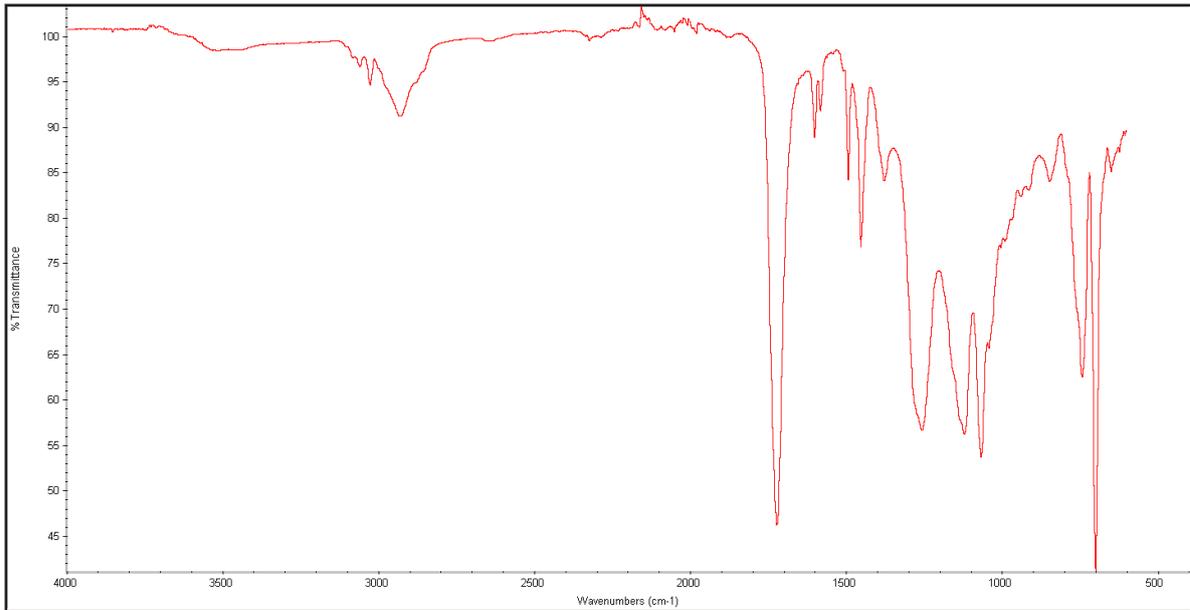


Figura 65: espectro FTIR-ATR correspondiente con la muestra de poliéster del CE-2

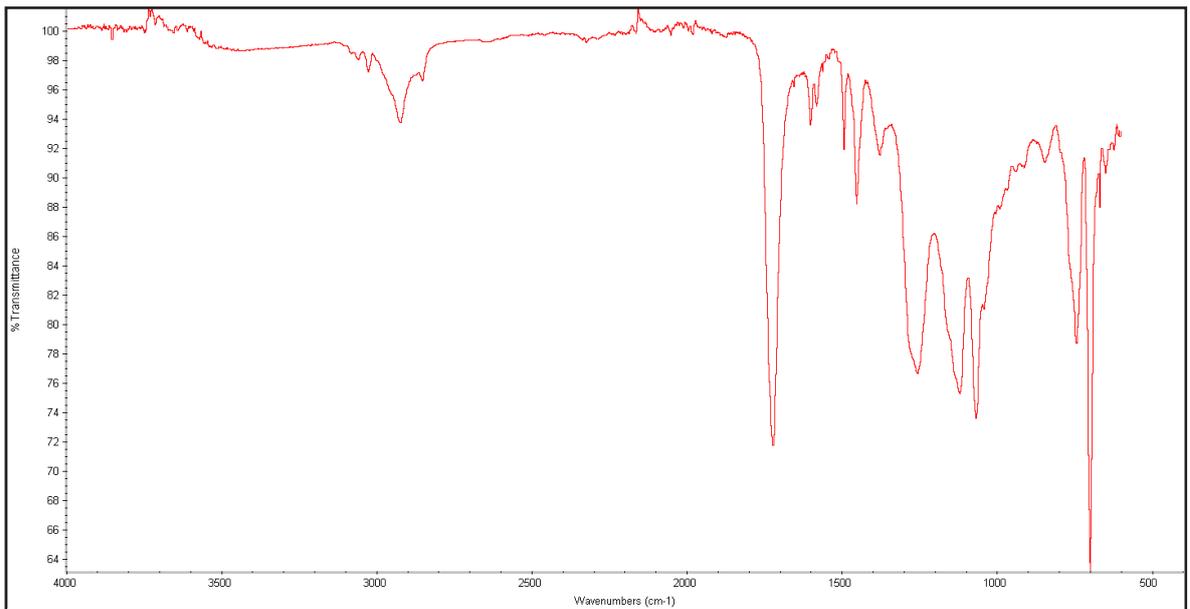


Figura 66: espectro FTIR-ATR correspondiente con la muestra de poliéster del CE-3

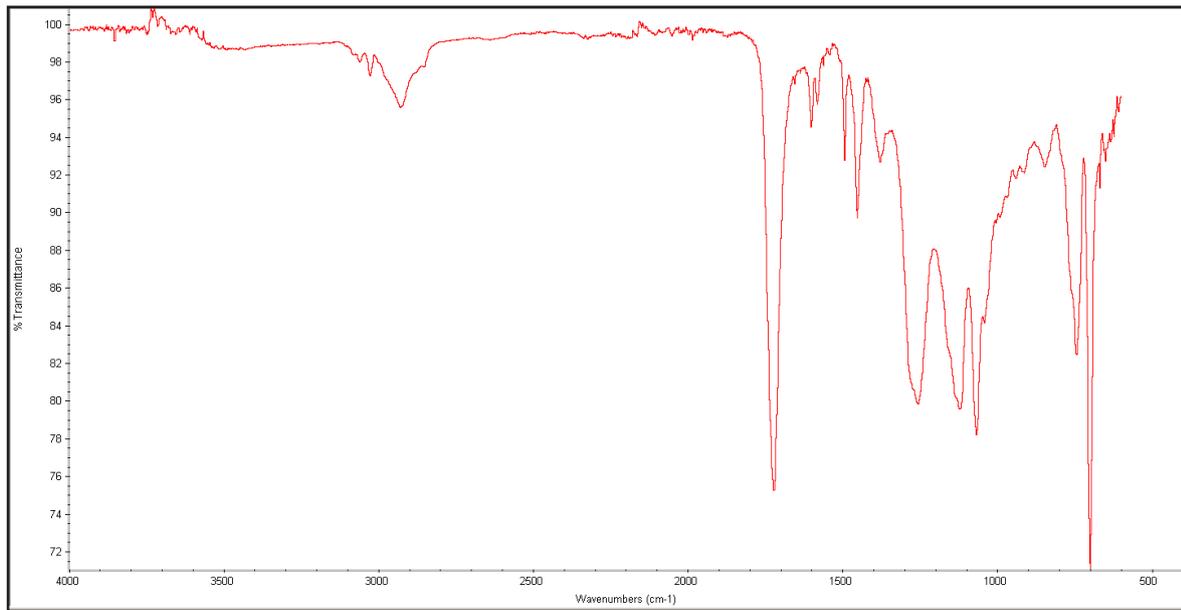


Figura 67: espectro FTIR-ATR correspondiente con la muestra de poliéster del CE-4

### 3.1.2.3.7 Poliuretano

Las bandas asignadas permiten identificar la muestra como poliuretano tipo éter basado en propilenglicol; observándose cambios compatibles con su oxidación en las muestras envejecidas.

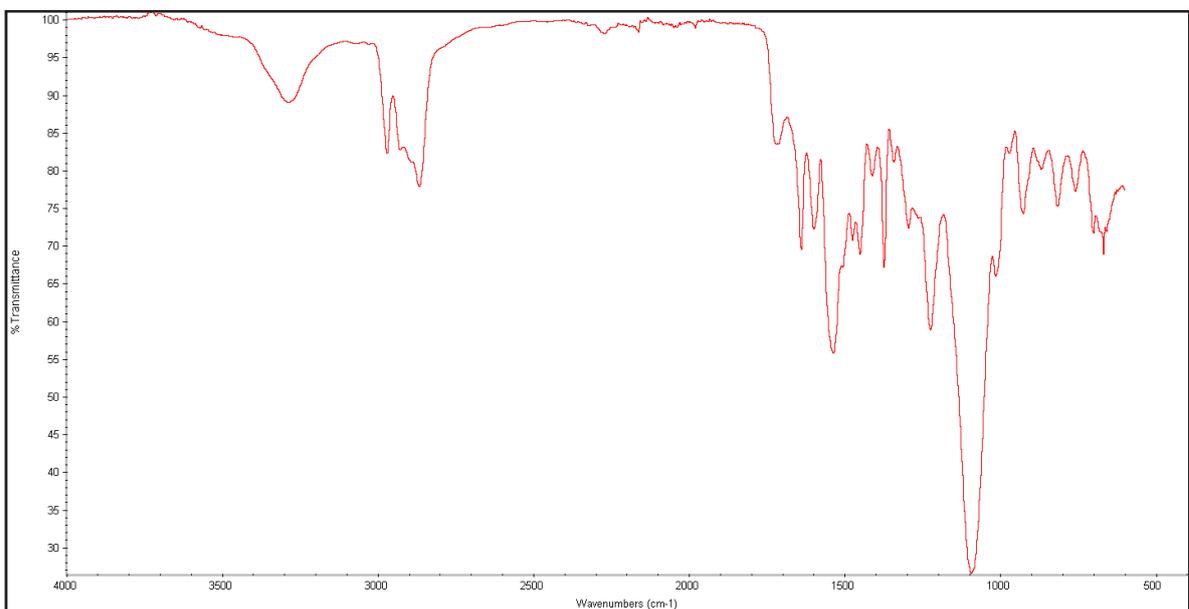


Figura 68: espectro FTIR-ATR correspondiente con la muestra de poliuretano del CE-0

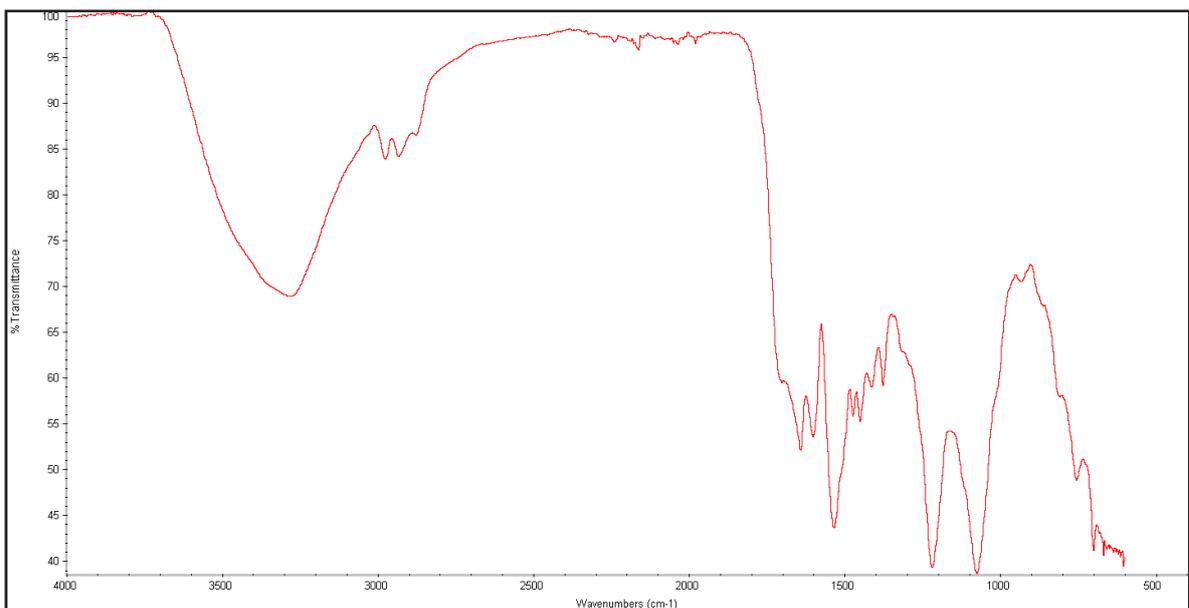


Figura 69: espectro FTIR-ATR correspondiente con la muestra de poliuretano del CE-1

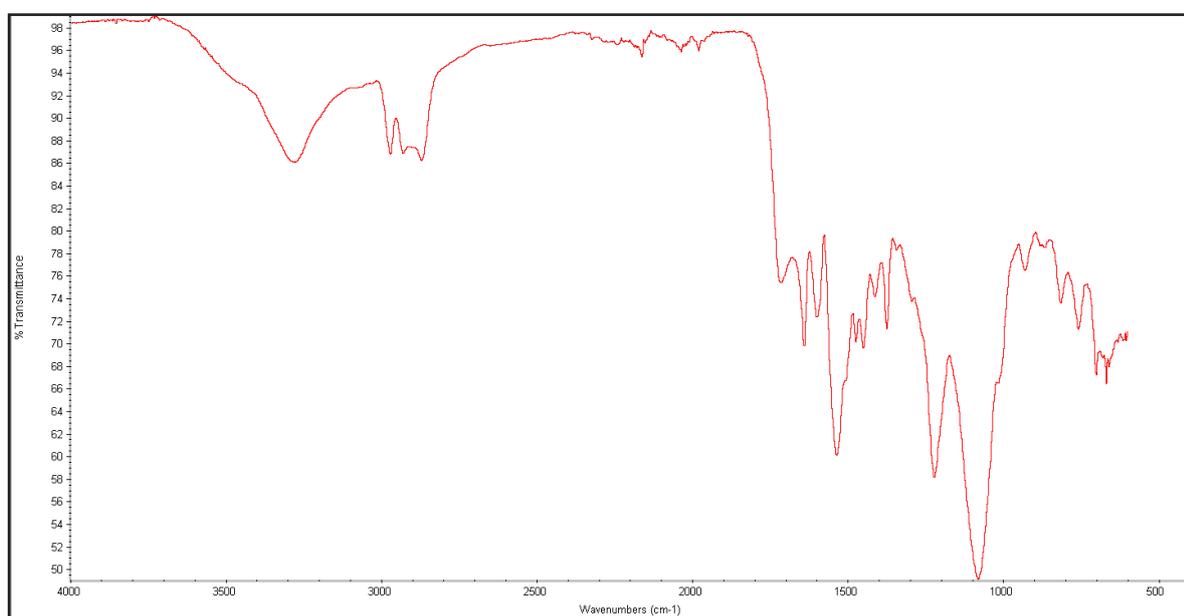


Figura 70: espectro FTIR-ATR correspondiente con la muestra de poliuretano del CE-2

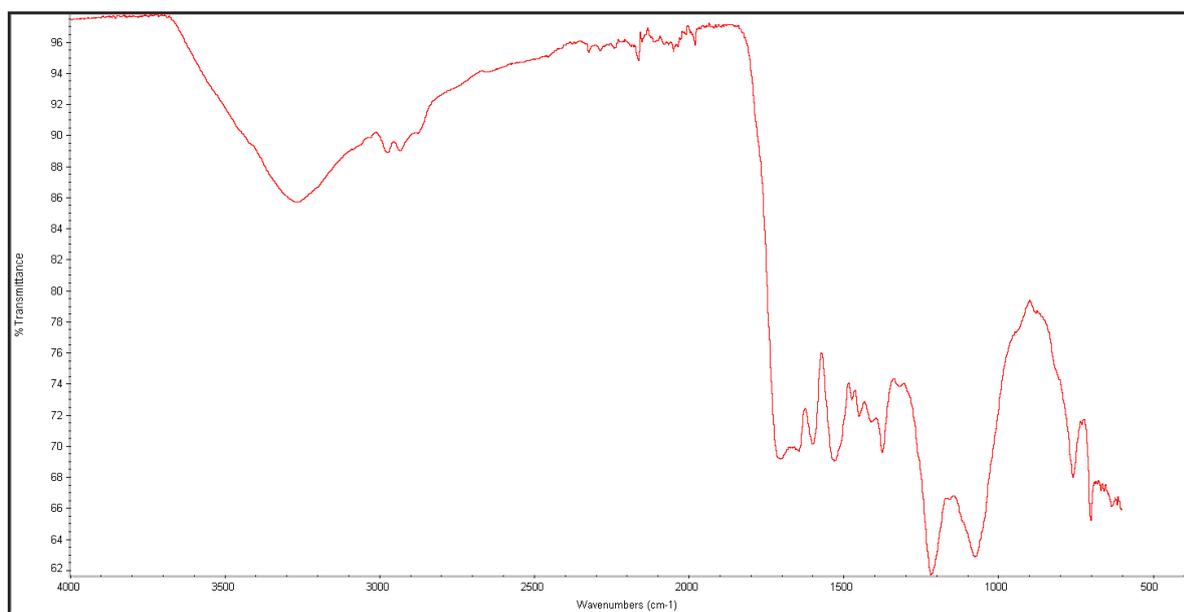


Figura 71: espectro FTIR-ATR correspondiente con la muestra de poliuretano del CE-3

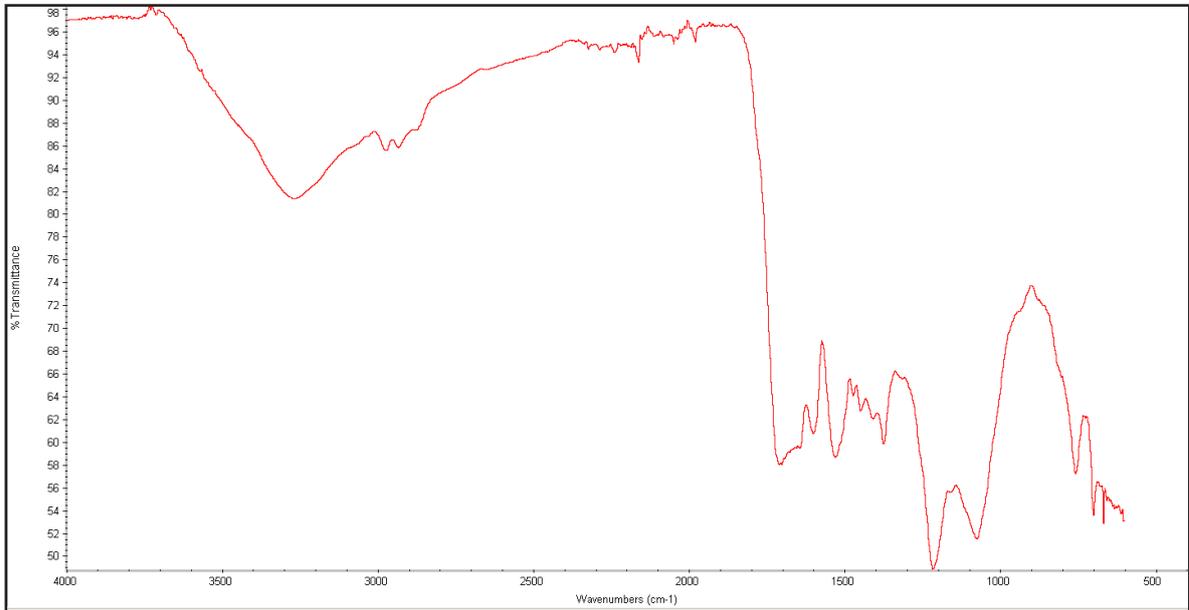


Figura 72: espectro FTIR-ATR correspondiente con la muestra de poliuretano del CE-4

### 3.1.2.4 Preparación y montaje del sistema de medición

Para llevar a cabo la medición de los compuestos volátiles ácidos emitidos por los seis plásticos sometidos a estudio se ha utilizado un contenedor de vidrio sellado, en el cual se ha colocado una A-D Strip suspendida en el interior del mismo mediante un hilo de nylon y en la parte inferior una de las muestras.

Los tres modelos de contenedores empleados tienen una capacidad diferente cada uno de ellos con el objetivo de analizar y comparar cómo se acumulan los volátiles nocivos en los diferentes volúmenes; a los que se añadirán tres tiempos de exposición de las tiras a las muestras con el fin de conocer cómo les afecta esta variable en relación a la concentración de contaminantes gaseosos. Cada contenedor consta de dos partes, una campana y una tapa, ambos elementos de vidrio, debido a que este material, como ya se ha dicho, se ha comprobado que es el más idóneo para este tipo de ensayo, ya que no interfiere en los resultados.

En cuanto a los tamaños de los contenedores, se han utilizado tres cubicajes diferentes: 90, 320 y 1000 cm<sup>3</sup>. Para poder relacionar este parámetro con los casos reales que se dan cuando las obras están embaladas (90 cm<sup>3</sup>), o se encuentran en el interior de vitrinas individuales (320 cm<sup>3</sup>) o en vitrinas compartidas (1000 cm<sup>3</sup>).

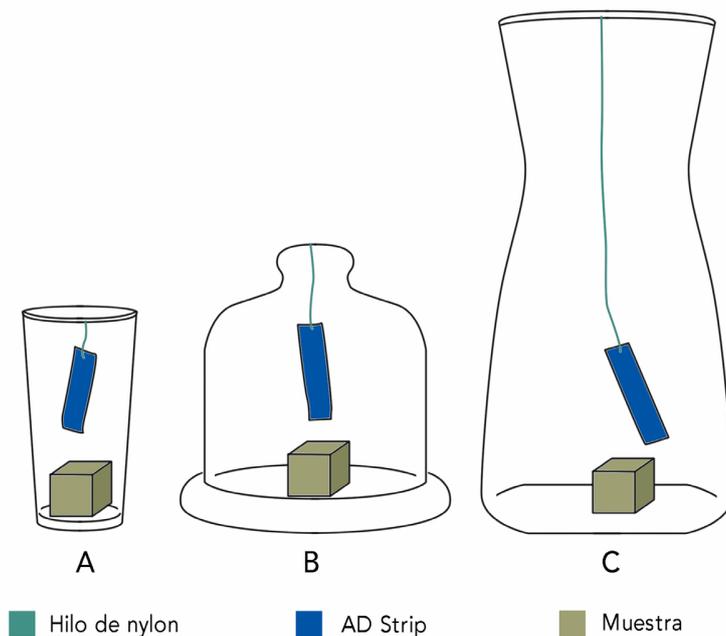


Figura 73: esquema de montaje de los contenedores para la medición de compuestos volátiles ácidos: pequeño 90 cm<sup>3</sup> (A), mediano 320 cm<sup>3</sup> (B) y grande 1000 cm<sup>3</sup> (C)

El sellado de los contenedores se ha realizado con Parafilm®, ya que se trata de un material ampliamente testado para su uso en laboratorio y conocido por ser idóneo para sellar herméticamente cualquier recipiente evitando la contaminación de las muestras.

Para la sujeción de la A-D Strip se ha optado por el hilo de nylon al ser un material que se viene usando para este fin en ensayos similares como el internacionalmente conocido Oddy Test desarrollado por el British Museum y al que le avala una larga trayectoria. El hilo se ha sujetado al contenedor a través de un orificio de 3 mm practicado en la parte superior; colgándose la A-D Strip del otro extremo.

Con el propósito de evitar cualquier tipo de contaminación que diese lugar a falsos positivos, se han atendido las recomendaciones que sugieren utilizar guantes y pinzas para manipular las A-D Strips. Del mismo modo se han acondicionado todos los contenedores antes de su uso, siguiendo el protocolo aprendido durante la estancia de investigación realizada en el la Unidad de análisis y tratamiento fotocatalítico de contaminantes en el aire del CIEMAT, consistente en limpiar el contenedor primero con agua destilada y un tensoactivo, seguido de una limpieza con etanol y secándolo al aire durante 24h.

### 3.1.2.5 Lectura y análisis de datos

Para el correcto desarrollo del ensayo, a la hora de efectuar las lecturas se ha controlado la iluminación, la humedad relativa y la temperatura, ya que como hemos visto en el apartado 2.2 *La detección y control de contaminantes en ambientes museísticos*, son factores que pueden influir directamente en los resultados modificándolos. Durante el tiempo de exposición de las A-D Strip a las emisiones derivadas de las muestras, se mantuvieron los contenedores en una sala oscura para asegurarnos de que la luz no alterase los resultados, ya que en algunas publicaciones se hace mención a la fotosensibilidad de las tiras. Igualmente se mantuvieron constantes los niveles de humedad relativa al 60% (+2) y la temperatura que permaneció a 19°C (+1) durante todo el proceso.

Para comprobar que el ambiente en el que se efectuaban las mediciones no se encontraba contaminado se han colocado otras tres A-D Strips, en el interior de cada uno de los modelos de contenedor. Además, se han utilizado otras tres tiras detectoras con el fin de chequear que en el ambiente exterior del laboratorio no hubiera contaminación ácida.

Se realizaron tres lecturas, correspondientes a diferentes tiempos de exposición: tiempo 1, una semana; tiempo 2, tres semanas; y tiempo 3, seis semanas. Habiéndose tomado como referencia para establecer el tiempo mínimo, estudios anteriores como *Monitoring Acidic Off-Gassing of Plastics* (NPS 2011) o *Colour measurement of acid-detector strips for the quantification of volatile organic acids in storage conditions* (Hackney, 2016), los cuales determinan que una semana es el tiempo mínimo necesario para obtener resultados seguros cuando se introduce una muestra en un contenedor limpio con el fin de testar si emite o no contaminantes; y para el tiempo máximo el último manual publicado por el IPI para las A-D Strips (Image Permanence Institute, 2016) y la investigación *A critical assessment of A-D Strips used in degradation studies for artworks made from cellulose acetate* (Townsend, Hackney y Kearney, 2019) que indica que una tira puede estar expuesta varias semanas sin comprometerse los resultados, pero que si se deja dentro varios meses, los resultados pueden ser irreales y recomiendan que el tiempo máximo esté entre uno y dos meses; por lo que se consideró mes y medio el tiempo más prolongado en el que se obtienen resultados fiables.

Al final del proceso de envejecimiento acelerado se testaron las noventa muestras (un set completo por cada tiempo de exposición) a la vez para que estuvieran exactamente en las mismas condiciones ambientales; y una vez transcurrido el tiempo de exposición oportuno de cada set (1, 3 y 6 semanas) se efectuaron las lecturas, en ningún caso se abrieron los contenedores para realizar lecturas intermedias. El protocolo de lectura se repitió tres veces con el fin de asegurarnos de que los resultados eran veraces; y por tanto, se presentará la media aritmética de los mismos.

Como adelantábamos al inicio de esta parte para las lecturas se han utilizado dos sistemas diferentes: uno comparativo con el lápiz de referencia proporcionado por el IPI al que se le añadió un patrón de equivalencias, diseñado con motivo de esta investigación, el cual se describirá más adelante; y el otro mediante un espectrofotómetro de mano. Las lecturas se realizaron de manera simultánea para no perder información, ya que como se advertía en el apartado 2.2 *La detección y control de contaminantes en ambientes museísticos* las medidas, tanto en el caso del lápiz, como con el espectrofotómetro, deben hacerse de forma inmediata, ya que una vez se extrae la tira del entorno ácido va recobrando el color azul, por lo que podrían producirse errores de lectura.

El espectrofotómetro utilizado para la medición de los cambios de color de las A-D Strip es el Coloreye® XTH con iluminación de Xenón pulsado y geometría óptica de reflexión  $d/8^\circ$ , que trabaja dentro de un rango de longitud de onda de entre 360 nm – 750 nm y un intervalo de 10 nm; con la opción de utilizar los

iluminantes C, D50, D55, D65, D75, A, F2, F7, F11, SPL D50, SPL D65, SPL D75, TL83, TL84, TL85 y U30 y los observadores de 2° y 10°.

El protocolo seguido para realizar las mediciones de color se ha basado en los resultados obtenidos por Hackney (2016) en su estudio *Colour measurement of acid-detector strips for the quantification of volatile organic acids in storage conditions*. En esta investigación se concluye que la utilización de un espectrofotómetro de reflectancia es una opción eficaz para medir los valores  $L^*$   $a^*$   $b^*$  de las A-D Strips de forma objetiva y reproducible; así como que los resultados útiles para este fin son los valores de  $b^*$  (eje amarillo-azul) que representan los niveles de concentración de volátiles ácidos en el ambiente, y de forma auxiliar los cambios de E (diferencia de color) que nos indican el cambio general del tono.

Las medidas se realizaron directamente sobre la tira A-D tras su exposición y se han expresado en coordenadas CIELAB ( $L^*$   $a^*$   $b^*$ ); trabajando en un diámetro de área de medida de 3 mm, con un iluminante patrón CIE D65 y un observador patrón CIE1976 10°. Las diferencias de color se han calculado tomando como referencia la A-D Strip antes de su exposición, es decir, recién sacada de su envoltorio.

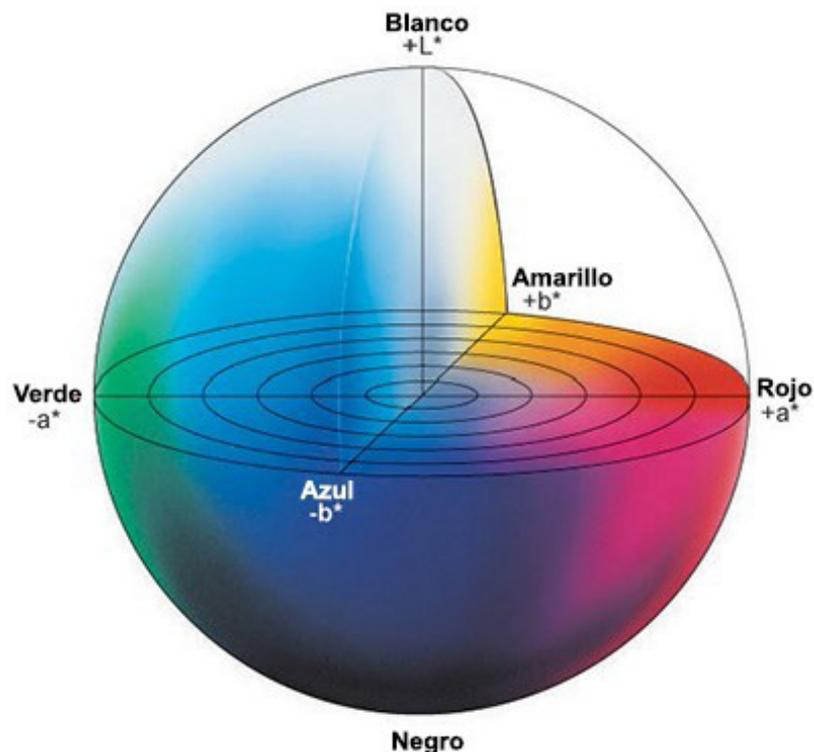


Figura 74: representación del espacio de color CIELAB

### 3.1.3 Lectura, análisis e interpretación de los resultados del ensayo

En las siguientes tablas se ilustran los cambios de color manifestados por las A-D Strips según las variables de tiempo de exposición y del volumen de los contenedores, correspondientes a cada muestra de plástico.

Los tiempos de exposición de las A-D Strips a la muestra han sido tres: tiempo 1 (TE-1), tiempo 2 (TE-2) y tiempo 3 (TE-3), y se corresponden con una semana, tres semanas y seis semanas de duración.

Los volúmenes de los contenedores son tres: 90 cm<sup>3</sup> para el pequeño; 320 cm<sup>3</sup> para el mediano; y 1000 cm<sup>3</sup> para el grande. Mientras que los ciclos de envejecimiento de las muestras han sido cinco, teniendo en cuenta el ciclo 0 (CE-0), en el que se encuentran las muestras que no han sido sometidas a ningún proceso de envejecimiento (muestra testigo); ciclo 1 (CE-1), en el que la muestras se somete a 100h de envejecimiento acelerado; ciclo 2 (CE-2) en el que lo hace a 300 h; ciclo 3 (CE-3) de 600h y ciclo 4 (CE-4) correspondiente a 1200h.

Conviene aclarar aquí, que si bien se han utilizado dos sistemas de lectura de las A-D Strips: uno comparando los colores resultantes con los del lápiz de referencia proporcionado por el IPI y el otro tomando medidas colorimétricas con un espectrofotómetro. El lápiz, siendo fiable, es menos preciso que el espectrofotómetro, ya que entre los valores 0 (azul) y 1 (verde), y 2 (verde amarillento) y 3 (amarillo) existen tonos intermedios que no se pueden referenciar. Por ese motivo para el estudio y análisis de resultados nos hemos basado en los datos obtenidos mediante el espectrofotómetro por ser más fiables.

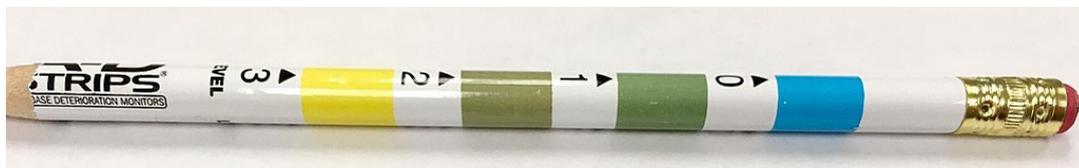


Figura 75: lápiz de equivalencias proporcionado por el IPI junto a las A-D Strips

En otro sentido, no hay que olvidar que los valores obtenidos mediante este dispositivo son tan precisos que registra cambios imperceptibles para el ojo humano (Richardson y Saunders, 2007). Y en relación con las lecturas del lápiz hemos diseñado para el ensayo práctico, un patrón que facilite la captación de las variaciones colorimétricas de las A-D Strips, basado en la recomendación que hace el IPI, en la actualización de las instrucciones de uso de las A-D

Strips de 2016, sobre la mejora que supone tres tonos intermedios que suplan las carencias del lápiz de referencia. Este patrón está compuesto por siete colores que van desde el azul al amarillo, correspondiendo cada color con un nivel de concentración de volátiles ácidos. La elaboración de este patrón ha partido de los cuatro colores del lápiz proporcionado por el IPI, a los cuales se le han añadido otros tres para poder así comparar los tonos intermedios que se obtienen con las tiras. A cada color se le ha otorgado un valor, del 0 al 6, que facilite el análisis de los datos, siendo el 0 el color que representa la ausencia de contaminantes ácidos y 6 el color que ilustra la concentración máxima de volátiles ácidos que pueden registrar las A-D Strips. En el patrón colorimétrico podemos además observar, en la fila superior, los valores L a b de cada uno de los colores; y en la fila de abajo los números correspondientes al lápiz proporcionado por el IPI.

Para el análisis y la interpretación de los resultados, nos hemos centrado en el eje b, ya que es el que comprende los colores entre el azul (-) y el amarillo (+) que es el rango de tonos que utilizan las A-D Strips para indicar la concentración de volátiles ácidos en el ambiente.

Posteriormente se han tomado los registros de color de las A-D mediante el espectrofotómetro, y se ha analizado seguidamente los cambios colorimétricos experimentados por dichas tiras, los cuales aparecen reflejados en las tablas que se han incorporado a continuación.

Para conocer el origen de los cambios detectados (ya que son varios los factores que pueden influir en dichos cambios) se han tenido en cuenta tres variables; la primera, la relación entre nivel de concentración ácida reflejado por la A-D Strip con el grado de envejecimiento de la muestra; la segunda, el tiempo de exposición de la A-D Strip ante cada muestra, y la tercera, la relación entre el volumen del contenedor con el aumento o la disminución del valor de color en las A-D Strips.

La variable 1: influencia del envejecimiento de la muestra, tiene como objetivo valorar la relación existente entre el grado de envejecimiento de las muestras y el aumento o disminución del valor de color. Para ello se comparan entre sí las muestras de los cinco ciclos de envejecimiento en cada uno de los supuestos, es decir, en cada tamaño de contenedor y en cada tiempo de exposición de las A-D Strips a las muestras.

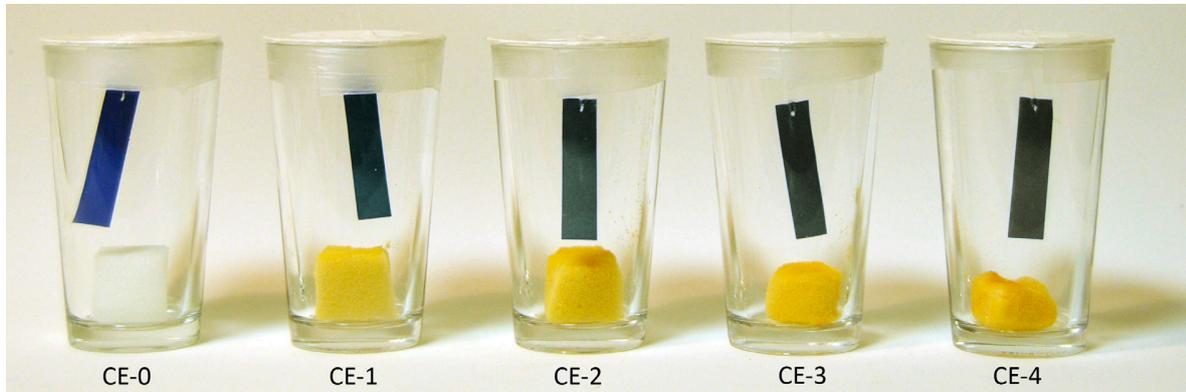


Figura 76: resultados de la medición de volátiles ácidos mediante AD Strips en el caso del poliuretano tras el TE-3 en los que se observa una relación directa entre el grado de envejecimiento y la tasa de emisión (contenedor pequeño)

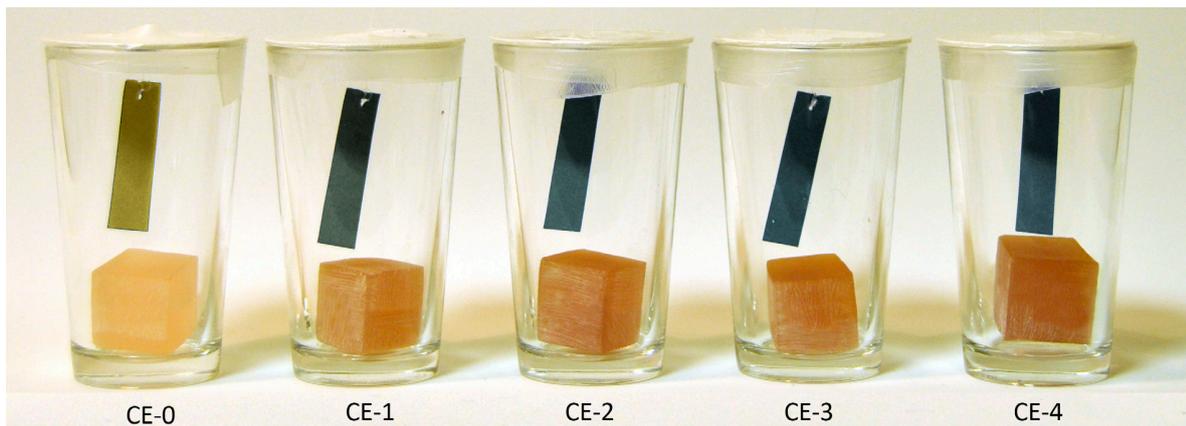


Figura 77: resultados de la medición de volátiles ácidos mediante A-D Strips en el caso del poliéster tras el TE-3 en los que se observa una relación inversa entre el grado de envejecimiento y la tasa de emisión (contenedor pequeño)

La variable 2: tiempo de exposición de las A-D Strips a la muestra, pretende conocer la relación entre el tiempo que permanece la A-D Strip encerrada en el interior del contenedor junto a la muestra y el cambio de color que presenta cada una, tras la exposición. Para esto se comparan las tres lecturas colorimétricas efectuadas, en correspondencia con cada tiempo de exposición de las A-D Strips a las muestras, atendiendo a un mismo ciclo de envejecimiento, y al diferente tamaño de los contenedores.



Figura 78: resultados de la medición de volátiles ácidos mediante A-D Strips en el caso de las muestras de poliéster correspondientes al CE-0 y CE-1 en contenedor mediano al inicio del ensayo (izq.) y tras cuatro semanas de exposición (dcha.), en los que se observa una relación directa entre el aumento del tiempo de exposición y el incremento en la concentración de volátiles.

Variable 3: volumen del contenedor, tiene como propósito conocer la influencia del volumen de aire que alberga el contenedor sobre la mayor o menor afectación cromática de la A-D Strip expuesta a la muestra. En este caso se comparan los resultados de la colorimetría de las A-D Strips expuestas a muestras sometidas al mismo ciclo de envejecimiento y durante el mismo tiempo de exposición, pero en contenedores de tres tamaños diferentes.

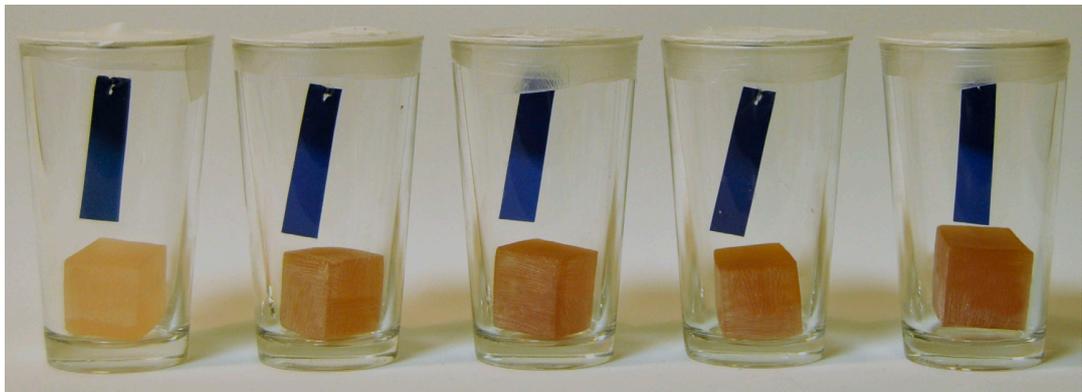


Figura 79: muestras de poliéster contenedor pequeño

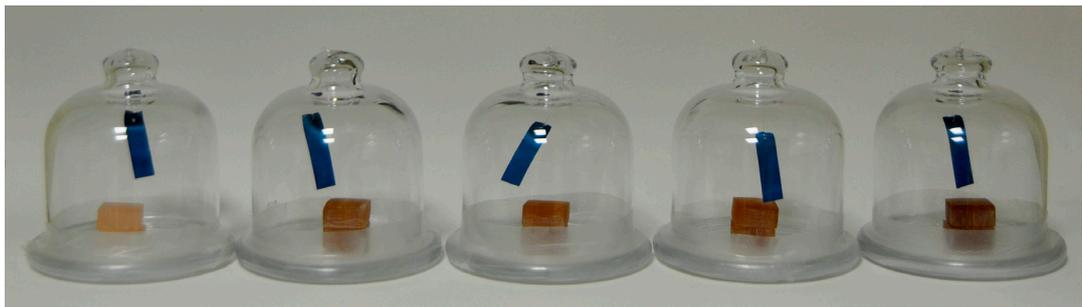


Figura 80: muestras de poliéster contenedor mediano

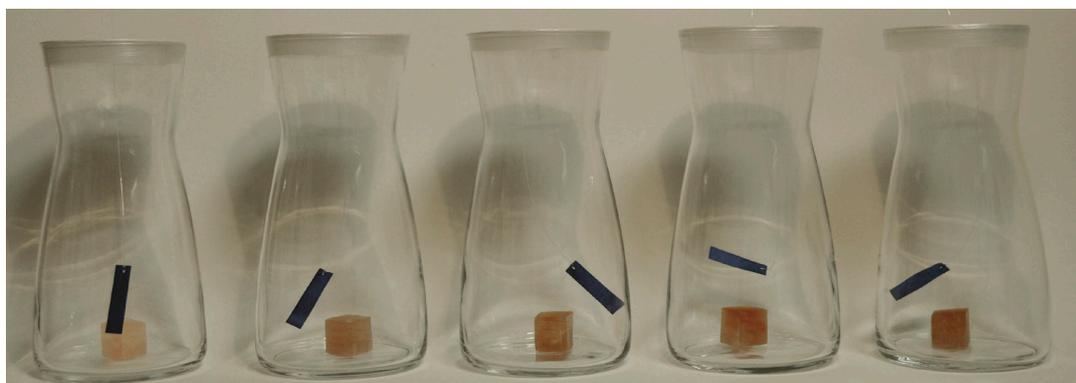


Figura 81: muestras de poliéster contenedor grande

Una vez realizado el análisis, el siguiente paso fue relacionar los valores de color registrados con las concentraciones ácidas derivadas de la emisión de los plásticos. En este punto cabe señalar que las A-D Strips están diseñadas específicamente para monitorizar películas antiguas de acetato de celulosa, por lo que en su manual de uso solamente especifican los valores de conversión entre el color de la tira y la concentración aproximada de ácido acético<sup>122</sup>; mientras que para el resto de contaminantes ácidos (sulfúrico, nítrico, clorhídrico y fórmico) se pueden obtener solamente lecturas semicuantitativas (niveles aproximados de concentración ácida). Por esta razón, con el fin de unificar resultados se ha realizado una interpretación de datos basada en las lecturas semicuantitativas.

Para ello se han establecido correspondencias entre los valores de color y la concentración ácida representando el 0 la ausencia de acidez, 1 la concentración baja, el 2 la media-baja, el 3 la media, el 4 la media-alta, el 5 la alta y el 6 la muy alta; sabiendo que las A-D Strips son capaces de registrar niveles de acidez entre el PH 5,4 y 3,8; o lo que es lo mismo, el nivel bajo de acidez tendrá siempre un PH de 5,4 o ligeramente inferior; los niveles comprendidos entre el medio bajo y el alto representan PHs entre 5,4 y 3,8; mientras que el nivel muy alto englobará los PHs entre 3,8 y 0.

Asimismo, si tenemos en cuenta las interpretaciones publicadas en el manual que proporciona el Image Permanence Institute para el acetato de celulosa se puede establecer que las emisiones pueden suponer un peligro significativo a partir del nivel 3 (concentración media); mientras que para llegar a afectar al personal expuesto deberían alcanzar la máxima concentración expresada por el nivel 6 (concentración muy alta).

<sup>122</sup> La correspondencia entre valores de color y concentración de ácido acético (ppm) es la siguiente: 0 = 0; 1 y 2 = >0 <1; 3 = 1-2; 3,5 = 3-5; 4 = 6-8; 4,5 = 9-17; 5 = 18-20; 6 = +20

|                                   |                                 |                                 |                               |   |                               |                                |  |
|-----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|---|-------------------------------|--------------------------------|--|
| Coordenadas CIELAB (L* a* b*)     | L 41,63<br>a -10,19<br>b -35,30 | L 42,13<br>a -16,24<br>b -15,35 | L 43,38<br>a -18,54<br>b 5,16 | L 45,16<br>a -16,14<br>b 25,11  | L 54,34<br>a -7,04<br>b 45,21 | L 65,18<br>a -74,24<br>b 65,16 | L 85,22<br>a -6,23<br>b 85,36  |
| Patrón de equivalencias propuesto | 0                               | 1                               | 2                             | 3   | 4                             | 5                              | 6  |
| Patrón de equivalencias del IPI   | 0                               |                                 |                               | 1   | 2                             |                                | 3  |
| Niveles de concentración          | Ausencia<br>acidez              | Concentración<br>baja           | Concentración<br>media - baja | Concentración<br>media  | Concentración<br>media - alta | Concentración<br>alta          | Concentración<br>muy alta  |
| Niveles de riesgo                 |                                 |                                 |                               |  |                               |                                |  |

Figura 82: patrón (elaboración propia) de variación colorimétrica e interpretación de resultados para comparación con las lecturas de las A-D Strips

### 3.1.3.1 Lectura y análisis de los cambios colorimétricos

#### 3.1.3.1.1 Acetato celulosa

|                        |                  | Tiempo de envejecimiento de las muestras |               |               |               |               |
|------------------------|------------------|--|---------------|---------------|---------------|---------------|
|                        |                  | CE - 0                                   | CE - 1        | CE - 2        | CE - 3        | CE - 4        |
| Acetato de celulosa CP | AD Strip testigo | b -35,3                                  | b -35,3       | b -35,3       | b -35,3       | b -35,3       |
|                        | TE - 1           | 2<br>b -1,01                             | 1<br>b -16,08 | 0<br>b -29,76 | 0<br>b -30,07 | 0<br>b -30,23 |
|                        | TE - 2           | 2<br>b 2,59                              | 1<br>b -7,6   | 1<br>b -12,14 | 1<br>b -14,82 | 1<br>b -16,44 |
|                        | TE - 3           | 2<br>b 5,48                              | 1<br>b -6,53  | 1<br>b -11,7  | 1<br>b -12,62 | 1<br>b -14,53 |

|                                   |                                 |                                 |                               |                                |                               |                                |                               |
|-----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| Coordenadas CIELAB (L* a* b*)     | L 41,63<br>a -10,19<br>b -35,30 | L 42,13<br>a -16,24<br>b -15,35 | L 43,38<br>a -18,54<br>b 5,16 | L 45,16<br>a -16,14<br>b 25,11 | L 54,34<br>a -7,04<br>b 45,21 | L 65,18<br>a -74,24<br>b 65,16 | L 85,22<br>a -6,23<br>b 85,36 |
| Patrón de equivalencias propuesto | 0                               | 1                               | 2                             | 3                              | 4                             | 5                              | 6                             |
| Patrón de equivalencias del IPI   | 0                               |                                 |                               | 1                              | 2                             |                                | 3                             |

Tabla 20: Modificación cromática de las A-D Strips, según tiempos de exposición y ciclos de envejecimiento de las muestras de acetato de celulosa. Contenedor pequeño

|                                   |  |                  | Tiempo de envejecimiento de las muestras |                                 |                               |                                |                               |                                |                               |
|-----------------------------------|--|------------------|--|---------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
|                                   |  |                  | CE - 0                                   | CE - 1                          | CE - 2                        | CE - 3                         | CE - 4                        |                                |                               |
| Acetato de celulosa<br>CM         | Tiempo de exposición de las AD Strips a las muestras | AD Strip testigo | b -35,3                                  | b -35,3                         | b -35,3                       | b -35,3                        | b -35,3                       |                                |                               |
|                                   |  | TE - 1           | 2<br>b -2,56                             | 0<br>b -28,58                   | 0<br>b -28,75                 | 0<br>b -29,8                   | 0<br>b -29,9                  |                                |                               |
|                                   |  | TE - 2           | 2<br>b 1,42                              | 1<br>b -9,16                    | 1<br>b -15,08                 | 1<br>b -16,99                  | 1<br>b -17,32                 |                                |                               |
|                                   |  | TE - 3           | 2<br>b 3,21                              | 1<br>b -8,61                    | 1<br>b -13,18                 | 1<br>b -14,59                  | 1<br>b -15,93                 |                                |                               |
| Coordenadas CIELAB (L* a* b*)     |  |                  | L 41,63<br>a -10,19<br>b -35,30          | L 42,13<br>a -16,24<br>b -15,35 | L 43,38<br>a -18,54<br>b 5,16 | L 45,16<br>a -16,14<br>b 25,11 | L 54,34<br>a -7,04<br>b 45,21 | L 65,18<br>a -74,24<br>b 65,16 | L 85,22<br>a -6,23<br>b 85,36 |
| Patrón de equivalencias propuesto |  |                  | 0  | 1                               | 2                             | 3                              | 4                             | 5                              | 6                             |
| Patrón de equivalencias del IPI   |  |                  | 0  |                                 |                               | 1                              | 2                             |                                | 3                             |

Tabla 21: Modificación cromática de las A-D Strips, según tiempos de exposición y ciclos de envejecimiento de las muestras de acetato de celulosa. Contenedor mediano

|                               |                  | Tiempo de envejecimiento de las muestras |               |               |               |               |
|-------------------------------|------------------|--|---------------|---------------|---------------|---------------|
|                               |                  | CE - 0                                   | CE - 1        | CE - 2        | CE - 3        | CE - 4        |
| Acetato de celulosa<br><br>CG | AD Strip testigo | b -35,3                                  | b -35,3       | b -35,3       | b -35,3       | b -35,3       |
|                               | TE - 1           | 1<br>b -16,24                            | 0<br>b -30,45 | 0<br>b -30,65 | 0<br>b -30,86 | 0<br>b -31,07 |
|                               | TE - 2           | 1,5<br>b -5,54                           | 1<br>b -12,58 | 1<br>b -16,62 | 1<br>b -18,64 | 1<br>b -19,02 |
|                               | TE - 3           | 2<br>b -1,14                             | 1<br>b -11,14 | 1<br>b -15,46 | 1<br>b -15,43 | 1<br>b -17,21 |

|                                   |                                 |                                 |                               |                                |                               |                                |                               |
|-----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| Coordenadas CIELAB (L* a* b*)     | L 41,63<br>a -10,19<br>b -35,30 | L 42,13<br>a -16,24<br>b -15,35 | L 43,38<br>a -18,54<br>b 5,16 | L 45,16<br>a -16,14<br>b 25,11 | L 54,34<br>a -7,04<br>b 45,21 | L 65,18<br>a -74,24<br>b 65,16 | L 85,22<br>a -6,23<br>b 85,36 |
| Patrón de equivalencias propuesto | 0                               | 1                               | 2                             | 3                              | 4                             | 5                              | 6                             |
| Patrón de equivalencias del IPI   | 0                               |                                 |                               | 1                              | 2                             |                                | 3                             |

Tabla 22: Modificación cromática de las A-D Strips, según tiempos de exposición y ciclos de envejecimiento de las muestras de acetato de celulosa. Contenedor grande

### Variable 1: influencia del envejecimiento (CE) de la muestra

#### Contenedor pequeño

Las A-D Strips pertenecientes al tiempo de exposición TE-1 presentan un valor de color de 2 en el ciclo de envejecimiento CE-0, y de 1 en el ciclo de envejecimiento CE-1; mientras que en las de los ciclos CE-2, CE-3 y CE-4 no se ha detectado ningún cambio de color. En los tiempos TE-2 y TE-3 los registros colorimétricos muestran un valor 2 en la expuesta a la muestra del ciclo CE-0 y un valor 1 en las correspondientes con los ciclos CE-1, CE-2, CE-3 y CE-4.

#### Contenedor mediano

En el tiempo de exposición TE-1, la A-D Strip expuesta a la muestra del ciclo CE-0 presenta un valor 2 de color; en cambio las del resto de ciclos de envejecimiento no registran variación de color alguna.

En los tiempos TE-2 y TE-3, las tiras expuestas al ciclo CE-0, al igual que en el primer tiempo, muestran un valor 2; mientras que las de los ciclos CE-1, CE-2, CE-3 y CE-4, registran un color correspondiente con el valor 1.

#### Contenedor grande

En el tiempo TE-1 solo la A-D Strip expuesta a la muestra del ciclo CE-0 registra una variación de color, mostrando un valor colorimétrico de 1; el resto permanecen en el 0.

Las A-D Strips relativas a los tiempos de exposición TE-1 y TE-2 muestran valores de color de 1,5 y 2 respectivamente en el ciclo CE-0; mientras que en el resto de ciclos permanecen en el valor 1.

Tras realizar las lecturas colorimétricas de las A-D Strips, expuestas a las muestras de acetato de celulosa se puede afirmar que los valores de color son más altos en las muestras pertenecientes al ciclo CE-0; y que en general se han detectado en cada tiempo de exposición el mismo valor de color en las muestras de los ciclos CE-1, CE-2, CE-3 y CE-4.

### Variable 2: tiempo de exposición (TE) de la AD Strip a las muestras

#### Contenedor pequeño

En relación a la variable tiempo de exposición, los registros de las A-D Strips expuestas a la muestra correspondiente con el ciclo de envejecimiento CE-0

evidencian que se mantiene el valor de color 2 en los tres tiempos de exposición. Tampoco se observa ninguna variación de color entre TE-1 y TE-3, en las tiras del ciclo de envejecimiento CE-1, pues las tres presentan un valor 1. En el caso de las A-D Strips expuestas a las muestras de los ciclos de envejecimiento CE-2, CE-3 y CE-4, se detecta una ligera variación de color del 0 al 1, entre TE-1 y TE-2; y ninguna entre TE-2 y TE-3.

#### Contenedor mediano

En el ciclo de envejecimiento CE-0, las A-D Strips no registran ningún cambio de color entre los tiempos TE-1, TE-2 y TE-3, manteniéndose en todas un valor 2. En las expuestas a las muestras correspondientes con los ciclos de envejecimiento CE-1, CE-2, CE-3 y CE-4 se observa una transición de 0 a 1 entre TE-1 y TE-2; no registrándose ninguna variación entre los tiempos TE-2 y TE-3.

#### Contenedor grande

Los registros colorimétricos realizados en las A-D Strips expuestas a la muestra del ciclo de envejecimiento 0 evidencian un cambio de color progresivo, desde el valor 1 hasta el 2 pasando por el 1,5, a medida que aumenta el tiempo de exposición. Mientras que las de los ciclos CE-1, CE-2, CE-3 y CE-4, al igual que en el contenedor mediano registran un incremento entre los tiempos TE-1 y TE-2, que pasa del 0 al 1; y ninguna variación entre TE-2 y TE-3.

En resumen, esta lectura apunta a la existencia de una relación directa entre el aumento del tiempo de exposición y el aumento del valor colorimétrico, al igual que en los casos anteriores.

### **Variable 3: volumen del contenedor**

#### Tiempo de exposición 1

Analizando la variable 3, volumen del contenedor, los registros colorimétricos de las A-D Strips expuestas a la muestra del ciclo de envejecimiento CE-0 aumentan del 1 al 2 entre el contenedor grande y el mediano; y no registran variación entre el mediano y el pequeño. Las del ciclo CE-1 no registran ningún cambio colorimétrico ni en el contenedor grande, ni en el mediano, permaneciendo en el valor 0; en cambio en el pequeño se observa un incremento de color que alcanza el valor 1.

El estudio de las A-D Strips relativas a los ciclos de envejecimiento CE-2, CE-3 y CE-4 no revela ningún cambio de tono, mostrando todas ellas el azul propio del valor 0.

### Tiempo de exposición 2

Los colores de las A-D Strips tras su exposición a la muestra del ciclo de envejecimiento CE-0 indican un incremento de medio valor, del 1,5 al 2 entre el contenedor grande y el mediano; mientras que no se detecta variación colorimétrica entre el mediano y el pequeño. Asimismo, las tiras expuestas a las muestras correspondientes a los ciclos CE-1, CE-2, CE-3 y CE-4 no registran ningún cambio de color entre ellas, representando todas el valor 1.

### Tiempo de exposición 3

Los colores de las A-D Strips tras su exposición a la muestra del ciclo de envejecimiento CE-0 indican que no existe variación de color entre el contenedor grande, el mediano y el pequeño, ya que presentan los tres un valor 2 de color. Tampoco las tiras expuestas a los ciclos CE-1, CE-2, CE-3 y CE-4 registran ninguna variación de color entre los distintos tamaños de contenedor, mostrando todas ellas un valor 1.

Por lo tanto, se puede afirmar que es clara la influencia del volumen del contenedor en el aumento o disminución del valor de color de las tiras; siendo más elevados en los contenedores pequeños y disminuyendo en relación inversa al tamaño de los mismos.

3.1.3.1.2 Poliéster

|                 |  |                  | Tiempo de envejecimiento de las muestras |                |                |               |               |
|-----------------|--|------------------|--|----------------|----------------|---------------|---------------|
|                 |  |                  | CE - 0                                   | CE - 1         | CE - 2         | CE - 3        | CE - 4        |
| Poliéster<br>CP | Tiempo de exposición de las AD Strips a las muestras | AD Strip testigo | b -35,3                                  | b -35,3        | b -35,3        | b -35,3       | b -35,3       |
|                 |  | TE - 1           | 4<br>b 45,22                             | 2<br>b -3,54   | 1<br>b -18,27  | 1<br>b -19,16 | 0<br>b -31,16 |
|                 |  | TE - 2           | 5<br>b 67,29                             | 2,5<br>b 16,03 | 1,5<br>b -5,99 | 1<br>b -12,23 | 1<br>b -13,03 |
|                 |  | TE - 3           | 6<br>b 85,03                             | 2,5<br>b 16,02 | 2<br>b -3,83   | 1<br>b -13,51 | 1<br>b -13,71 |

|                                   |                                 |                                 |                               |                                |                               |                                |                               |
|-----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| Coordenadas CIELAB (L* a* b*)     | L 41,63<br>a -10,19<br>b -35,30 | L 42,13<br>a -16,24<br>b -15,35 | L 43,38<br>a -18,54<br>b 5,16 | L 45,16<br>a -16,14<br>b 25,11 | L 54,34<br>a -7,04<br>b 45,21 | L 65,18<br>a -74,24<br>b 65,16 | L 85,22<br>a -6,23<br>b 85,36 |
| Patrón de equivalencias propuesto | 0                               | 1                               | 2                             | 3                              | 4                             | 5                              | 6                             |
| Patrón de equivalencias del IPI   | 0                               |                                 |                               | 1                              | 2                             |                                | 3                             |

Tabla 23: Modificación cromática de las A-D Strips, según tiempos de exposición y ciclos de envejecimiento de las muestras de poliéster. Contenedor pequeño

|                                   |  | Tiempo de envejecimiento de las muestras |                                 |                               |                                |                               |                                |                               |
|-----------------------------------|--|--|---------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
|                                   |  | CE - 0                                   | CE - 1                          | CE - 2                        | CE - 3                         | CE - 4                        |                                |                               |
| Poliéster<br>CM                   | Tiempo de exposición de las AD Strips a las muestras | AD Strip<br>testigo                      | b -35,3                         | b -35,3                       | b -35,3                        | b -35,3                       | b -35,3                        |                               |
|                                   | TE - 1   | 3<br>b 23,12                             | 1<br>b -16,39                   | 0,5<br>b -25,39               | 0,5<br>b -25,41                | 0<br>b -31,43                 |                                |                               |
|                                   | TE - 2   | 3,5<br>b 34,72                           | 1,5<br>b -5,34                  | 1<br>b -13,84                 | 1<br>b -12,79                  | 1<br>b -17,30                 |                                |                               |
|                                   | TE - 3   | 5<br>b 57,22                             | 1,5<br>b -4,93                  | 1,5<br>b -5,36                | 1<br>b -22,45                  | 1<br>b -22,25                 |                                |                               |
| Coordenadas CIELAB (L* a* b*)     |  | L 41,63<br>a -10,19<br>b -35,30          | L 42,13<br>a -16,24<br>b -15,35 | L 43,38<br>a -18,54<br>b 5,16 | L 45,16<br>a -16,14<br>b 25,11 | L 54,34<br>a -7,04<br>b 45,21 | L 65,18<br>a -74,24<br>b 65,16 | L 85,22<br>a -6,23<br>b 85,36 |
| Patrón de equivalencias propuesto |  | 0  | 1                               | 2                             | 3                              | 4                             | 5                              | 6                             |
| Patrón de equivalencias del IPI   |  | 0  |                                 |                               | 1                              | 2                             |                                | 3                             |

Tabla 24: Modificación cromática de las A-D Strips, según tiempos de exposición y ciclos de envejecimiento de las muestras de poliéster. Contenedor mediano

|                 |  | Tiempo de envejecimiento de las muestras |                 |                 |                 |                 |         |
|-----------------|--|--|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------|
|                 |  | CE - 0                                   | CE - 1          | CE - 2          | CE - 3          | CE - 4          |         |
| Poliéster<br>CG | Tiempo de exposición de las AD Strips a las muestras | AD Strip testigo                         | b -35,3         | b -35,3         | b -35,3         | b -35,3         | b -35,3 |
|                 | TE - 1   | 2<br>b -2,25                             | 0<br>b -29      | 0<br>b -28,22   | 0<br>b -29,08   | 0<br>b -32,47   |         |
|                 | TE - 2   | 2,5<br>b 15,05                           | 0,5<br>b -25,04 | 0,5<br>b -24,28 | 0,5<br>b -24,91 | 0,5<br>b -25,39 |         |
|                 | TE - 3   | 3<br>b 24,19                             | 1<br>b -13,45   | 1<br>b -18,26   | 1<br>b -17,95   | 1<br>b -18,12   |         |

|                                   |                                 |                                 |                               |                                |                               |                                |                               |
|-----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| Coordenadas CIELAB (L* a* b*)     | L 41,63<br>a -10,19<br>b -35,30 | L 42,13<br>a -16,24<br>b -15,35 | L 43,38<br>a -18,54<br>b 5,16 | L 45,16<br>a -16,14<br>b 25,11 | L 54,34<br>a -7,04<br>b 45,21 | L 65,18<br>a -74,24<br>b 65,16 | L 85,22<br>a -6,23<br>b 85,36 |
| Patrón de equivalencias propuesto | 0                               | 1                               | 2                             | 3                              | 4                             | 5                              | 6                             |
| Patrón de equivalencias del IPI   | 0                               |                                 |                               | 1                              | 2                             |                                | 3                             |

Tabla 25: Modificación cromática de las A-D Strips, según tiempos de exposición y ciclos de envejecimiento de las muestras de poliéster. Contenedor grande

## Variable 1: influencia del envejecimiento (CE) de la muestra

### Contenedor pequeño

Las A-D Strips muestran en el tiempo de exposición TE-1 una variación de color notable entre los ciclos de envejecimiento CE-0 y CE-1, pasando del valor 4 al 2. Mientras que entre los ciclos CE-1 y CE-4 los cambios son más progresivos, registrándose valores colorimétricos que van desde el 2 al 0, pasando por el 1 de las tiras correspondientes con los ciclos de envejecimiento CE-2 y CE-3.

En el tiempo de exposición TE-2 se da un patrón similar, percibiéndose un cambio de color considerable entre las A-D Strips expuestas a las muestras del ciclo de envejecimiento CE-0 y CE-1, que va del 5 al 2,5; y más gradual entre los ciclos CE-1, CE-2, CE-3 y CE-4, en los que se registran valores de 2,5; 1,5; 1 y 1 de los establecidos en nuestro patrón, respectivamente.

Del mismo modo se mantiene esta dinámica para el tiempo de exposición TE-3, en el cual se obtiene un valor 6 en la A-D Strip expuesta a la muestra del ciclo de envejecimiento 0, que desciende hasta 2,5 en la tira correspondiente con el ciclo CE-1. Produciéndose un cambio de tono más paulatino entre los ciclos CE-1 y CE-4; con valores que van desde el 2,5 hasta el 1, pasando por el 2.

### Contenedor mediano

En el tiempo de exposición TE-1, las A-D Strips manifiestan un cambio de color significativo entre la expuesta a la muestra del ciclo de envejecimiento CE-0 y la del CE-1, que va del 3 al 1. En cambio, entre los ciclos CE-1 y CE-4 se produce una disminución de color progresiva que va desde el 1 hasta el 0, pasando por el 0,5 correspondiente con las tiras expuestas a las muestras de los ciclos CE-2 y CE-3.

En el tiempo de exposición TE-2, también se registra un cambio colorimétrico bastante acusado entre las A-D Strips expuestas a las muestras correspondientes con los ciclos de envejecimiento CE-0 y CE-1, que va desde el color 3,5 hasta el 1,5. Entre las expuestas a los ciclos CE-1 y CE-2, se registra una disminución de medio tono, del 1,5 al 1; no percibiéndose variación alguna entre las de los ciclos CE-2, CE-3 y CE-4.

Algo similar ocurre con el tiempo de exposición TE-3, en el que las A-D Strips expuestas a las muestras de los ciclos de envejecimiento CE-0 y CE-1 evidencian un gran cambio de tono, del valor 5 al 1,5. Mientras que entre las de los ciclos CE-1 y CE-4, solo se registra un pequeño cambio de medio valor

entre el ciclo CE-2 y el CE-3, que pasa de 1,5 al 1.

#### Contenedor grande

La A-D Strip expuesta a la muestra del ciclo de envejecimiento CE-0 durante el TE-1 presenta un valor 2 de color; mientras que las expuestas a las de los ciclos CE-1, CE-2, CE-3 y CE-4 no han sufrido cambios, manteniéndose en el valor 0.

En el tiempo de exposición TE-2, se observa que la tira A-D expuesta a la muestra del ciclo de envejecimiento CE-0 registra un valor colorimétrico de 2,5; y las de los ciclos CE-1, CE-2, CE-3 y CE-4 presentan un valor de color de 0,5.

Mientras que en la del ciclo de envejecimiento CE-0 se aprecia un color correspondiente con el valor 3 en el tiempo de exposición TE-3; y un valor de 1 en las de los ciclo CE-1, CE-2, CE-3, y CE-4.

La lectura de las A-D Strips permite afirmar que los valores colorimétricos son mucho más elevados en los contenedores que albergan las muestras de poliéster pertenecientes al ciclo de envejecimiento CE-0 (muestra sin envejecer), que en los que contienen las correspondientes a CE-1, CE-2, CE-3 y CE-4 (muestras envejecidas). Entre las envejecidas artificialmente, cabe señalar que las que han sido sometidas a ciclos más prolongados dan lugar a colores con valores más bajos que las que han estado menos tiempo en la cámara de envejecimiento; esta afirmación es válida para los tres tipos de contenedores.

### **Variable 2: tiempo de exposición (TE) de la AD Strip a las muestras**

#### Contenedor pequeño

Los registros colorimétricos realizados en las A-D Strips expuestas a la muestra del ciclo de envejecimiento CE-0 evidencian una modificación de color gradual, desde el valor 4 hasta el 6 pasando por el 5, a medida que aumenta el tiempo de exposición.

En cuanto a las del ciclo de envejecimiento CE-1, se puede observar que el tono varía ligeramente, del valor 2 al 2,5 entre los tiempos de exposición TE-1 y TE-2; mientras que no se registra un cambio significativo entre el tiempo TE-2 y el TE-3.

Las del ciclo de envejecimiento CE-2 muestran un cambio progresivo entre el tiempo TE-1 y el TE-3, pasando del valor 1 al 1,5 y después al 2.

En tanto, las del ciclo de envejecimiento CE-3 muestran una modificación muy leve del tono, sin llegar a un cambio significativo de color, entre el tiempo TE-1, TE-2 y TE-3 manteniéndose en todo momento en el valor 1; mientras que la correspondiente al ciclo CE-4 pasa del valor 0 al 1 entre el primer y el segundo tiempo, no reflejando variación alguna de color entre el segundo y el tercero, que permanecen en el valor 1.

#### Contenedor mediano

Las A-D Strips expuestas al ciclo de envejecimiento CE-0 muestran un leve incremento en el valor de color entre el tiempo de exposición TE-1 y TE-2, del 3 al 3,5; y un incremento más notable entre el tiempo TE-2 y TE-3, que va del 3,5 al 5.

En lo correspondiente con el ciclo CE-1, se registra un pequeño cambio entre el tiempo TE-1 y el TE-2, del 1 al 1,5; y ninguno entre el TE-2 y el TE-3. En las A-D Strips correspondientes con el ciclo CE-2 se percibe un aumento paulatino del valor de color entre los tiempos TE-1 y TE-3, que va desde el 0,5 al 1,5 pasando por el 1. Y en las del ciclo CE-3 y CE-4 se detecta un aumento de 0,5 valores (del 0,5 al 1) y 1 valor (del 0 al 1) respectivamente entre los tiempos TE-1 y TE-2; en cambio no se registra ninguna variación colorimétrica entre el TE-2 y el TE-3.

#### Contenedor grande

Los colores obtenidos tras exponer las A-D Strips a las muestras del ciclo de envejecimiento CE-0 nos indican que ha habido un ligero aumento del valor de color entre los tiempos TE-1 y TE-2, del 2 al 2,5; y otro del 2,5 al 3, entre el tiempo TE-2 y el TE-3. Los tonos registrados por las A-D Strips expuestas a las muestras del resto de ciclos, del ciclo CE-1 al CE-4, coinciden en cada tiempo de exposición. Así, en todas ellas podemos observar como en el primer tiempo no se detecta ninguna variación de color; mientras que en el tiempo TE-2 se observa un valor de 0,5 y en el TE-3 cambia al valor 1.

En conclusión, podemos afirmar que los valores colorimétricos se mantienen o son más altos al aumentar el tiempo de exposición; en ningún caso se ha constatado que una A-D Strip muestre un valor de color más bajo en el tiempo de exposición TE-3 que en el TE-1 o el TE-2.

### Variable 3: volumen del contenedor

#### Tiempo de exposición 1

En relación a los distintos volúmenes del contenedor, los registros colorimétricos de las A-D Strips expuestas a la muestra del ciclo de envejecimiento CE-0 muestran un aumento de tono entre el contenedor grande y el mediano, del 2 al 3; y del 3 al 4 entre el contenedor mediano y el pequeño. La del ciclo CE-1 aumenta un valor del contenedor grande al contenedor mediano, del 0 al 1; y del mediano al pequeño, del 1 al 2. Las expuestas a los ciclos CE-2 y CE-3 pasan del valor 0 del contenedor grande al 0,5 del contenedor mediano; y del 0,5 al 1 entre el mediano y el pequeño. Sin embargo, los registros correspondientes al del ciclo CE-4 presentan un valor 0 en los tres tipos de contenedor.

#### Tiempo de exposición 2

Los colores de las A-D Strips tras su exposición a la muestra del ciclo CE-0 nos indican que existe un incremento del valor de color del 2,5 al 3,5 entre el contenedor grande y el mediano; y del 3,5 al 5 entre el mediano y el pequeño. En la del ciclo CE-1 se pasa del 0,5 de contenedor grande al 1,5 del mediano; y del 1,5 del mediano al 2,5 del pequeño. En la del ciclo CE-2 se registra un pequeño cambio de tono entre el contenedor grande y el mediano, del 0,5 al 1; y otro entre el mediano y el grande, del 1 al 1,5. Mientras que en el caso de CE-3 y CE-4, se percibe un leve incremento entre el contenedor grande y el mediano, del 0,5 al 1; y ninguno entre el mediano y el pequeño, permaneciendo ambas en el valor 1.

#### Tiempo de exposición 3

Las A-D expuestas a la muestra del ciclo CE-0 evidencian un cambio de color significativo entre el contenedor grande y el mediano, pasando del valor 3 al 5; y del 5 al 6 entre el mediano y el pequeño. Las del ciclo CE-1 muestran un incremento de color leve entre el contenedor grande y el mediano, del 1 al 1,5; y un poco más significativa entre el mediano y el pequeño, del 1,5 al 2,5. Por otro lado, las del ciclo CE-2 evidencian un cambio gradual del 1 al 1,5 y del 1,5 al 2, entre los contenedores grande y mediano, y mediano y pequeño, respectivamente. Por último, las de los ciclo CE-3 y CE-4 se mantienen en el valor 1 en los tres tipos de contenedor.

Por tanto, tras analizar bajo la variable del volumen del contenedor los colores resultantes de exponer las A-D Strips a las diferentes muestras se puede establecer que cuanto menor es el volumen del contenedor más elevado es el valor del color.

3.1.3.1.3 Poliuretano

|                                   |                  | Tiempo de envejecimiento de las muestras |                                 |                               |                                |                               |                                |                               |
|-----------------------------------|------------------|--|---------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
|                                   |                  | CE - 0                                   | CE - 1                          | CE - 2                        | CE - 3                         | CE - 4                        |                                |                               |
| Poliuretano<br>CP                 | AD Strip testigo | b -35,3                                  | b -35,3                         | b -35,3                       | b -35,3                        | b -35,3                       |                                |                               |
|                                   | TE - 1           | 0<br>b -33,28                            | 1<br>b -13,46                   | 1<br>b -13,28                 | 2<br>b -1,12                   | 2<br>b -1,09                  |                                |                               |
|                                   | TE - 2           | 0<br>b -33,02                            | 1<br>b -8,5                     | 2<br>b 5,88                   | 2<br>b 5,95                    | 2<br>b 8,07                   |                                |                               |
|                                   | TE - 3           | 0<br>b -32,89                            | 1,5<br>b -5,53                  | 2<br>b 9,39                   | 2,5<br>b 16,58                 | 3<br>b 24                     |                                |                               |
| Coordenadas CIELAB (L* a* b*)     |                  | L 41,63<br>a -10,19<br>b -35,30          | L 42,13<br>a -16,24<br>b -15,35 | L 43,38<br>a -18,54<br>b 5,16 | L 45,16<br>a -16,14<br>b 25,11 | L 54,34<br>a -7,04<br>b 45,21 | L 65,18<br>a -74,24<br>b 65,16 | L 85,22<br>a -6,23<br>b 85,36 |
| Patrón de equivalencias propuesto |                  | 0  | 1                               | 2                             | 3                              | 4                             | 5                              | 6                             |
| Patrón de equivalencias del IPI   |                  | 0  |                                 |                               | 1                              | 2                             |                                | 3                             |

Tabla 26: Modificación cromática de las A-D Strips, según tiempos de exposición y ciclos de envejecimiento de las muestras de poliuretano. Contenedor pequeño.

|                                   |  |                  | Tiempo de envejecimiento de las muestras |                                 |                               |                                |                               |                                |                               |
|-----------------------------------|--|------------------|--|---------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
|                                   |  |                  | CE - 0                                   | CE - 1                          | CE - 2                        | CE - 3                         | CE - 4                        |                                |                               |
| Poliuretano<br>CM                 | Tiempo de exposición de las AD Strips a las muestras | AD Strip testigo | b -35,3                                  | b -35,3                         | b -35,3                       | b -35,3                        | b -35,3                       |                                |                               |
|                                   |  | TE - 1           | 0<br>b -30,28                            | 1<br>b -16,23                   | 1<br>b -16,25                 | 1<br>b -9,51                   | 1<br>b -9,15                  |                                |                               |
|                                   |  | TE - 2           | 0<br>b -33,7                             | 1<br>b -14,22                   | 1<br>b -14,52                 | 2<br>b -0,34                   | 2<br>b 2,37                   |                                |                               |
|                                   |  | TE - 3           | 0<br>b -29,44                            | 1<br>b -11,3                    | 1<br>b -13,32                 | 2<br>b 12,66                   | 3<br>b 21,9                   |                                |                               |
| Coordenadas CIELAB (L* a* b*)     |  |                  | L 41,63<br>a -10,19<br>b -35,30          | L 42,13<br>a -16,24<br>b -15,35 | L 43,38<br>a -18,54<br>b 5,16 | L 45,16<br>a -16,14<br>b 25,11 | L 54,34<br>a -7,04<br>b 45,21 | L 65,18<br>a -74,24<br>b 65,16 | L 85,22<br>a -6,23<br>b 85,36 |
| Patrón de equivalencias propuesto |  |                  | 0  | 1                               | 2                             | 3                              | 4                             | 5                              | 6                             |
| Patrón de equivalencias del IPI   |  |                  | 0  |                                 |                               | 1                              | 2                             |                                | 3                             |

Tabla 27: Modificación cromática de las A-D Strips, según tiempos de exposición y ciclos de envejecimiento de las muestras de poliuretano. Contenedor mediano.

|                   |  | Tiempo de envejecimiento de las muestras |                 |                 |               |               |         |
|-------------------|--|--|-----------------|-----------------|---------------|---------------|---------|
|                   |  | CE - 0                                   | CE - 1          | CE - 2          | CE - 3        | CE - 4        |         |
| Poliuretano<br>CG | Tiempo de exposición de las AD Strips a las muestras | AD Strip testigo                         | b -35,3         | b -35,3         | b -35,3       | b -35,3       | b -35,3 |
|                   | TE - 1   | 0<br>b -30,52                            | 0<br>b -30,25   | 0<br>b -30,43   | 0<br>b -30,11 | 0<br>b -25,53 |         |
|                   | TE - 2   | 0<br>b -34,23                            | 0,5<br>b -25,30 | 0,5<br>b -25,49 | 1<br>b -12,91 | 1<br>b -13,15 |         |
|                   | TE - 3   | 0<br>b -30,21                            | 1<br>b -18,28   | 1<br>b -15,37   | 1<br>b -12,99 | 2<br>b -1,04  |         |

|                                   |                                 |                                 |                               |                                |                               |                                |                               |
|-----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| Coordenadas CIELAB (L* a* b*)     | L 41,63<br>a -10,19<br>b -35,30 | L 42,13<br>a -16,24<br>b -15,35 | L 43,38<br>a -18,54<br>b 5,16 | L 45,16<br>a -16,14<br>b 25,11 | L 54,34<br>a -7,04<br>b 45,21 | L 65,18<br>a -74,24<br>b 65,16 | L 85,22<br>a -6,23<br>b 85,36 |
| Patrón de equivalencias propuesto | 0                               | 1                               | 2                             | 3                              | 4                             | 5                              | 6                             |
| Patrón de equivalencias del IPI   | 0                               |                                 |                               | 1                              | 2                             |                                | 3                             |

Tabla 28: Modificación cromática de las A-D Strips, según tiempos de exposición y ciclos de envejecimiento de las muestras de poliuretano. Contenedor grande

## Variable 1: influencia del envejecimiento (CE) de la muestra

### Contenedor pequeño

Las A-D Strips expuestas a la muestra sin envejecer mantienen el azul correspondiente al valor de color 0 en todos los tiempos de exposición. Sin embargo, entre los ciclos CE-1 y CE-4 si se observan variaciones en los registros colorimétricos. En concreto, en el tiempo de exposición TE-1, las tiras expuestas a las muestras de los ciclos CE-1 y CE-2 muestran un valor de color de 1; mientras que en las de los ciclos CE-3 y CE-4 el valor aumenta hasta 2. En el tiempo de exposición TE-2 se observa un aumento entre el CE-1 y el CE-2, del 1 al 2, manteniéndose este último valor en los ciclos CE-3 y CE-4. Por último, las tiras correspondientes con el TE-3 muestran un aumento de 0,5 entre los distintos ciclos de envejecimiento, desde el valor de color 1,5 del CE-1 hasta el 3 del CE-4.

### Contenedor mediano

Nuevamente las A-D Strips correspondientes al CE-0 (muestra sin envejecer) no detectan ninguna variación colorimétrica significativa, manteniéndose en el valor 0 de color. Mientras que las expuestas a las muestras correspondientes con los ciclos de envejecimiento CE-1 y CE-2 aumentan hasta el valor de color 1 en todos los tiempos de exposición. En el caso de las de los ciclos CE-3 y CE-4 se observan valores de 1 en el TE-1 y de 2 en el TE-2 en ambos, y de 2 y 3 respectivamente en el TE-3.

### Contenedor grande

En el caso del contenedor grande las A-D Strips no registran cambios de color ni en el caso de las muestras pertenecientes al CE-0, como en los casos anteriores; ni en ninguno de los ciclos restantes (CE-1, CE-2, CE-3 y CE-4) tras el tiempo de exposición TE-1. En el TE-2, las tiras de los ciclos CE-1 y CE-2 muestran un valor de 0,5 que sube hasta 1 en las de los ciclos CE-3 y CE-4; mientras que en el TE-3, en los ciclos CE-1, CE-2 y CE-3 se observa un valor de color de 1, y en el CE-4 de 2.

Por tanto, podemos afirmar que en el caso del poliuretano, los valores colorimétricos son más altos cuanto más envejecida se encuentre la muestra. Cabe señalar además que las muestras pertenecientes al ciclo de envejecimiento CE-0 no han variado de color en ninguno de los supuestos, manteniéndose en todo momento en el valor 0.

## Variable 2: tiempo de exposición (TE) de la AD Strip a las muestras

### Contenedor pequeño

Los registros colorimétricos realizados en las A-D Strips expuestas a las muestras correspondientes con el ciclo de envejecimiento CE-0 no registran variación colorimétrica alguna en ninguno de los tres tiempos de exposición. En el resto de ciclos de envejecimiento se observa un aumento paulatino del valor de color a medida que aumenta el tiempo de exposición; en concreto en el CE-1 el valor es de 1 en los tiempos TE-1 y TE-2, y de 1,5 en el TE-3. En CE-2 pasa de 1 a 2 entre el TE-1 y el TE-2, manteniéndose en este último valor en el TE-3. Mientras que en los ciclos CE-3 y CE-4 el valor de color se mantiene en 2 en los tiempos TE-1 y TE-2 y aumenta hasta 2,5 y 3 respectivamente, en el TE-3.

### Contenedor mediano

En las A-D Strips expuestas a las muestras correspondientes al CE-0 no se detecta ningún cambio de color manteniéndose en los tiempos de exposición TE-1, TE-2 y TE-3 en el valor 0. Las del ciclo CE-1 y CE-2, no varían en ninguno de los tres tiempos, mostrando todas ellas un valor 1 de color. Las del ciclo CE-3, presentan un valor 1 en el tiempo TE-1, y un valor 2 en el segundo y tercer tiempo. Y por último, las del ciclo CE-4 registran un incremento gradual entre el tiempo TE-1 y el TE-3; oscilando los valores del 1 al 3, pasando por el 2.

### Contenedor grande

Los colores obtenidos tras exponer las A-D Strips a las muestras del ciclo de envejecimiento CE-0, al igual que en los otros dos volúmenes de contenedor, no registran variación de color alguna en ninguno de los tres tiempos, mostrando todos el nivel 0.

En las de los ciclos CE-1 y CE-2, se aprecia un cambio de color progresivo que va del 0 del primer tiempo al 1 del tercero, pasando por el 0,5 del segundo. La A-D Strip expuesta al ciclo CE-3 no registra variación colorimétrica alguna en el tiempo TE-1, mientras que en los tiempos TE-2 y TE-3 se puede apreciar un valor de color 1. Finalmente, la tira expuesta a la muestra del ciclo CE-4 evidencia un cambio gradual de color que va desde el valor 0 al 1, y desde el 1 al 2, a medida que aumenta el tiempo de exposición.

Al igual que en el caso del acetato de celulosa y del poliéster, cabe señalar que los valores colorimétricos son iguales o superiores a medida que aumenta el tiempo de exposición.

### Variable 3: volumen del contenedor

#### Tiempo de exposición 1

Los registros colorimétricos de las A-D Strips expuestas a las muestras pertenecientes al CE-0 no registran ningún cambio entre el contenedor grande, el mediano y el pequeño, manteniéndose todos ellos en el valor 0. Las de los ciclos de envejecimiento CE-1 y CE-2 detectan un aumento de 1 valor entre el contenedor grande y mediano, del 0 al 1; mientras que no se aprecia ningún cambio entre el mediano y el pequeño. Las A-D Strips expuestas a las muestras correspondientes con los ciclos CE-3 y CE-4, registran un incremento paulatino entre los contenedores grandes y pequeños; que van desde el 0 al 2, pasando por el 1.

#### Tiempo de exposición 2

Las A-D Strips expuestas a las muestras del ciclo de envejecimiento CE-0, al igual que en el tiempo de exposición TE-1, no detectan variación de color alguna en ninguno de los tres modelos de contenedor. Las del ciclo CE-1 muestran un leve aumento entre el contenedor grande y el mediano, del 0,5 al 1; y ninguno entre el mediano y el pequeño. Las del ciclo CE-2 pasan del 0,5 al 1 entre el contenedor grande y el mediano, y del 1 al 2 entre el mediano y el pequeño. Por último, las de los ciclos CE-3 y CE-4 presentan un valor 1 en el contenedor grande y de 2 en los contenedores mediano y pequeño.

#### Tiempo de exposición 3

En las A-D Strips correspondientes a la muestra del ciclo CE-0, del mismo modo que en los tiempos de exposición TE-1 y TE-2, no se aprecian variaciones de color, manteniéndose el valor 0 en los contenedores grande, mediano y pequeño. En las del ciclo CE-1, no existen diferencias de color entre el contenedor grande y el mediano, mostrando ambos el valor 1; mientras que entre el mediano y el pequeño se registra un incremento de medio valor, pasando del 1 al 1,5. En las del ciclo CE-2 se aprecia el color correspondiente con el valor 1 tanto en el contenedor grande como en el mediano; y una diferencia de un valor entre el mediano y el pequeño, que cambia del 1 al 2. En las del ciclo CE-3 se pasa del valor 1 al 2, y del 2 al 2,5 entre los contenedores grande, mediano y pequeño. Mientras que en las del ciclo CE-4 se pasa del color número 2 del contenedor grande al 3 que se registra entre el mediano y el pequeño.

Del mismo modo que en las muestras de acetato de celulosa y poliéster, con el poliuretano, los valores colorimétricos de las A-D Strips aumentan a medida que disminuye el tamaño del contenedor.

3.1.3.1.4 Caucho, PVC y PMMA

|                                   |                     | Tiempo de envejecimiento de las muestras |                                 |                               |                                |                               |                                |                               |
|-----------------------------------|---------------------|--|---------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
|                                   |                     | CE - 0                                   | CE - 1                          | CE - 2                        | CE - 3                         | CE - 4                        |                                |                               |
| Caucho<br>CP                      | AD Strip<br>testigo | b -35,3                                  | b -35,3                         | b -35,3                       | b -35,3                        | b -35,3                       |                                |                               |
|                                   | TE - 1              | 0<br>b -33,09                            | 0<br>b -33,08                   | 0<br>b -32,78                 | 0<br>b -34,09                  | 0<br>b -33,98                 |                                |                               |
|                                   | TE - 2              | 0<br>b -30,15                            | 0<br>b -29,86                   | 0<br>b -29,23                 | 0<br>b -28,96                  | 0<br>b -28,05                 |                                |                               |
|                                   | TE - 3              | 0<br>b -30,98                            | 0<br>b -30,87                   | 0<br>b -30,99                 | 0<br>b -30,56                  | 0<br>b -30,75                 |                                |                               |
| Coordenadas CIELAB (L* a* b*)     |                     | L 41,63<br>a -10,19<br>b -35,30          | L 42,13<br>a -16,24<br>b -15,35 | L 43,38<br>a -18,54<br>b 5,16 | L 45,16<br>a -16,14<br>b 25,11 | L 54,34<br>a -7,04<br>b 45,21 | L 65,18<br>a -74,24<br>b 65,16 | L 85,22<br>a -6,23<br>b 85,36 |
| Patrón de equivalencias propuesto |                     | 0  | 1                               | 2                             | 3                              | 4                             | 5                              | 6                             |
| Patrón de equivalencias del IPI   |                     | 0  |                                 |                               | 1                              | 2                             |                                | 3                             |

Tabla 29: Modificación cromática de las A-D Strips, según tiempos de exposición y ciclos de envejecimiento de las muestras de caucho. Contenedor pequeño.

|                                   |  | Tiempo de envejecimiento de las muestras |                               |                                |                               |                                |                               |
|-----------------------------------|--|--|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
|                                   |  | CE - 0                                   | CE - 1                        | CE - 2                         | CE - 3                        | CE - 4                         |                               |
| Caucho<br>CM                      | Tiempo de exposición de las AD Strips a las muestras | AD Strip<br>testigo                      | b -35,3                       | b -35,3                        | b -35,3                       | b -35,3                        | b -35,3                       |
|                                   | TE - 1   | 0  | 0                             | 0                              | 0                             | 0                              |                               |
|                                   |  | b -33,02                                 | b -34,87                      | b -34,02                       | b -33,02                      | b -33,28                       |                               |
|                                   | TE - 2   | 0  | 0                             | 0                              | 0                             | 0                              |                               |
|                                   | b -33,65   | b -33,21                                 | b -32,15                      | b -31,13                       | b -30,63                      |                                |                               |
|                                   | TE - 3   | 0  | 0                             | 0                              | 0                             | 0                              |                               |
|                                   | b -30,69   | b -31,14                                 | b -32                         | b -31,07                       | b -29,65                      |                                |                               |
| Coordenadas CIELAB (L* a* b*)     | L 41,63<br>a -10,19<br>b -35,30                      | L 42,13<br>a -16,24<br>b -15,35          | L 43,38<br>a -18,54<br>b 5,16 | L 45,16<br>a -16,14<br>b 25,11 | L 54,34<br>a -7,04<br>b 45,21 | L 65,18<br>a -74,24<br>b 65,16 | L 85,22<br>a -6,23<br>b 85,36 |
| Patrón de equivalencias propuesto | 0  | 1  | 2                             | 3                              | 4                             | 5                              | 6                             |
| Patrón de equivalencias del IPI   | 0  |  |                               | 1                              | 2                             |                                | 3                             |

Tabla 30: Modificación cromática de las A-D Strips, según tiempos de exposición y ciclos de envejecimiento de las muestras de caucho. Contenedor mediano.

|                                   |  | Tiempo de envejecimiento de las muestras |                                 |                               |                                |                               |                                |                               |
|-----------------------------------|--|--|---------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
|                                   |  | CE - 0                                   | CE - 1                          | CE - 2                        | CE - 3                         | CE - 4                        |                                |                               |
| Caucho<br>CG                      | Tiempo de exposición de las AD Strips a las muestras | AD Strip testigo                         | b -35,3                         | b -35,3                       | b -35,3                        | b -35,3                       | b -35,3                        |                               |
|                                   | TE - 1   | 0<br>b -34,76                            | 0<br>b -32,98                   | 0<br>b -33,9                  | 0<br>b -34,78                  | 0<br>b -30,31                 |                                |                               |
|                                   | TE - 2   | 0<br>b -30,47                            | 0<br>b -30,39                   | 0<br>b -30,38                 | 0<br>b -30,37                  | 0<br>b -30,31                 |                                |                               |
|                                   | TE - 3   | 0<br>b -30,29                            | 0<br>b -30,33                   | 0<br>b -30,23                 | 0<br>b -30,14                  | 0<br>b -30,28                 |                                |                               |
| Coordenadas CIELAB (L* a* b*)     |  | L 41,63<br>a -10,19<br>b -35,30          | L 42,13<br>a -16,24<br>b -15,35 | L 43,38<br>a -18,54<br>b 5,16 | L 45,16<br>a -16,14<br>b 25,11 | L 54,34<br>a -7,04<br>b 45,21 | L 65,18<br>a -74,24<br>b 65,16 | L 85,22<br>a -6,23<br>b 85,36 |
| Patrón de equivalencias propuesto |  | 0  | 1                               | 2                             | 3                              | 4                             | 5                              | 6                             |
| Patrón de equivalencias del IPI   |  | 0  |                                 |                               | 1                              | 2                             |                                | 3                             |

Tabla 31: Modificación cromática de las A-D Strips, según tiempos de exposición y ciclos de envejecimiento de las muestras de caucho. Contenedor grande.

|                                   |  |                                 | Tiempo de envejecimiento de las muestras |                               |                                |                               |                                |                               |
|-----------------------------------|--|---------------------------------|--|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
|                                   |  |                                 | CE - 0                                   | CE - 1                        | CE - 2                         | CE - 3                        | CE - 4                         |                               |
| PVC<br>CP                         | Tiempo de exposición de las AD Strips a las muestras | AD Strip testigo                | b -35,3                                  | b -35,3                       | b -35,3                        | b -35,3                       | b -35,3                        |                               |
|                                   |  | TE - 1                          | 0<br>b -34,88                            | 0<br>b -34,56                 | 0<br>b -33,89                  | 0<br>b -34,79                 | 0<br>b -33,98                  |                               |
|                                   |  | TE - 2                          | 0<br>b -30,25                            | 0<br>b -28,89                 | 0<br>b -28,86                  | 0<br>b -28,15                 | 0<br>b -27,78                  |                               |
|                                   |  | TE - 3                          | 0<br>b -30,12                            | 0<br>b -30,41                 | 0<br>b -30,32                  | 0<br>b -30,18                 | 0<br>b -30,15                  |                               |
| Coordenadas CIELAB (L* a* b*)     |  | L 41,63<br>a -10,19<br>b -35,30 | L 42,13<br>a -16,24<br>b -15,35          | L 43,38<br>a -18,54<br>b 5,16 | L 45,16<br>a -16,14<br>b 25,11 | L 54,34<br>a -7,04<br>b 45,21 | L 65,18<br>a -74,24<br>b 65,16 | L 85,22<br>a -6,23<br>b 85,36 |
| Patrón de equivalencias propuesto |  | 0                               | 1  | 2                             | 3                              | 4                             | 5                              | 6                             |
| Patrón de equivalencias del IPI   |  | 0                               |  |                               | 1                              | 2                             |                                | 3                             |

Tabla 32: Modificación cromática de las A-D Strips, según tiempos de exposición y ciclos de envejecimiento de las muestras de policloruro de vinilo. Contenedor pequeño.

|           |  | Tiempo de envejecimiento de las muestras |               |               |               |               |         |
|-----------|--|--|---------------|---------------|---------------|---------------|---------|
|           |  | CE - 0                                   | CE - 1        | CE - 2        | CE - 3        | CE - 4        |         |
| PVC<br>CM | Tiempo de exposición de las AD Strips a las muestras | AD Strip testigo                         | b -35,3       | b -35,3       | b -35,3       | b -35,3       | b -35,3 |
|           | TE - 1   | 0<br>b -34,87                            | 0<br>b -34,25 | 0<br>b -34,72 | 0<br>b -34,79 | 0<br>b -33,98 |         |
|           | TE - 2   | 0<br>b -30,37                            | 0<br>b -29,96 | 0<br>b -29,87 | 0<br>b -28,15 | 0<br>b -27,78 |         |
|           | TE - 3   | 0<br>b -28,98                            | 0<br>b -28,95 | 0<br>b -29,69 | 0<br>b -28,4  | 0<br>b -28,12 |         |

|                                   |                                 |                                 |                               |                                |                               |                                |                               |
|-----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| Coordenadas CIELAB (L* a* b*)     | L 41,63<br>a -10,19<br>b -35,30 | L 42,13<br>a -16,24<br>b -15,35 | L 43,38<br>a -18,54<br>b 5,16 | L 45,16<br>a -16,14<br>b 25,11 | L 54,34<br>a -7,04<br>b 45,21 | L 65,18<br>a -74,24<br>b 65,16 | L 85,22<br>a -6,23<br>b 85,36 |
| Patrón de equivalencias propuesto | 0                               | 1                               | 2                             | 3                              | 4                             | 5                              | 6                             |
| Patrón de equivalencias del IPI   | 0                               |                                 |                               | 1                              | 2                             |                                | 3                             |

Tabla 33: Modificación cromática de las A-D Strips, según tiempos de exposición y ciclos de envejecimiento de las muestras de policloruro de vinilo. Contenedor mediano.

|           |  | Tiempo de envejecimiento de las muestras |          |          |          |          |         |
|-----------|--|--|----------|----------|----------|----------|---------|
|           |  | CE - 0                                   | CE - 1   | CE - 2   | CE - 3   | CE - 4   |         |
| PVC<br>CG | Tiempo de exposición de las AD Strips a las muestras | AD Strip testigo                         | b -35,3  | b -35,3  | b -35,3  | b -35,3  | b -35,3 |
|           | TE - 1   | 0  | 0        | 0        | 0        | 0        |         |
|           |  | b -34,29                                 | b -33,97 | b -33,89 | b -33,57 | b -33,87 |         |
|           | TE - 2   | 0  | 0        | 0        | 0        | 0        |         |
|           | b -31,12   | b -31,11                                 | b -31,15 | b -31,18 | b -31,22 |          |         |
|           | TE - 3   | 0  | 0        | 0        | 0        | 0        |         |
|           |  | b -34,02                                 | b -29,02 | b -28,69 | b -28,34 | b -29,22 |         |

|                                   |                                 |                                 |                               |                                |                               |                                |                               |
|-----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| Coordenadas CIELAB (L* a* b*)     | L 41,63<br>a -10,19<br>b -35,30 | L 42,13<br>a -16,24<br>b -15,35 | L 43,38<br>a -18,54<br>b 5,16 | L 45,16<br>a -16,14<br>b 25,11 | L 54,34<br>a -7,04<br>b 45,21 | L 65,18<br>a -74,24<br>b 65,16 | L 85,22<br>a -6,23<br>b 85,36 |
| Patrón de equivalencias propuesto | 0                               | 1                               | 2                             | 3                              | 4                             | 5                              | 6                             |
| Patrón de equivalencias del IPI   | 0                               |                                 |                               | 1                              | 2                             |                                | 3                             |

Tabla 34: Modificación cromática de las A-D Strips, según tiempos de exposición y ciclos de envejecimiento de las muestras de policloruro de vinilo. Contenedor grande.

|            |  | Tiempo de envejecimiento de las muestras |               |               |               |               |
|------------|--|--|---------------|---------------|---------------|---------------|
|            |  | CE - 0                                   | CE - 1        | CE - 2        | CE - 3        | CE - 4        |
| PMMA<br>CP | Tiempo de exposición de las AD Strips a las muestras |  |               |               |               |               |
|            | AD Strip testigo                                     | b -35,3                                  | b -35,3       | b -35,3       | b -35,3       | b -35,3       |
|            | TE - 1   | 0<br>b -33,45                            | 0<br>b -34,56 | 0<br>b -33,98 | 0<br>b -34,76 | 0<br>b -34,78 |
|            | TE - 2   | 0<br>b -32,2                             | 0<br>b -31,9  | 0<br>b -33,05 | 0<br>b -32,12 | 0<br>b -32,85 |
|            | TE - 3   | 0<br>b -32,24                            | 0<br>b -33,87 | 0<br>b -33,62 | 0<br>b -34,98 | 0<br>b -34,75 |

|                                   |                                 |                                 |                               |                                |                               |                                |                               |
|-----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| Coordenadas CIELAB (L* a* b*)     | L 41,63<br>a -10,19<br>b -35,30 | L 42,13<br>a -16,24<br>b -15,35 | L 43,38<br>a -18,54<br>b 5,16 | L 45,16<br>a -16,14<br>b 25,11 | L 54,34<br>a -7,04<br>b 45,21 | L 65,18<br>a -74,24<br>b 65,16 | L 85,22<br>a -6,23<br>b 85,36 |
| Patrón de equivalencias propuesto | 0                               | 1                               | 2                             | 3                              | 4                             | 5                              | 6                             |
| Patrón de equivalencias del IPI   | 0                               |                                 |                               | 1                              | 2                             |                                | 3                             |

Tabla 35: Modificación cromática de las A-D Strips, según tiempos de exposición y ciclos de envejecimiento de las muestras de PMMA. Contenedor pequeño.

|                                   |  | Tiempo de envejecimiento de las muestras |                                 |                               |                                |                               |                                |                               |
|-----------------------------------|--|--|---------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
|                                   |  | CE - 0                                   | CE - 1                          | CE - 2                        | CE - 3                         | CE - 4                        |                                |                               |
| PMMA<br>CM                        | Tiempo de exposición de las AD Strips a las muestras | AD Strip testigo                         | b -35,3                         | b -35,3                       | b -35,3                        | b -35,3                       | b -35,3                        |                               |
|                                   | TE - 1   | 0  | 0                               | 0                             | 0                              | 0                             |                                |                               |
|                                   | TE - 2   | 0  | 0                               | 0                             | 0                              | 0                             |                                |                               |
|                                   | TE - 3   | 0  | 0                               | 0                             | 0                              | 0                             |                                |                               |
|                                   |  |  |                                 |                               |                                |                               |                                |                               |
| Coordenadas CIELAB (L* a* b*)     |  | L 41,63<br>a -10,19<br>b -35,30          | L 42,13<br>a -16,24<br>b -15,35 | L 43,38<br>a -18,54<br>b 5,16 | L 45,16<br>a -16,14<br>b 25,11 | L 54,34<br>a -7,04<br>b 45,21 | L 65,18<br>a -74,24<br>b 65,16 | L 85,22<br>a -6,23<br>b 85,36 |
| Patrón de equivalencias propuesto |  | 0  | 1                               | 2                             | 3                              | 4                             | 5                              | 6                             |
| Patrón de equivalencias del IPI   |  | 0  |                                 |                               | 1                              | 2                             |                                | 3                             |

Tabla 36: Modificación cromática de las A-D Strips, según tiempos de exposición y ciclos de envejecimiento de las muestras de PMMA. Contenedor mediano.

|            |  | Tiempo de envejecimiento de las muestras |               |               |               |               |
|------------|--|--|---------------|---------------|---------------|---------------|
|            |  | CE - 0                                   | CE - 1        | CE - 2        | CE - 3        | CE - 4        |
| PMMA<br>CG | Tiempo de exposición de las AD Strips a las muestras |  |               |               |               |               |
|            | AD Strip testigo                                     | b -35,3                                  | b -35,3       | b -35,3       | b -35,3       | b -35,3       |
|            | TE - 1   | 0<br>b -34,78                            | 0<br>b -33,99 | 0<br>b -34,45 | 0<br>b -34,87 | 0<br>b -32,98 |
|            | TE - 2   | 0<br>b -34,98                            | 0<br>b -35,03 | 0<br>b -35,08 | 0<br>b -35,15 | 0<br>b -35,26 |
|            | TE - 3   | 0<br>b -34,29                            | 0<br>b -35,01 | 0<br>b -34,07 | 0<br>b -33,02 | 0<br>b -33,89 |

|                                   |                                 |                                 |                               |                                |                               |                                |                               |
|-----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| Coordenadas CIELAB (L* a* b*)     | L 41,63<br>a -10,19<br>b -35,30 | L 42,13<br>a -16,24<br>b -15,35 | L 43,38<br>a -18,54<br>b 5,16 | L 45,16<br>a -16,14<br>b 25,11 | L 54,34<br>a -7,04<br>b 45,21 | L 65,18<br>a -74,24<br>b 65,16 | L 85,22<br>a -6,23<br>b 85,36 |
| Patrón de equivalencias propuesto | 0                               | 1                               | 2                             | 3                              | 4                             | 5                              | 6                             |
| Patrón de equivalencias del IPI   | 0                               |                                 |                               | 1                              | 2                             |                                | 3                             |

Tabla 37: Modificación cromática de las A-D Strips, según tiempos de exposición y ciclos de envejecimiento de las muestras de PMMA. Contenedor grande.

En cuanto a las mediciones colorimétricas de las A-D Strips expuestas a las muestras de caucho, PMMA y PVC, tal y como se observa en los gráficos, no se han registrado variaciones de color en ninguna de ellas; ni entre los diversos ciclos de envejecimiento, ni entre los distintos tiempos de exposición, ni entre os diferentes volúmenes de contenedor.

### 3.1.3.2 Relación entre los valores colorimétricos y la concentración ácida

Una vez recopilados todos los datos obtenidos mediante las lecturas colorimétricas, llega el momento de ponerlos en relación con las concentraciones de contaminantes ácidos en el aire. Antes, conviene recordar que en el apartado 2.2 *La detección y el control de contaminantes en ambientes museísticos*, se explicaba cómo las A-D Strips están diseñadas para detectar la presencia de ácidos en el aire; sin embargo no lo hacen de forma selectiva, es decir, no proporcionan datos que permitan identificar el tipo de gas. Por ello a la hora de establecer equivalencias entre el color de la tira y la concentración de volátiles en el aire, solamente podremos referirnos a concentraciones ácidas en general. En el caso de que fuese necesario identificar el tipo de ácido concreto y su concentración exacta, se tendría que recurrir a un sistema de muestreo activo específico para ese gas y a su correspondiente análisis de laboratorio.

Por otro lado, cabe señalar que las A-D Strips fueron originalmente desarrolladas para la detección del ácido acético producido por las películas de acetato de celulosa en su proceso de degradación, por lo que aunque se ha demostrado que son adecuadas para la monitorización de cualquier material que emita gases ácidos, como es el caso de los plásticos (Nicholson y O'Loughlin, 1996; Shashoua, 2008b; Coughlin, 2011; Baker, McCauley y Tsang, 2015), en su manual de uso solamente especifican los valores de conversión entre el color de la tira y la concentración aproximada de ácido acético en partes por millón<sup>123</sup>.

En esta investigación se va a medir la concentración ácida del ambiente interior de los contenedores que albergan las muestras de los seis tipos de plástico testados; caucho, acetato de celulosa, PVC, PMMA, poliéster y poliuretano, los cuales pueden emitir además de ácido acético, otros tipos de ácido como el sulfúrico, el nítrico, el nitroso, el clorhídrico, el fórmico, el adípico o el sulfuro de nitrógeno.

Al no existir equivalencias entre los colores de las tiras y la concentración en partes por millón para estos siete últimos ácidos, a la hora de la interpretación de los datos aquí obtenidos, se han establecido equivalencias entre los valores de color de las A-D Strips y la concentración ácida del aire representando el 0 la ausencia de acidez, el 1 concentración baja, el 2 media-baja, el 3 media, el 4 media-alta, el 5 alta y el 6 muy alta.

Otro aspecto a tener en cuenta es que las tiras solo registran pH entre 5,4 y 3,8, es decir, las A-D Strips son capaces de medir concentraciones ácidas

---

123 La correspondencia entre valores de color y concentración de ácido acético (ppm) es la siguiente: 0 = 0; 1 y 2 = >0 <1; 3 = 1-2; 3,5 = 3-5; 4 = 6-8; 4,5 = 9-17; 5 = 18-20; 6 = +20.

entre  $10^{-3,8}$  y  $10^{-5,4}$  mol de ácido/litro aire<sup>124</sup>, no detectando concentraciones ni superiores ni inferiores a estas cifras.

### 3.1.3.2.1 Correspondencia en el acetato de celulosa

|                        |                  | Tiempo de envejecimiento de las muestras |               |               |               |               |
|------------------------|------------------|--|---------------|---------------|---------------|---------------|
|                        |                  | CE - 0                                   | CE - 1        | CE - 2        | CE - 3        | CE - 4        |
| Acetato de celulosa CP | AD Strip testigo | b -35,3                                  | b -35,3       | b -35,3       | b -35,3       | b -35,3       |
|                        | TE - 1           | 2<br>b -1,01                             | 1<br>b -16,08 | 0<br>b -29,76 | 0<br>b -30,07 | 0<br>b -30,23 |
|                        | TE - 2           | 2<br>b 2,59                              | 1<br>b -7,6   | 1<br>b -12,14 | 1<br>b -14,82 | 1<br>b -16,44 |
|                        | TE - 3           | 2<br>b 5,48                              | 1<br>b -6,53  | 1<br>b -11,7  | 1<br>b -12,62 | 1<br>b -14,53 |

|                                   |                                 |                                 |                               |   |                               |                                |   |
|-----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|---|-------------------------------|--------------------------------|---|
| Coordenadas CIELAB (L* a* b*)     | L 41,63<br>a -10,19<br>b -35,30 | L 42,13<br>a -16,24<br>b -15,35 | L 43,38<br>a -18,54<br>b 5,16 | L 45,16<br>a -16,14<br>b 25,11  | L 54,34<br>a -7,04<br>b 45,21 | L 65,18<br>a -74,24<br>b 65,16 | L 85,22<br>a -6,23<br>b 85,36   |
| Patrón de equivalencias propuesto | 0                               | 1                               | 2                             | 3   | 4                             | 5                              | 6   |
| Patrón de equivalencias del IPI   | 0                               |                                 |                               | 1   | 2                             |                                | 3   |
| Niveles de concentración          | Ausencia acidez                 | Concentración baja              | Concentración media - baja    | Concentración media   | Concentración media - alta    | Concentración alta             | Concentración muy alta  |
| Niveles de riesgo                 |                                 |                                 |                               |  |                               |                                |  |

Tabla 38: Equivalencia entre los valores colorimétricos de las A-D Strips, según tiempos de exposición y ciclos de envejecimiento de las muestras de acetato de celulosa, y la concentración ácida del aire. Contenedor pequeño

124 Los rangos de pH de las A-D Strips nos indican la concentración mayor y menor que son capaces de medir expresada en moles de soluto/litros de disolución, en este caso el soluto sería el ácido y la disolución el aire, y por tanto serían moles de ácido/litros de aire.

|                                   |  | Tiempo de envejecimiento de las muestras |                               |  |                               |                                |   |
|-----------------------------------|--|--|-------------------------------|--|-------------------------------|--------------------------------|---|
|                                   |  | CE - 0                                   | CE - 1                        | CE - 2   | CE - 3                        | CE - 4                         |   |
| Acetato de celulosa<br>CM         | Tiempo de exposición de las AD Strips a las muestras | AD Strip testigo                         | b -35,3                       | b -35,3  | b -35,3                       | b -35,3                        | b -35,3   |
|                                   | TE - 1   | 2<br>b -2,56                             | 0<br>b -28,58                 | 0<br>b -28,75  | 0<br>b -29,8                  | 0<br>b -29,9                   |   |
|                                   | TE - 2   | 2<br>b 1,42                              | 1<br>b -9,16                  | 1<br>b -15,08  | 1<br>b -16,99                 | 1<br>b -17,32                  |   |
|                                   | TE - 3   | 2<br>b 3,21                              | 1<br>b -8,61                  | 1<br>b -13,18  | 1<br>b -14,59                 | 1<br>b -15,93                  |   |
| Coordenadas CIELAB (L* a* b*)     | L 41,63<br>a -10,19<br>b -35,30                      | L 42,13<br>a -16,24<br>b -15,35          | L 43,38<br>a -18,54<br>b 5,16 | L 45,16<br>a -16,14<br>b 25,11   | L 54,34<br>a -7,04<br>b 45,21 | L 65,18<br>a -74,24<br>b 65,16 | L 85,22<br>a -6,23<br>b 85,36   |
| Patrón de equivalencias propuesto | 0  | 1  | 2                             | 3  | 4                             | 5                              | 6   |
| Patrón de equivalencias del IPI   | 0  |  |                               | 1  | 2                             |                                | 3   |
| Niveles de concentración          | Ausencia acidez                                      | Concentración baja                       | Concentración media - baja    | Concentración media  | Concentración media - alta    | Concentración alta             | Concentración muy alta  |
| Niveles de riesgo                 |  |  |                               |  |                               |                                |  |

Tabla 39: Equivalencia entre los valores colorimétricos de las A-D Strips, según tiempos de exposición y ciclos de envejecimiento de las muestras de acetato de celulosa, y la concentración ácida del aire. Contenedor mediano

|                           |                  | Tiempo de envejecimiento de las muestras |               |               |               |               |
|---------------------------|------------------|--|---------------|---------------|---------------|---------------|
|                           |                  | CE - 0                                   | CE - 1        | CE - 2        | CE - 3        | CE - 4        |
| Acetato de celulosa<br>CG | AD Strip testigo | b -35,3                                  | b -35,3       | b -35,3       | b -35,3       | b -35,3       |
|                           | TE - 1           | 1<br>b -16,24                            | 0<br>b -30,45 | 0<br>b -30,65 | 0<br>b -30,86 | 0<br>b -31,07 |
|                           | TE - 2           | 1,5<br>b -5,54                           | 1<br>b -12,58 | 1<br>b -16,62 | 1<br>b -18,64 | 1<br>b -19,02 |
|                           | TE - 3           | 2<br>b -1,14                             | 1<br>b -11,14 | 1<br>b -15,46 | 1<br>b -15,43 | 1<br>b -17,21 |

|                                   |                                 |                                 |                               |   |                               |                                |   |
|-----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|---|-------------------------------|--------------------------------|---|
| Coordenadas CIELAB (L* a* b*)     | L 41,63<br>a -10,19<br>b -35,30 | L 42,13<br>a -16,24<br>b -15,35 | L 43,38<br>a -18,54<br>b 5,16 | L 45,16<br>a -16,14<br>b 25,11  | L 54,34<br>a -7,04<br>b 45,21 | L 65,18<br>a -74,24<br>b 65,16 | L 85,22<br>a -6,23<br>b 85,36   |
| Patrón de equivalencias propuesto | 0                               | 1                               | 2                             | 3   | 4                             | 5                              | 6   |
| Patrón de equivalencias del IPI   | 0                               |                                 |                               | 1   | 2                             |                                | 3   |
| Niveles de concentración          | Ausencia acidez                 | Concentración baja              | Concentración media - baja    | Concentración media   | Concentración media - alta    | Concentración alta             | Concentración muy alta  |
| Niveles de riesgo                 |                                 |                                 |                               |  |                               |                                |  |

Tabla 40: Equivalencia entre los valores colorimétricos de las A-D Strips, según tiempos de exposición y ciclos de envejecimiento de las muestras de acetato de celulosa, y la concentración ácida del aire. Contenedor grande

## Variable 1: influencia del envejecimiento (CE) de la muestra

### Contenedor pequeño

Las A-D Strips detectan una concentración ácida media-baja en las muestras de acetato de celulosa sin envejecer (CE-0), en los tres tiempos de exposición. Esta concentración ácida desciende hasta niveles bajos en las correspondientes al CE-1 en todos los tiempos de exposición en las de los ciclos CE-2, CE-3 y CE-4 en el TE-2 y el TE-3; mientras que en el TE-1 no se detecta presencia de acidez.

En conclusión, se puede afirmar que se detecta una mayor concentración ácida en el interior de los contenedores que albergan las muestras testigo, es decir, las muestras sin envejecer; que en los que contienen las muestras sometidas a envejecimiento. Entre los contenedores que alojan las muestras envejecidas en general no se detectan diferencias que supongan un salto de color en el patrón de equivalencias; pero si recurrimos a los valores obtenidos mediante el espectrofotómetro, vemos como este sistema registra un descenso progresivo en el eje b, y por tanto, de la concentración ácida a medida, que aumenta el grado de envejecimiento de las muestras, observándose una diferencia mayor entre las muestras del CE-1 y CE-2, que entre las de los ciclos CE-2, CE-3 y CE-4.

### Contenedor mediano

Se detectan concentraciones medias-bajas tras los tres tiempos de exposición en todos los contenedores correspondientes a las muestras no envejecidas. En los que albergan las sometidas a ciclos de envejecimiento (CE-1, CE-2, CE-3 y CE-4) no se advierte presencia de volátiles ácidos en el tiempo de exposición TE-1; mientras que tras el TE-2 y el TE-3 se registran concentraciones ácidas bajas.

Al igual que en el caso del contenedor pequeño, aunque no se registran diferencias tan grandes como para que supongan un salto de color en el patrón de equivalencias, los datos registrados mediante el espectrofotómetro indican una disminución gradual en la concentración ácida a medida que aumenta el grado de envejecimiento de las muestras, detectándose también una diferencia mayor entre los ciclos CE-1 y CE-2, que entre CE-2, CE-3 y CE-4.

### Contenedor grande

En los contenedores donde se encuentran las muestras testigo (sin envejecer) las A-D Strips detectan concentraciones bajas, entre bajas y medias-bajas, y medias bajas en los tiempos TE-1, TE-2 y TE-3. En los que encierran las muestras de los ciclos CE-1, CE-2, CE-3 y CE-4, al igual que en los casos anteriores, se

registra un descenso en la concentración ácida, que pasa a ser nula en el primer tiempo de exposición (TE-1) y baja en el segundo y en el tercero (TE-2 y TE-3).

Al igual que en los dos contenedores anteriores, no se perciben diferencias colorimétricas significativas que supongan un salto de valor de color en el patrón de equivalencias; pero si atendemos a los datos colorimétricos obtenidos mediante el espectrofotómetro se observa un descenso gradual en la concentración ácida a medida que aumenta el nivel de envejecimiento de las muestras, percibiéndose una diferencia más notable entre las muestras del CE-1 y del CE-2.

En definitiva, la concentración ácida del ambiente interior de los contenedores que albergan acetato de celulosa es mayor en aquellos que contienen las muestras que no fueron sometidas a ningún tipo de envejecimiento.

Sin embargo en la lectura de las muestras envejecidas se detectan concentraciones ácidas bastante similares, aunque si atendemos a los datos colorimétricos obtenidos con el espectrofotómetro podemos observar como la concentración ácida disminuye levemente a medida que aumenta el grado de envejecimiento de las muestras; y cómo entre las muestras correspondientes al CE-1 y CE-2 se aprecia una diferencia en la concentración mayor que entre las del CE-2, CE-3 y CE-4.

Esta lectura comparada permite por tanto, establecer en el caso del acetato de celulosa, la relación inversa entre la tasa de emisión de contaminantes ácidos y el envejecimiento del material; destacando que entre las que han sido envejecidas, la tasa de emisión desciende de forma gradual a medida que aumenta el grado de envejecimiento, percibiéndose una diferencia ligeramente superior entre las muestras correspondientes con el CE-1 y el CE-2, que entre las del CE-2, CE-3 y CE-4.

## Variable 2: tiempo de exposición (TE) de la AD Strip a las muestras

### Contenedor pequeño

En el ambiente interior de los contenedores que albergan las muestras pertenecientes al CE-0 se registra una concentración media-baja, y una baja en las del ciclo CE-1, en los tres tiempos de exposición (TE-1, TE-2 y TE-3); no obstante, aunque no exista un salto de valor de color en el patrón de equivalencias, los datos colorimétricos obtenidos mediante el espectrofotómetro indican un aumento progresivo de la concentración ácida a medida que aumenta el tiempo de exposición.

Para los contenedores que alojan las muestras relativas a los ciclos CE-2, CE-3 y CE-4, cabe destacar que no se ha detectado presencia de contaminación ácida tras el TE-1; mientras que en el TE-2 y el TE-3 las concentraciones ácidas halladas son muy similares, correspondiéndose con valores de concentración baja.

#### Contenedor mediano

En los contenedores medianos, las A-D Strips expuestas a las muestras de acetato de celulosa sin envejecer (CE-0) registran una concentración ácida media-baja en los tres tiempos de exposición; sin embargo, al igual que en el caso anterior si nos fijamos en los datos obtenidos mediante el espectrofotómetro podemos observar un leve aumento en la concentración a medida que aumenta el tiempo de exposición.

En cuanto a las muestras sometidas al CE-1, CE-2, CE-3 y CE-4, es preciso señalar que transcurrido el TE-1 las A-D Strips no advierten la presencia contaminación ácida; mientras que las lecturas realizadas tras el TE-2 y el TE-3 indican la presencia de una concentración ácida ambiental baja. Aunque dicha concentración ácida baja es muy similar en ambos tiempos, los datos colorimétricos obtenidos mediante el espectrofotómetro muestran un leve incremento de la concentración cuanto mayor es el tiempo de exposición.

#### Contenedor grande

En relación a las muestras de acetato de celulosa pertenecientes al ciclo de envejecimiento CE-0, las A-D Strips manifiestan un aumento gradual de la concentración ácida a medida que se incrementa el tiempo de exposición, mostrando concentraciones que van desde la baja del TE-1, hasta la media-baja del TE-3. En los contenedores que alojan las muestras del CE-1, CE-2, CE-3 y CE-4, al igual que en el caso del contenedor mediano no se detecta la presencia de contaminantes ácidos en el TE-1; mientras que las A-D Strips muestran concentraciones ácidas bajas para los tiempos TE-2 y el TE-3, cuya comparación con los datos colorimétricos obtenidos con el espectrofotómetro nos permite conocer que son ligeramente superiores en el TE-3.

A modo de conclusión, se puede establecer que la concentración ácida del ambiente interior de los contenedores que albergan acetato de celulosa, es mayor a medida que aumenta el tiempo de exposición. No obstante, es preciso tener en cuenta que este incremento en la mayoría de las ocasiones solamente es percibido por el espectrofotómetro, ya que al ser muy progresivo la diferencia de color no es tan grande como para que se recoja un salto en el

patrón de equivalencias, lo que indica que la tasa de emisión de las muestras de acetato de celulosa no es demasiado elevada.

En las lecturas correspondientes al TE-1, no se detecta contaminación ácida alguna procedente de las muestras pertenecientes a los ciclos CE-2, CE-3 y CE-4, en el caso del contenedor pequeño; y CE-1, CE-2, CE-3 y CE-4 en los contenedores mediano y grande.

Por tanto, se puede deducir que en el caso del acetato de celulosa existe una relación directa entre el incremento de la concentración ácida y el tiempo de exposición de las AD Strip a las distintas muestras y contenedores, destacando que en la gran mayoría de los supuestos el TE-1 no es lo suficientemente prolongado como para que se llegue a alcanzar una concentración ácida perceptible con este sistema.

### Variable 3: volumen del contenedor

En el estudio de esta variable, la comparación de datos procedentes de los contenedores pequeño y mediano en relación a la influencia de la mayor o menor capacidad de los contenedores en la diferencia del nivel de concentración ácida, se puede observar como las A-D Strips aportan resultados muy similares para las muestras expuestas a todos los ciclos de envejecimiento y tiempos de exposición; solamente las tiras expuestas a la muestra correspondientes con el CE-1 y TE-1 proporciona un dato discordante; ya que en el contenedor mediano no se ha detectado la presencia de volátiles ácidos mientras que en el pequeño se registra una concentración ácida baja.

Como en casos anteriores, aunque no se registren cambios apreciables mediante la comparación de los colores resultantes con el patrón de equivalencias, el espectrofotómetro evidencia un descenso paulatino de la concentración ácida a medida que aumenta el volumen del contenedor.

Las tiras expuestas a las muestras sin envejecer en los tres tiempos de exposición revelan la presencia de concentración ácida media-baja en el interior de los contenedores pequeño y mediano; en tanto que las muestras relativas a los ciclos de envejecimiento CE-1, CE-2, CE-3 y CE-4 revelan en ambos contenedores una concentración ácida baja tanto en el tiempo de exposición TE-2, como en el TE-3.

También coinciden los resultados en los contenedores que albergan las muestras pertenecientes a los ciclos de envejecimiento CE-2, CE-3 y CE-4 en el TE-1, ya que en ninguno de los dos tipos de contenedor se ha registrado

presencia alguna de contaminación ácida.

Entre el contenedor mediano y el grande, se aprecia una clara disminución en la concentración ácida tras el TE-1 en el caso de la muestra sin envejecer, pasando de media-baja a baja. También se percibe un cambio significativo en las lecturas de las muestras pertenecientes al CE-0 y al TE-2, ya que en el contenedor mediano la AD Strip detecta una concentración ácida media-baja, mientras que en el grande esta concentración desciende quedándose en un punto intermedio entre la concentración baja y la media-baja. En el resto de ciclos de envejecimiento y tiempos de exposición, no se advierten cambios significativos que pudieran ser comparados con el patrón de equivalencias; siendo nuevamente los datos obtenidos mediante el espectrofotómetro los que señalan una tendencia a la baja en la concentración ácida a medida que aumenta el volumen del contenedor.

Por último, si comparamos los resultados obtenidos en el contenedor pequeño con los del contenedor grande vemos como las diferencias más notables se aprecian en las A-D Strips expuestas a las muestras del CE-0 y TE-1, CE-1 y TE-1, y CE-0 y TE-2; en ellas se registran concentraciones ácidas claramente más bajas en el contenedor grande que en el pequeño, que van desde la media-baja hasta la baja, desde la baja hasta la ausencia de contaminación y desde la media-baja hasta valores de concentración situados entre la baja y la media-baja. En el resto de ciclos de envejecimiento y tiempos de exposición no se captan cambios de color que supongan un salto en el patrón de equivalencias, percibiéndose con el espectrofotómetro un leve descenso de la concentración ácida a medida que aumenta el volumen del contenedor mediante el espectrofotómetro.

En definitiva, se puede afirmar que la concentración ácida de los contenedores que albergan muestras de acetato de celulosa desciende a medida que aumenta el volumen del contenedor, llegando incluso a bajar hasta concentraciones inferiores a las que son capaces de detectar las A-D Strips, como ocurre con la muestra correspondiente al CE-1 y TE-1. Si bien, es preciso señalar que en la mayoría de los casos este descenso en la concentración ácida es muy leve y aparece de forma progresiva por lo que no es apreciable mediante la comparativa de los colores de las A-D Strips con el patrón de equivalencias; este cambio de color tan gradual indica como ya veníamos anunciando en la variable 2, que la tasa de emisión de las muestras de acetato de celulosa no es demasiado elevada.

Esta lectura comparada permite, por tanto, establecer una relación inversa entre el tamaño del contenedor y la concentración ácida para el acetato de celulosa.

3.1.3.2.2 Correspondencia en el poliéster

|                 |                  | Tiempo de envejecimiento de las muestras |                |                |               |               |
|-----------------|------------------|--|----------------|----------------|---------------|---------------|
|                 |                  | CE - 0                                   | CE - 1         | CE - 2         | CE - 3        | CE - 4        |
| Poliéster<br>CP | AD Strip testigo | b -35,3                                  | b -35,3        | b -35,3        | b -35,3       | b -35,3       |
|                 | TE - 1           | 4<br>b 45,22                             | 2<br>b -3,54   | 1<br>b -18,27  | 1<br>b -19,16 | 0<br>b -31,16 |
|                 | TE - 2           | 5<br>b 67,29                             | 2,5<br>b 16,03 | 1,5<br>b -5,99 | 1<br>b -12,23 | 1<br>b -13,03 |
|                 | TE - 3           | 6<br>b 85,03                             | 2,5<br>b 16,02 | 2<br>b -3,83   | 1<br>b -13,51 | 1<br>b -13,71 |

|                                   |                                 |                                 |                               |   |                               |                                |   |
|-----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|---|-------------------------------|--------------------------------|---|
| Coordenadas CIELAB (L* a* b*)     | L 41,63<br>a -10,19<br>b -35,30 | L 42,13<br>a -16,24<br>b -15,35 | L 43,38<br>a -18,54<br>b 5,16 | L 45,16<br>a -16,14<br>b 25,11  | L 54,34<br>a -7,04<br>b 45,21 | L 65,18<br>a -74,24<br>b 65,16 | L 85,22<br>a -6,23<br>b 85,36   |
| Patrón de equivalencias propuesto | 0                               | 1                               | 2                             | 3   | 4                             | 5                              | 6   |
| Patrón de equivalencias del IPI   | 0                               |                                 |                               | 1   | 2                             |                                | 3   |
| Niveles de concentración          | Ausencia<br>acidez              | Concentración<br>baja           | Concentración<br>media - baja | Concentración<br>media  | Concentración<br>media - alta | Concentración<br>alta          | Concentración<br>muy alta   |
| Niveles de riesgo                 |                                 |                                 |                               |  |                               |                                |  |

Tabla 41: Equivalencia entre los valores colorimétricos de las A-D Strips, según tiempos de exposición y ciclos de envejecimiento de las muestras de poliéster, y la concentración ácida del aire. Contenedor pequeño.

|                 |  |                  | Tiempo de envejecimiento de las muestras |                |                 |                 |               |
|-----------------|--|------------------|--|----------------|-----------------|-----------------|---------------|
|                 |  |                  | CE - 0                                   | CE - 1         | CE - 2          | CE - 3          | CE - 4        |
| Poliéster<br>CM | Tiempo de exposición de las AD Strips a las muestras | AD Strip testigo | b -35,3                                  | b -35,3        | b -35,3         | b -35,3         | b -35,3       |
|                 |  | TE - 1           | 3<br>b 23,12                             | 1<br>b -16,39  | 0,5<br>b -25,39 | 0,5<br>b -25,41 | 0<br>b -31,43 |
|                 |  | TE - 2           | 3,5<br>b 34,72                           | 1,5<br>b -5,34 | 1<br>b -13,84   | 1<br>b -12,79   | 1<br>b -17,30 |
|                 |  | TE - 3           | 5<br>b 57,22                             | 1,5<br>b -4,93 | 1,5<br>b -5,36  | 1<br>b -22,45   | 1<br>b -22,25 |

|                                   |                                 |                                 |                               |  |                               |                                |   |
|-----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|--|-------------------------------|--------------------------------|---|
| Coordenadas CIELAB (L*a*b*)       | L 41,63<br>a -10,19<br>b -35,30 | L 42,13<br>a -16,24<br>b -15,35 | L 43,38<br>a -18,54<br>b 5,16 | L 45,16<br>a -16,14<br>b 25,11   | L 54,34<br>a -7,04<br>b 45,21 | L 65,18<br>a -74,24<br>b 65,16 | L 85,22<br>a -6,23<br>b 85,36   |
| Patrón de equivalencias propuesto | 0                               | 1                               | 2                             | 3  | 4                             | 5                              | 6   |
| Patrón de equivalencias del IPI   | 0                               |                                 |                               | 1  | 2                             |                                | 3   |
| Niveles de concentración          | Ausencia<br>acidez              | Concentración<br>baja           | Concentración<br>media - baja | Concentración<br>media   | Concentración<br>media - alta | Concentración<br>alta          | Concentración<br>muy alta   |
| Niveles de riesgo                 |                                 |                                 |                               |  |                               |                                |  |

Tabla 42: Equivalencia entre los valores colorimétricos de las A-D Strips, según tiempos de exposición y ciclos de envejecimiento de las muestras de poliéster, y la concentración ácida del aire. Contenedor mediano.

|                 |                  | Tiempo de envejecimiento de las muestras |                 |                 |                 |                 |
|-----------------|------------------|--|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|                 |                  | CE - 0                                   | CE - 1          | CE - 2          | CE - 3          | CE - 4          |
| Poliéster<br>CG | AD Strip testigo | b -35,3                                  | b -35,3         | b -35,3         | b -35,3         | b -35,3         |
|                 | TE - 1           | 2<br>b -2,25                             | 0<br>b -29      | 0<br>b -28,22   | 0<br>b -29,08   | 0<br>b -32,47   |
|                 | TE - 2           | 2,5<br>b 15,05                           | 0,5<br>b -25,04 | 0,5<br>b -24,28 | 0,5<br>b -24,91 | 0,5<br>b -25,39 |
|                 | TE - 3           | 3<br>b 24,19                             | 1<br>b -13,45   | 1<br>b -18,26   | 1<br>b -17,95   | 1<br>b -18,12   |

|                                   |                                 |                                 |                               |   |                               |                                |   |
|-----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|---|-------------------------------|--------------------------------|---|
| Coordenadas CIELAB (L* a* b*)     | L 41,63<br>a -10,19<br>b -35,30 | L 42,13<br>a -16,24<br>b -15,35 | L 43,38<br>a -18,54<br>b 5,16 | L 45,16<br>a -16,14<br>b 25,11  | L 54,34<br>a -7,04<br>b 45,21 | L 65,18<br>a -74,24<br>b 65,16 | L 85,22<br>a -6,23<br>b 85,36   |
| Patrón de equivalencias propuesto | 0                               | 1                               | 2                             | 3   | 4                             | 5                              | 6   |
| Patrón de equivalencias del IPI   | 0                               |                                 |                               | 1   | 2                             |                                | 3   |
| Niveles de concentración          | Ausencia<br>acidez              | Concentración<br>baja           | Concentración<br>media - baja | Concentración<br>media  | Concentración<br>media - alta | Concentración<br>alta          | Concentración<br>muy alta   |
| Niveles de riesgo                 |                                 |                                 |                               |  |                               |                                |  |

Tabla 43: Equivalencia entre los valores colorimétricos de las A-D Strips, según tiempos de exposición y ciclos de envejecimiento de las muestras de poliéster, y la concentración ácida del aire. Contenedor grande

## Variable 1: influencia del envejecimiento (CE) de la muestra

### Contenedor pequeño

Las A-D Strips expuestas a las muestras sin envejecer (CE-0) detectan concentraciones ácidas que van desde la media-alta del TE-1 hasta la muy alta del TE-2; concentraciones que descienden aproximadamente a la mitad —media-baja— en el caso de las muestras correspondientes al primer ciclo de envejecimiento acelerado (CE-1). Esta tendencia a la baja continúa a medida que va aumentando el grado de envejecimiento de las muestras; por lo que las concentraciones se sitúan entre medias-bajas y bajas en los contenedores que albergan muestras correspondientes con el CE-2, bajas en los del CE-3, y entre bajas y nulas en los que contienen las del CE-4.

### Contenedor mediano

En los contenedores medianos con las muestras relativas al CE-0 se detectan concentraciones ácidas entre medias y altas; que al igual que en el contenedor pequeño descienden drásticamente en presencia de las muestras correspondientes a los ciclos de envejecimiento CE-1, CE-2, CE-3 y CE-4. Ante las muestras del CE-1 y del CE-4 se registra un descenso progresivo de la concentración ácida a medida que aumenta el grado de envejecimiento, que oscila entre concentraciones bajas —o ligeramente superiores—, y las nulas.

### Contenedor grande

En el contenedor grande se anotan concentraciones entre medias-bajas y medias en las muestras sin envejecer. Para las de los ciclos de envejecimiento CE-1, CE-2, CE-3 y CE-4 no se percibe ningún tipo de contaminante ácido tras el TE-1; mientras que tras los tiempos TE-2 y TE-3 se hallan concentraciones muy bajas y bajas respectivamente. Además se debe tener en cuenta que la diferencia de concentración ácida entre las muestras de los CE-1, CE-2, CE-3 y CE-4 en cada uno de los tiempos de exposición, no se puede registrar mediante la comparación del color resultante de la AD Strip tras su exposición con el patrón de equivalencia; si bien, como en casos anteriores, esta ligera tendencia a la baja en la concentración ácida a medida que aumenta el grado de envejecimiento puede ser detectada mediante el espectrofotómetro.

En resumen, la concentración ácida del ambiente interior de los contenedores que albergan poliéster es notablemente mayor en aquellos que contienen las muestras que no fueron sometidas a ningún tipo de envejecimiento. De esta manera se puede observar como en los contenedores pequeños y medianos con las muestras envejecidas, las A-D Strips detectan que la concentración ácida va descendiendo gradualmente a medida que aumenta el grado de

envejecimiento de las mismas. Mientras que, en el caso de los contenedores grandes, se registran concentraciones ácidas bastante similares en las muestras envejecidas; aunque si se atiende a los datos colorimétricos obtenidos mediante el espectrofotómetro se puede observar como la concentración ácida disminuye levemente a medida que aumenta el grado de envejecimiento de las muestras.

Esta lectura comparada permite por tanto establecer en el caso del poliéster una relación inversa entre la tasa de emisión de contaminantes ácidos y el envejecimiento del material, destacando que la tasa de emisión es notablemente superior en el caso de las muestras sin envejecer y que entre las envejecidas esta tasa de emisión desciende de forma gradual a medida que aumenta el grado de envejecimiento.

## **Variable 2: tiempo de exposición (TE) de la AD Strip a las muestras**

### Contenedor pequeño

En el contenedor pequeño se puede observar como las A-D Strips expuestas a las muestras testigo captan un aumento de la concentración ácida que va desde la media-alta del tiempo de exposición TE-1 hasta la muy alta del TE-3, pasando por la alta del TE-2. En los ciclos de envejecimiento CE-1, CE-2, CE-3 y CE-4 las tiras también evidencian un crecimiento de la concentración ácida a medida que el tiempo de exposición es mayor, pero en este caso de forma más progresiva; registrándose en el caso del CE-1 una concentración media-baja tras el TE-1, que aumenta tras los tiempos TE-2 y TE-3, lo suficiente como para que se aprecie el incremento mediante la comparativa con el patrón de equivalencias, pero sin llegar a alcanzar los valores de concentración media. En el CE-2 el aumento es gradual, desde la concentración baja del TE-1, a la media baja del TE-3. En el CE-3 las A-D Strips muestran valores de concentración baja en todos los tiempos, apreciándose únicamente el incremento en los registros colorimétricos obtenidos mediante el espectrofotómetro. Y por último, en el CE-4 cabe destacar que las tiras no advierten presencia de acidez tras el TE-1, mientras que sí lo hacen transcurridos el TE-2 y el TE-3, cuando la concentración ambiental experimenta un ligero aumento, situándose en valores de baja.

### Contenedor mediano

En los contenedores medianos que alojan las muestras sin envejecer, las A-D Strips han detectado una concentración media en el TE-1, que aumenta lo suficiente en el TE-2 como para llegar a apreciarse por comparación con el patrón de equivalencias, pero sin alcanzar niveles de concentración media-alta; mientras que tras el TE-3 llega a la concentración ácida alta. Las muestras del CE-1, generan una concentración ácida baja tras el TE-1, la cual aumenta de forma moderada en los tiempos TE-2 y TE-3, sin experimentar un salto de color

en el patrón de equivalencias. Del mismo modo se percibe un incremento progresivo en las tiras expuestas a las muestras de los ciclos CE-2 y CE-3 que va desde la muy baja del TE-1, hasta la baja del TE-3. Por último, en los contenedores con las muestras del ciclo CE-4, no se ha advertido la presencia de contaminantes ácidos en el primer tiempo de exposición, mientras que en el TE-2 y el TE-3, se han podido anotar concentraciones ácidas bajas.

#### Contenedor grande

En las muestras sin envejecer (CE-0) del contenedor grande, se ha percibido un aumento progresivo en la concentración ácida ambiental a medida que aumentaba el tiempo de exposición, dicha concentración oscila entre la media-baja registrada tras el TE-1, hasta la media del TE-3. En relación con las muestras sometidas a ciclos de envejecimiento CE-1, CE-2, CE-3 y CE-4 no se ha hallado la presencia de volátiles ácidos una vez transcurrido el primer tiempo; mientras que tras el TE-2 se han podido observar concentraciones ácidas muy bajas que han alcanzado el nivel bajo tras el TE-3.

Por todo ello, en relación a la variable 2 —tiempo de exposición de las AD Strip a las muestras—, se puede establecer que la concentración ácida que se ha detectado en el ambiente interior de los contenedores con muestras de poliéster, es mayor a medida que aumenta el tiempo de exposición. Aunque en la mayoría de casos estas diferencias son fácilmente apreciables mediante la comparación de los colores resultantes en las A-D Strips con el patrón de equivalencias; en ocasiones como ocurre con las muestras envejecidas durante los ciclos CE-1, CE-3 y CE-4; de los tiempos TE-2 y TE-3 —en los contenedores pequeños y medianos—, este incremento de la concentración ácida es más sutil, por lo que solamente es apreciable en los datos colorimétricos obtenidos mediante el espectrofotómetro. Esto se debe a que como hemos visto en la variable anterior la tasa de emisión es más elevada en las muestras que no han sido envejecidas o en aquellas que han sido sometidas a ciclos de envejecimiento más cortos, por lo que los volátiles se acumulan a mayor velocidad cuanto menos envejecidas están las muestras.

De modo que esta lectura comparada permite establecer la existencia de una relación directa entre la concentración ácida y el tiempo de exposición.

#### **Variable 3: volumen del contenedor**

Con el estudio de esta variable, al igual que en el caso del acetato de celulosa se pretende determinar la influencia del mayor o menor volumen de los

contenedores en los índices de concentración ácida.

De este modo, la comparación de los datos procedentes de los contenedores pequeño y mediano permite observar como las A-D Strips perciben una menor concentración ácida en los segundos. Las tiras expuestas a las muestras de los ciclos CE-0 y CE-1 detectan en los tres tiempos de exposición un descenso de aproximadamente un nivel en la concentración ácida entre estos dos volúmenes de contenedores; descendiendo las muestras sin envejecer desde las medias-altas, altas y muy altas hasta las medias y altas; y en el del CE-1 desde las medias-bajas hasta las bajas. En el caso de las muestras del CE-2, en todos los tiempos de exposición y de la del CE-3 tras el TE-1 el descenso es algo inferior, de medio nivel; pasando de las concentraciones entre bajas y medias-bajas de los contenedores pequeños a las muy bajas y bajas de los medianos, y de las bajas del pequeño a las muy bajas del mediano, respectivamente. Mientras que en el resto de muestras, la diferencia de concentración era mucho más sutil, solo perceptible mediante el espectrofotómetro.

Entre el contenedor mediano y el grande podemos ver como existe una clara diferencia en el caso de las muestras pertenecientes al CE-0, registrándose una concentración entre media y alta en el caso del mediano, y entre media-baja y media en el caso del grande. También las A-D Strips evidencian un cambio significativo entre las muestras del CE-1 transcurridos los tiempos de exposición TE-1 y TE-2; pasando de una concentración baja o un poco superior, a una entre baja y nula. Mientras que entre las muestras del CE-1 tras el TE-3, del CE-2, del CE-3 después de los tiempos TE-1 y TE-2 y la del CE-4 tras el TE-2 el descenso es menor, de aproximadamente medio nivel, registrándose niveles entre bajos y muy bajos en los contenedores medianos, y entre bajos y nulos en los grandes.

Por último, si comparamos los resultados obtenidos en los contenedores pequeños con los de los contenedores grandes vemos como las diferencias más notables se observan en las A-D Strips expuestas a las muestras de los ciclos CE-0 y CE-1; en ellas se detectan concentraciones ácidas claramente más bajas en los contenedores grandes que en los pequeños, que van desde las entre medias-altas y muy altas a las medias-bajas y medias en el CE-0, y desde las medias-bajas o un poco superiores hasta las bajas o nulas en el CE-1.

En resumen, se puede afirmar que la concentración ácida de los contenedores con el poliéster desciende a mediada que aumenta el volumen del contenedor, llegando incluso a bajar hasta concentraciones inferiores a las que son capaces de percibir las A-D Strips, como ocurre con las muestras del contenedor grande correspondientes con los ciclos CE-1, CE-2, CE-3 y CE-4 tras el TE-1; esto se debe a que en estos casos se juntan una serie de factores que contribuyen a

mantener concentraciones bajas de volátiles ácidos: la tasa de emisión de las muestras de poliéster envejecidas es baja; el tiempo de exposición no es muy prolongado y las muestras se encuentran en un contenedor amplio.

3.1.3.2.3 Correspondencia en el poliuretano

|                   |                  | Tiempo de envejecimiento de las muestras |               |               |              |              |
|-------------------|------------------|--|---------------|---------------|--------------|--------------|
|                   |                  | CE - 0                                   | CE - 1        | CE - 2        | CE - 3       | CE - 4       |
| Poliuretano<br>CP | AD Strip testigo | b -35,3                                  | b -35,3       | b -35,3       | b -35,3      | b -35,3      |
|                   | TE - 1           | 0<br>b -30,28                            | 1<br>b -16,23 | 1<br>b -16,25 | 1<br>b -9,51 | 1<br>b -9,15 |
|                   | TE - 2           | 0<br>b -33,7                             | 1<br>b -14,22 | 1<br>b -14,52 | 2<br>b -0,34 | 2<br>b 2,37  |
|                   | TE - 3           | 0<br>b -29,44                            | 1<br>b -11,3  | 1<br>b -13,32 | 2<br>b 12,66 | 3<br>b 21,9  |

|                                   |                                 |                                 |                               |   |                               |                                |   |
|-----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|---|-------------------------------|--------------------------------|---|
| Coordenadas CIELAB (L* a* b*)     | L 41,63<br>a -10,19<br>b -35,30 | L 42,13<br>a -16,24<br>b -15,35 | L 43,38<br>a -18,54<br>b 5,16 | L 45,16<br>a -16,14<br>b 25,11  | L 54,34<br>a -7,04<br>b 45,21 | L 65,18<br>a -74,24<br>b 65,16 | L 85,22<br>a -6,23<br>b 85,36   |
| Patrón de equivalencias propuesto | 0                               | 1                               | 2                             | 3   | 4                             | 5                              | 6   |
| Patrón de equivalencias del IPI   | 0                               |                                 |                               | 1   | 2                             |                                | 3   |
| Niveles de concentración          | Ausencia acidez                 | Concentración baja              | Concentración media - baja    | Concentración media   | Concentración media - alta    | Concentración alta             | Concentración muy alta  |
| Niveles de riesgo                 |                                 |                                 |                               |  |                               |                                |  |

Tabla 44: Equivalencia entre los valores colorimétricos de las A-D Strips, según tiempos de exposición y ciclos de envejecimiento de las muestras de poliuretano, y la concentración ácida del aire. Contenedor pequeño.

|                   |                     | Tiempo de envejecimiento de las muestras |               |               |              |              |
|-------------------|---------------------|--|---------------|---------------|--------------|--------------|
|                   |                     | CE - 0                                   | CE - 1        | CE - 2        | CE - 3       | CE - 4       |
| Poliuretano<br>CM | AD Strip<br>testigo | b -35,3                                  | b -35,3       | b -35,3       | b -35,3      | b -35,3      |
|                   | TE - 1              | 0<br>b -30,28                            | 1<br>b -16,23 | 1<br>b -16,25 | 1<br>b -9,51 | 1<br>b -9,15 |
|                   | TE - 2              | 0<br>b -33,7                             | 1<br>b -14,22 | 1<br>b -14,52 | 2<br>b -0,34 | 2<br>b 2,37  |
|                   | TE - 3              | 0<br>b -29,44                            | 1<br>b -11,3  | 1<br>b -13,32 | 2<br>b 12,66 | 3<br>b 21,9  |

|                                   |                                 |                                 |                               |  |                               |                                |   |
|-----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|--|-------------------------------|--------------------------------|---|
| Coordenadas CIELAB (L* a* b*)     | L 41,63<br>a -10,19<br>b -35,30 | L 42,13<br>a -16,24<br>b -15,35 | L 43,38<br>a -18,54<br>b 5,16 | L 45,16<br>a -16,14<br>b 25,11   | L 54,34<br>a -7,04<br>b 45,21 | L 65,18<br>a -74,24<br>b 65,16 | L 85,22<br>a -6,23<br>b 85,36   |
| Patrón de equivalencias propuesto | 0                               | 1                               | 2                             | 3  | 4                             | 5                              | 6   |
| Patrón de equivalencias del IPI   | 0                               |                                 |                               | 1  | 2                             |                                | 3   |
| Niveles de concentración          | Ausencia<br>acidez              | Concentración<br>baja           | Concentración<br>media - baja | Concentración<br>media   | Concentración<br>media - alta | Concentración<br>alta          | Concentración<br>muy alta   |
| Niveles de riesgo                 |                                 |                                 |                               |  |                               |                                |  |

Tabla 45: Equivalencia entre los valores colorimétricos de las A-D Strips, según tiempos de exposición y ciclos de envejecimiento de las muestras de poliuretano, y la concentración ácida del aire. Contenedor mediano.

|                   |  | Tiempo de envejecimiento de las muestras |                 |                 |               |               |         |
|-------------------|--|--|-----------------|-----------------|---------------|---------------|---------|
|                   |  | CE - 0                                   | CE - 1          | CE - 2          | CE - 3        | CE - 4        |         |
| Poliuretano<br>CG | Tiempo de exposición de las AD Strips a las muestras | AD Strip testigo                         | b -35,3         | b -35,3         | b -35,3       | b -35,3       | b -35,3 |
|                   | TE - 1   | 0<br>b -30,52                            | 0<br>b -30,25   | 0<br>b -30,43   | 0<br>b -30,11 | 0<br>b -25,53 |         |
|                   | TE - 2   | 0<br>b -34,23                            | 0,5<br>b -25,30 | 0,5<br>b -25,49 | 1<br>b -12,91 | 1<br>b -13,15 |         |
|                   | TE - 3   | 0<br>b -30,21                            | 1<br>b -18,28   | 1<br>b -15,37   | 1<br>b -12,99 | 2<br>b -1,04  |         |

|                                   |                                 |                                 |                               |   |                               |                                |   |
|-----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|---|-------------------------------|--------------------------------|---|
| Coordenadas CIELAB (L* a* b*)     | L 41,63<br>a -10,19<br>b -35,30 | L 42,13<br>a -16,24<br>b -15,35 | L 43,38<br>a -18,54<br>b 5,16 | L 45,16<br>a -16,14<br>b 25,11  | L 54,34<br>a -7,04<br>b 45,21 | L 65,18<br>a -74,24<br>b 65,16 | L 85,22<br>a -6,23<br>b 85,36   |
| Patrón de equivalencias propuesto | 0                               | 1                               | 2                             | 3   | 4                             | 5                              | 6   |
| Patrón de equivalencias del IPI   | 0                               |                                 |                               | 1   | 2                             |                                | 3   |
| Niveles de concentración          | Ausencia acidez                 | Concentración baja              | Concentración media - baja    | Concentración media   | Concentración media - alta    | Concentración alta             | Concentración muy alta  |
| Niveles de riesgo                 |                                 |                                 |                               |  |                               |                                |  |

Tabla 46: Equivalencia entre los valores colorimétricos de las A-D Strips, según tiempos de exposición y ciclos de envejecimiento de las muestras de poliuretano, y la concentración ácida del aire. Contenedor grande.

### Variable 1: influencia del envejecimiento (CE) de la muestra

Las A-D Strips muestran el incremento progresivo de la concentración ácida ambiental en el interior de los contenedores, a medida que aumenta el grado de envejecimiento de las muestras.

#### Contenedor pequeño

En los contenedores en los que se encuentran las muestras sin envejecer no se ha hallado presencia alguna de volátiles ácidos; a diferencia de los que contienen las del CE-1 en los que sí se han registrado concentraciones ácidas bajas, que aumentan progresivamente hasta alcanzar concentraciones entre bajas y medias-bajas en los del CE-2; medias-bajas en los del CE-3; y entre medias-bajas y medias en los del CE-4.

#### Contenedor mediano

En los contenedores medianos se da un fenómeno similar al anterior, ya que no se perciben contaminantes ácidos en presencia de las muestras sin envejecer. Mientras que ante las envejecidas durante el CE-1 las A-D Strips muestran tonos correspondientes con concentraciones bajas; en las del CE-2 entre bajas y medias-bajas; y ligeramente más elevadas —entre bajas y medias— en los de los ciclos CE-3 y CE-4.

#### Contenedor grande

En los contenedores grandes no se ha registrado la presencia de contaminantes ácidos procedentes ni de las muestras sin envejecer, ni en las envejecidas tras la lectura correspondiente al tiempo de exposición TE-1. Sin embargo, la lectura del TE-2, ha permitido detectar concentraciones ácidas muy bajas en los contenedores con las muestras de los ciclos CE-1 y CE-2; y bajas en los de las del CE-3 y CE-4. En la lectura correspondiente a TE-3, las A-D Strips han revelado concentraciones ácidas bajas en las muestras de los ciclos CE-1, CE-2 y CE-3 y medias-bajas en el del CE-4.

En suma, los resultados de las lecturas efectuadas en el ensayo a las muestras de poliuretano, indican la presencia de una mayor concentración ácida que vendría emanada por las muestras que habían sido sometidas a ciclos de envejecimiento acelerado más prolongados; por lo que la tasa de emisión es mayor a medida que aumenta su grado de envejecimiento. Las concentraciones

halladas, no obstante, son bastante similares entre los ciclos CE-1 y CE-2, y entre el CE-3 y el CE-4; habiéndose percibido una ligera diferencia para los ciclos CE-3 y CE-4, siendo siempre algo más elevadas en el CE-4; al igual que en el CE-1 y CE-2 de los contenedores pequeños, cuyas concentraciones son en todo momento algo superiores en el CE-2; mientras que en los contenedores pequeños y medianos se trata de diferencias casi inapreciables. Son de signo opuesto los datos recogidos procedentes de las muestras sin envejecer, ya que no se ha advertido presencia contaminantes ácidos en ninguno de los contenedores.

## Variable 2: tiempo de exposición (TE) de la AD Strip a las muestras

### Contenedor pequeño

Las A-D Strips expuestas a las muestras pertenecientes al ciclo de envejecimiento CE-0 no detectan presencia alguna de volátiles ácidos. Mientras que en el resto, los que contienen las muestras de poliuretano de los ciclos de envejecimiento CE-1, CE-2, CE-3 y CE-4, a medida que aumenta el tiempo de exposición se ha registrado un incremento progresivo de la concentración ácida directamente relacionado con el grado de envejecimiento de las muestras. El aumento de la concentración ácida es de medio nivel en las muestras del CE-1 y del CE-3; y de un nivel en las del CE-2 y CE-4, pasando en el caso del CE-2 de una concentración baja tras el TE-1 a una media-baja tras el TE-3, y en el del CE-4 de una media-baja tras el TE-1 a una media tras le TE-3.

### Contenedor mediano

Al igual que en el caso anterior, las muestras sin envejecer no emiten contaminantes ácidos, por lo que no hay variación en ninguno de los tiempos de exposición. En cambio, las muestras de los ciclos CE-1 y CE-2 ante las A-D Strips registran concentraciones ácidas bajas en todos los tiempos, pero si atendemos a los datos colorimétricos obtenidos mediante el espectrofotómetro podemos observar como la concentración ácida es ligeramente mayor a medida que aumenta el grado de envejecimiento de la muestra. En los contenedores que albergan las muestras del ciclo de envejecimiento CE-3, se percibe una concentración ácida baja después del TE-1 que va aumentando hasta la media-baja en el tiempo de exposición TE-3. Por último, las muestras del CE-4 han generado una concentración baja después del TE-1, que pasa a media-baja tras el TE-2 y a media tras el TE-3.

### Contenedor grande

Del mismo modo que en los contenedores pequeños y grandes, no se han hallado emisiones de volátiles ácidos provenientes de las muestras del CE-0. En los contenedores con las muestras de los ciclos CE-1 y CE-2, las A-D Strips detectan un incremento progresivo en la concentración ácida; siendo nula tras el TE-1, y registrando concentraciones muy bajas tras el TE-2 y bajas tras el TE-3.

Por otro lado, en los contenedores que alojan las muestras del CE-3 no se capta la presencia de contaminantes ácidos en el TE-1, mientras que en los tiempos de exposición TE-2 y TE-3 las tiras revelan valores colorimétricos equivalentes a una concentración ácida baja, que, si atendemos a los datos obtenidos mediante el espectrofotómetro, se puede observar que son algo superiores en el caso del tercer tiempo de exposición. Finalmente, en los contenedores del CE-4, no se detecta presencia alguna de volátiles ácidos tras la exposición a el TE-1; mientras que después del TE-2 se ha registrado una concentración ácida baja y una media-baja una vez transcurrido el TE-3.

Por tanto, en relación a la variable de tiempo de exposición de las A-D Strips a las muestras de poliuretano, la concentración ácida detectada en el ambiente interior de los contenedores es mayor a medida que aumenta el tiempo de exposición.

No obstante, es preciso señalar que, aunque en general estos cambios pueden ser percibidos mediante la comparación de los colores resultantes de las A-D Strips con el patrón de equivalencias, en ocasiones los cambios son más sutiles y es necesario recurrir a los datos colorimétricos obtenidos mediante el espectrofotómetro para poder objetivar el incremento o descenso de la concentración ácida.

Además, es importante tener en cuenta que en el caso del poliuretano, como ya adelantábamos en la variable 1, la tasa de emisión es mayor en aquellas muestras que han sido sometidas a ciclos de envejecimiento más prolongados; y por tanto, los volátiles ácidos se acumulan de forma más rápida cuanto más envejecido se encuentra en poliuretano.

De este modo, esta lectura comparada permite establecer una relación directa entre la concentración ácida y el tiempo de exposición.

### Variable 3: volumen del contenedor

Las A-D Strips no han hallado presencia de volátiles ácidos en ninguno de los contenedores que albergan las muestras correspondientes con el CE-0.

Si comparamos los resultados obtenidos en los contenedores pequeños con los detectados en los contenedores medianos, vemos como decrece ligeramente la concentración ácida a medida que aumenta el volumen del contenedor. En las muestras del CE-1, las A-D Strips presentan en ambos contenedores colores correspondientes a una concentración baja; aunque si recurrimos a los datos obtenidos mediante el espectrofotómetro se puede observar como esta concentración es ligeramente menor en los contenedores medianos. Asimismo, las tiras expuestas a los cubos de poliuretano correspondientes al CE-2 revelan como la concentración ácida pasa de ser entre baja y media-baja en los contenedores pequeños a ser baja en todos los contenedores medianos. Las A-D Strips expuestas a las muestras del CE-3, detectan concentraciones medias-bajas o un poco superiores en los contenedores pequeños, y bajas y medias-bajas en los medianos. Por último, las tiras expuestas a las probetas correspondientes con el CE-4 muestran valores equivalentes a concentraciones entre medias-bajas y medias en los contenedores pequeños, y bajas y medias en el caso de los medianos.

Si atendemos a los resultados obtenidos en los contenedores medianos y grandes, podemos observar como las diferencias son en general algo mayores que entre los contenedores pequeño y los medianos. Las A-D Strips expuestas a las muestras correspondientes con los ciclos de envejecimiento CE-1 y CE-2 pasan de detectar concentraciones ácidas bajas en los contenedores medianos, a registrar concentraciones entre bajas y nulas en los grandes. En las lecturas de las probetas del CE-3 se captan concentraciones entre bajas y medias-bajas en los medianos, que descienden hasta concentraciones que van de bajas a nulas en los grandes; mientras que en aquellos que alojan las del CE-4 las concentraciones pasan de ser entre medias y altas en los medianos a entre medias y nulas en los grandes.

Por último, si comparamos las diferencias de concentración ácida existentes entre los contenedores pequeños y grandes, se puede observar como estas son mayores entre aquellos que albergan las muestras de los ciclos CE-2, CE-3 y CE-4, cuyas concentraciones descienden de medias-bajas/bajas a bajas/nulas en los dos primeros (CE-2,CE-3) y de medias-bajas/medias a medias-bajas/nulas en el CE-4.

En definitiva, se puede afirmar que la concentración ácida de los contenedores que encierran las probetas de poliuretano desciende a medida que aumenta el volumen del contenedor, llegando incluso a bajar hasta concentraciones inferiores a las que son capaces de detectar las A-D Strips, como ocurre con las correspondientes con los ciclos de envejecimiento CE-1, CE-2, CE-3 y CE-4 tras el TE-1 en el caso del contenedor grande; esto al igual que en el caso del poliéster se debe a que se juntan dos factores que hacen que la concentración ácida descienda —el aumento de volumen del contenedor y el tiempo de exposición corto— con que la tasa de emisión de este plástico no es demasiado elevada, especialmente en aquellas que han sido sometidas a ciclos de envejecimiento más cortos.

Además, es conveniente señalar que, como en casos anteriores, aunque en la mayoría de los casos este descenso en la concentración ácida es lo suficientemente significativo como para que sea apreciable mediante la comparativa de los colores resultantes en las A-D Strips con el patrón de equivalencias, en ocasiones estas diferencias son más leves y es preciso recurrir a los datos obtenidos mediante el espectrofotómetro para objetivar los cambios de concentración.

Esta lectura comparada permite, por tanto, establecer en el caso del poliuretano una relación inversa entre la concentración ácida y el volumen del contenedor.

5.1.3.2.4 Correspondencia en el caucho, PVC y PMMA

En cuanto a las muestras de caucho, PVC y PMMA cabe señalar que como se adelantaba anteriormente no se han registrado variaciones de color, ni entre los diversos ciclos de envejecimiento, ni entre los distintos tiempos de exposición como se puede observar en los gráficos, lo que significa que las A-D Strips no han hallado presencia alguna de volátiles ácidos en ninguno de los contenedores que han albergado estos tres tipos de plástico durante la realización del ensayo.

|              |                     | Tiempo de envejecimiento de las muestras |               |               |               |               |
|--------------|---------------------|--|---------------|---------------|---------------|---------------|
|              |                     | CE - 0                                   | CE - 1        | CE - 2        | CE - 3        | CE - 4        |
| Caucho<br>CP | AD Strip<br>testigo | b -35,3                                  | b -35,3       | b -35,3       | b -35,3       | b -35,3       |
|              | TE - 1              | 0<br>b -33,09                            | 0<br>b -33,08 | 0<br>b -32,78 | 0<br>b -34,09 | 0<br>b -33,98 |
|              | TE - 2              | 0<br>b -30,15                            | 0<br>b -29,86 | 0<br>b -29,23 | 0<br>b -28,96 | 0<br>b -28,05 |
|              | TE - 3              | 0<br>b -30,98                            | 0<br>b -30,87 | 0<br>b -30,99 | 0<br>b -30,56 | 0<br>b -30,75 |

|                                   |                                 |                                 |                               |   |                               |                                |   |
|-----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|---|-------------------------------|--------------------------------|---|
| Coordenadas CIELAB (L* a* b*)     | L 41,63<br>a -10,19<br>b -35,30 | L 42,13<br>a -16,24<br>b -15,35 | L 43,38<br>a -18,54<br>b 5,16 | L 45,16<br>a -16,14<br>b 25,11  | L 54,34<br>a -7,04<br>b 45,21 | L 65,18<br>a -74,24<br>b 65,16 | L 85,22<br>a -6,23<br>b 85,36   |
| Patrón de equivalencias propuesto | 0                               | 1                               | 2                             | 3   | 4                             | 5                              | 6   |
| Patrón de equivalencias del IPI   | 0                               |                                 |                               | 1   | 2                             |                                | 3   |
| Niveles de concentración          | Ausencia<br>acidez              | Concentración<br>baja           | Concentración<br>media - baja | Concentración<br>media  | Concentración<br>media - alta | Concentración<br>alta          | Concentración<br>muy alta   |
| Niveles de riesgo                 |                                 |                                 |                               |  |                               |                                |  |

Tabla 47: Equivalencia entre los valores colorimétricos de las A-D Strips, según tiempos de exposición y ciclos de envejecimiento de las muestras de caucho, y la concentración ácida del aire. Contenedor pequeño.

|              |                     | Tiempo de envejecimiento de las muestras |               |               |               |               |
|--------------|---------------------|--|---------------|---------------|---------------|---------------|
|              |                     | CE - 0                                   | CE - 1        | CE - 2        | CE - 3        | CE - 4        |
| Caucho<br>CM | AD Strip<br>testigo | b -35,3                                  | b -35,3       | b -35,3       | b -35,3       | b -35,3       |
|              | TE - 1              | 0<br>b -33,02                            | 0<br>b -34,87 | 0<br>b -34,02 | 0<br>b -33,02 | 0<br>b -33,28 |
|              | TE - 2              | 0<br>b -33,65                            | 0<br>b -33,21 | 0<br>b -32,15 | 0<br>b -31,13 | 0<br>b -30,63 |
|              | TE - 3              | 0<br>b -30,69                            | 0<br>b -31,14 | 0<br>b -32    | 0<br>b -31,07 | 0<br>b -29,65 |

|                                   |                                 |                                 |                               |  |                               |                                |   |
|-----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|--|-------------------------------|--------------------------------|---|
| Coordenadas CIELAB (L* a* b*)     | L 41,63<br>a -10,19<br>b -35,30 | L 42,13<br>a -16,24<br>b -15,35 | L 43,38<br>a -18,54<br>b 5,16 | L 45,16<br>a -16,14<br>b 25,11   | L 54,34<br>a -7,04<br>b 45,21 | L 65,18<br>a -74,24<br>b 65,16 | L 85,22<br>a -6,23<br>b 85,36   |
| Patrón de equivalencias propuesto | 0                               | 1                               | 2                             | 3  | 4                             | 5                              | 6   |
| Patrón de equivalencias del IPI   | 0                               |                                 |                               | 1  | 2                             |                                | 3   |
| Niveles de concentración          | Ausencia<br>acidez              | Concentración<br>baja           | Concentración<br>media - baja | Concentración<br>media   | Concentración<br>media - alta | Concentración<br>alta          | Concentración<br>muy alta   |
| Niveles de riesgo                 |                                 |                                 |                               |  |                               |                                |  |

Tabla 48: Equivalencia entre los valores colorimétricos de las A-D Strips, según tiempos de exposición y ciclos de envejecimiento de las muestras de caucho, y la concentración ácida del aire. Contenedor mediano.

|              |                     | Tiempo de envejecimiento de las muestras |               |               |               |               |
|--------------|---------------------|--|---------------|---------------|---------------|---------------|
|              |                     | CE - 0                                   | CE - 1        | CE - 2        | CE - 3        | CE - 4        |
| Caucho<br>CG | AD Strip<br>testigo | b -35,3                                  | b -35,3       | b -35,3       | b -35,3       | b -35,3       |
|              | TE - 1              | 0<br>b -34,76                            | 0<br>b -32,98 | 0<br>b -33,9  | 0<br>b -34,78 | 0<br>b -30,31 |
|              | TE - 2              | 0<br>b -30,47                            | 0<br>b -30,39 | 0<br>b -30,38 | 0<br>b -30,37 | 0<br>b -30,31 |
|              | TE - 3              | 0<br>b -30,29                            | 0<br>b -30,33 | 0<br>b -30,23 | 0<br>b -30,14 | 0<br>b -30,28 |

|                                   |                                 |                                 |                               |   |                               |                                |   |
|-----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|---|-------------------------------|--------------------------------|---|
| Coordenadas CIELAB (L* a* b*)     | L 41,63<br>a -10,19<br>b -35,30 | L 42,13<br>a -16,24<br>b -15,35 | L 43,38<br>a -18,54<br>b 5,16 | L 45,16<br>a -16,14<br>b 25,11  | L 54,34<br>a -7,04<br>b 45,21 | L 65,18<br>a -74,24<br>b 65,16 | L 85,22<br>a -6,23<br>b 85,36   |
| Patrón de equivalencias propuesto | 0                               | 1                               | 2                             | 3   | 4                             | 5                              | 6   |
| Patrón de equivalencias del IPI   | 0                               |                                 |                               | 1   | 2                             |                                | 3   |
| Niveles de concentración          | Ausencia<br>acidez              | Concentración<br>baja           | Concentración<br>media - baja | Concentración<br>media  | Concentración<br>media - alta | Concentración<br>alta          | Concentración<br>muy alta   |
| Niveles de riesgo                 |                                 |                                 |                               |  |                               |                                |  |

Tabla 49: Equivalencia entre los valores colorimétricos de las A-D Strips, según tiempos de exposición y ciclos de envejecimiento de las muestras de caucho, y la concentración ácida del aire. Contenedor grande.

|           |  | Tiempo de envejecimiento de las muestras |               |               |               |               |         |
|-----------|--|--|---------------|---------------|---------------|---------------|---------|
|           |  | CE - 0                                   | CE - 1        | CE - 2        | CE - 3        | CE - 4        |         |
| PVC<br>CP | Tiempo de exposición de las AD Strips a las muestras | AD Strip testigo                         | b -35,3       | b -35,3       | b -35,3       | b -35,3       | b -35,3 |
|           | TE - 1   | 0<br>b -34,88                            | 0<br>b -34,56 | 0<br>b -33,89 | 0<br>b -34,79 | 0<br>b -33,98 |         |
|           | TE - 2   | 0<br>b -30,25                            | 0<br>b -28,89 | 0<br>b -28,86 | 0<br>b -28,15 | 0<br>b -27,78 |         |
|           | TE - 3   | 0<br>b -30,12                            | 0<br>b -30,41 | 0<br>b -30,32 | 0<br>b -30,18 | 0<br>b -30,15 |         |

|                                   |                                 |                                 |                               |  |                               |                                |   |
|-----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|--|-------------------------------|--------------------------------|---|
| Coordenadas CIELAB (L* a* b*)     | L 41,63<br>a -10,19<br>b -35,30 | L 42,13<br>a -16,24<br>b -15,35 | L 43,38<br>a -18,54<br>b 5,16 | L 45,16<br>a -16,14<br>b 25,11   | L 54,34<br>a -7,04<br>b 45,21 | L 65,18<br>a -74,24<br>b 65,16 | L 85,22<br>a -6,23<br>b 85,36   |
| Patrón de equivalencias propuesto | 0                               | 1                               | 2                             | 3  | 4                             | 5                              | 6   |
| Patrón de equivalencias del IPI   | 0                               |                                 |                               | 1  | 2                             |                                | 3   |
| Niveles de concentración          | Ausencia acidez                 | Concentración baja              | Concentración media - baja    | Concentración media  | Concentración media - alta    | Concentración alta             | Concentración muy alta  |
| Niveles de riesgo                 |                                 |                                 |                               |  |                               |                                |  |

Tabla 50: Equivalencia entre los valores colorimétricos de las A-D Strips, según tiempos de exposición y ciclos de envejecimiento de las muestras de policloruro de vinilo, y la concentración ácida del aire. Contenedor pequeño.

|           |                  | Tiempo de envejecimiento de las muestras |               |               |               |               |
|-----------|------------------|--|---------------|---------------|---------------|---------------|
|           |                  | CE - 0                                   | CE - 1        | CE - 2        | CE - 3        | CE - 4        |
| PVC<br>CM | AD Strip testigo | b -35,3                                  | b -35,3       | b -35,3       | b -35,3       | b -35,3       |
|           | TE - 1           | 0<br>b -34,87                            | 0<br>b -34,25 | 0<br>b -34,72 | 0<br>b -34,79 | 0<br>b -33,98 |
|           | TE - 2           | 0<br>b -30,37                            | 0<br>b -29,96 | 0<br>b -29,87 | 0<br>b -28,15 | 0<br>b -27,78 |
|           | TE - 3           | 0<br>b -28,98                            | 0<br>b -28,95 | 0<br>b -29,69 | 0<br>b -28,4  | 0<br>b -28,12 |

|                                   |                                 |                                 |                               |   |                               |                                |   |
|-----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|---|-------------------------------|--------------------------------|---|
| Coordenadas CIELAB (L* a* b*)     | L 41,63<br>a -10,19<br>b -35,30 | L 42,13<br>a -16,24<br>b -15,35 | L 43,38<br>a -18,54<br>b 5,16 | L 45,16<br>a -16,14<br>b 25,11  | L 54,34<br>a -7,04<br>b 45,21 | L 65,18<br>a -74,24<br>b 65,16 | L 85,22<br>a -6,23<br>b 85,36   |
| Patrón de equivalencias propuesto | 0                               | 1                               | 2                             | 3   | 4                             | 5                              | 6   |
| Patrón de equivalencias del IPI   | 0                               |                                 |                               | 1   | 2                             |                                | 3   |
| Niveles de concentración          | Ausencia acidez                 | Concentración baja              | Concentración media - baja    | Concentración media   | Concentración media - alta    | Concentración alta             | Concentración muy alta  |
| Niveles de riesgo                 |                                 |                                 |                               |  |                               |                                |  |

Tabla 51: Equivalencia entre los valores colorimétricos de las A-D Strips, según tiempos de exposición y ciclos de envejecimiento de las muestras de policloruro de vinilo, y la concentración ácida del aire. Contenedor mediano.

|           |  | Tiempo de envejecimiento de las muestras |          |          |          |          |          |
|-----------|--|--|----------|----------|----------|----------|----------|
|           |  | CE - 0                                   | CE - 1   | CE - 2   | CE - 3   | CE - 4   |          |
| PVC<br>CG | Tiempo de exposición de las AD Strips a las muestras | AD Strip testigo                         | b -35,3  |
|           | TE - 1   | 0  | 0        | 0        | 0        | 0        |          |
|           | TE - 2   | 0  | 0        | 0        | 0        | 0        |          |
|           | TE - 3   | 0  | 0        | 0        | 0        | 0        |          |
|           |  |  | b -34,29 | b -33,97 | b -33,89 | b -33,57 | b -33,87 |
|           |  |  | b -31,12 | b -31,11 | b -31,15 | b -31,18 | b -31,22 |
|           |  |  | b -34,02 | b -29,02 | b -28,69 | b -28,34 | b -29,22 |

|                                   |                                 |                                 |                               |  |                               |                                |   |
|-----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|--|-------------------------------|--------------------------------|---|
| Coordenadas CIELAB (L* a* b*)     | L 41,63<br>a -10,19<br>b -35,30 | L 42,13<br>a -16,24<br>b -15,35 | L 43,38<br>a -18,54<br>b 5,16 | L 45,16<br>a -16,14<br>b 25,11   | L 54,34<br>a -7,04<br>b 45,21 | L 65,18<br>a -74,24<br>b 65,16 | L 85,22<br>a -6,23<br>b 85,36   |
| Patrón de equivalencias propuesto | 0                               | 1                               | 2                             | 3  | 4                             | 5                              | 6   |
| Patrón de equivalencias del IPI   | 0                               |                                 |                               | 1  | 2                             |                                | 3   |
| Niveles de concentración          | Ausencia acidez                 | Concentración baja              | Concentración media - baja    | Concentración media  | Concentración media - alta    | Concentración alta             | Concentración muy alta  |
| Niveles de riesgo                 |                                 |                                 |                               |  |                               |                                |  |

Tabla 52: Equivalencia entre los valores colorimétricos de las A-D Strips, según tiempos de exposición y ciclos de envejecimiento de las muestras de policloruro de vinilo, y la concentración ácida del aire. Contenedor grande.

|            |  | Tiempo de envejecimiento de las muestras |               |               |               |               |         |
|------------|--|--|---------------|---------------|---------------|---------------|---------|
|            |  | CE - 0                                   | CE - 1        | CE - 2        | CE - 3        | CE - 4        |         |
| PMMA<br>CP | Tiempo de exposición de las AD Strips a las muestras | AD Strip testigo                         | b -35,3       | b -35,3       | b -35,3       | b -35,3       | b -35,3 |
|            | TE - 1   | 0<br>b -33,45                            | 0<br>b -34,56 | 0<br>b -33,98 | 0<br>b -34,76 | 0<br>b -34,78 |         |
|            | TE - 2   | 0<br>b -32,2                             | 0<br>b -31,9  | 0<br>b -33,05 | 0<br>b -32,12 | 0<br>b -32,85 |         |
|            | TE - 3   | 0<br>b -32,24                            | 0<br>b -33,87 | 0<br>b -33,62 | 0<br>b -34,98 | 0<br>b -34,75 |         |

|                                   |                                 |                                 |                               |   |                               |                                |   |
|-----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|---|-------------------------------|--------------------------------|---|
| Coordenadas CIELAB (L* a* b*)     | L 41,63<br>a -10,19<br>b -35,30 | L 42,13<br>a -16,24<br>b -15,35 | L 43,38<br>a -18,54<br>b 5,16 | L 45,16<br>a -16,14<br>b 25,11  | L 54,34<br>a -7,04<br>b 45,21 | L 65,18<br>a -74,24<br>b 65,16 | L 85,22<br>a -6,23<br>b 85,36   |
| Patrón de equivalencias propuesto | 0                               | 1                               | 2                             | 3   | 4                             | 5                              | 6   |
| Patrón de equivalencias del IPI   | 0                               |                                 |                               | 1   | 2                             |                                | 3   |
| Niveles de concentración          | Ausencia<br>acidez              | Concentración<br>baja           | Concentración<br>media - baja | Concentración<br>media  | Concentración<br>media - alta | Concentración<br>alta          | Concentración<br>muy alta   |
| Niveles de riesgo                 |                                 |                                 |                               |  |                               |                                |  |

Tabla 53: Equivalencia entre los valores colorimétricos de las A-D Strips, según tiempos de exposición y ciclos de envejecimiento de las muestras de PMMA, y la concentración ácida del aire. Contenedor pequeño.

|            |  | Tiempo de envejecimiento de las muestras |               |               |               |               |         |
|------------|--|--|---------------|---------------|---------------|---------------|---------|
|            |  | CE - 0                                   | CE - 1        | CE - 2        | CE - 3        | CE - 4        |         |
| PMMA<br>CM | Tiempo de exposición de las AD Strips a las muestras | AD Strip testigo                         | b -35,3       | b -35,3       | b -35,3       | b -35,3       | b -35,3 |
|            | TE - 1   | 0<br>b -33,87                            | 0<br>b -34,78 | 0<br>b -35,02 | 0<br>b -34,87 | 0<br>b -33,98 |         |
|            | TE - 2   | 0<br>b -34,53                            | 0<br>b -34,63 | 0<br>b -34,51 | 0<br>b -34,57 | 0<br>b -34,86 |         |
|            | TE - 3   | 0<br>b -34,79                            | 0<br>b -33,42 | 0<br>b -33,89 | 0<br>b -33,68 | 0<br>b -33,25 |         |

|                                   |                                 |                                 |                               |  |                               |                                |   |
|-----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|--|-------------------------------|--------------------------------|---|
| Coordenadas CIELAB (L* a* b*)     | L 41,63<br>a -10,19<br>b -35,30 | L 42,13<br>a -16,24<br>b -15,35 | L 43,38<br>a -18,54<br>b 5,16 | L 45,16<br>a -16,14<br>b 25,11   | L 54,34<br>a -7,04<br>b 45,21 | L 65,18<br>a -74,24<br>b 65,16 | L 85,22<br>a -6,23<br>b 85,36   |
| Patrón de equivalencias propuesto | 0                               | 1                               | 2                             | 3  | 4                             | 5                              | 6   |
| Patrón de equivalencias del IPI   | 0                               |                                 |                               | 1  | 2                             |                                | 3   |
| Niveles de concentración          | Ausencia acidez                 | Concentración baja              | Concentración media - baja    | Concentración media  | Concentración media - alta    | Concentración alta             | Concentración muy alta  |
| Niveles de riesgo                 |                                 |                                 |                               |  |                               |                                |  |

Tabla 54: Equivalencia entre los valores colorimétricos de las A-D Strips, según tiempos de exposición y ciclos de envejecimiento de las muestras de PMMA, y la concentración ácida del aire. Contenedor mediano

Página 250 sujeta a confidencialidad por  
la autora

|            |                  | Tiempo de envejecimiento de las muestras |               |               |               |               |
|------------|------------------|--|---------------|---------------|---------------|---------------|
|            |                  | CE - 0                                   | CE - 1        | CE - 2        | CE - 3        | CE - 4        |
| PMMA<br>CG | AD Strip testigo | b -35,3                                  | b -35,3       | b -35,3       | b -35,3       | b -35,3       |
|            | TE - 1           | 0<br>b -34,78                            | 0<br>b -33,99 | 0<br>b -34,45 | 0<br>b -34,87 | 0<br>b -32,98 |
|            | TE - 2           | 0<br>b -34,98                            | 0<br>b -35,03 | 0<br>b -35,08 | 0<br>b -35,15 | 0<br>b -35,26 |
|            | TE - 3           | 0<br>b -34,29                            | 0<br>b -35,01 | 0<br>b -34,07 | 0<br>b -33,02 | 0<br>b -33,89 |

|                                   |                                 |                                 |                               |   |                               |                                |   |
|-----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|---|-------------------------------|--------------------------------|---|
| Coordenadas CIELAB (L* a* b*)     | L 41,63<br>a -10,19<br>b -35,30 | L 42,13<br>a -16,24<br>b -15,35 | L 43,38<br>a -18,54<br>b 5,16 | L 45,16<br>a -16,14<br>b 25,11  | L 54,34<br>a -7,04<br>b 45,21 | L 65,18<br>a -74,24<br>b 65,16 | L 85,22<br>a -6,23<br>b 85,36   |
| Patrón de equivalencias propuesto | 0                               | 1                               | 2                             | 3   | 4                             | 5                              | 6   |
| Patrón de equivalencias del IPI   | 0                               |                                 |                               | 1   | 2                             |                                | 3   |
| Niveles de concentración          | Ausencia acidez                 | Concentración baja              | Concentración media - baja    | Concentración media   | Concentración media - alta    | Concentración alta             | Concentración muy alta  |
| Niveles de riesgo                 |                                 |                                 |                               |  |                               |                                |  |

Tabla 55: Equivalencia entre los valores colorimétricos de las A-D Strips, según tiempos de exposición y ciclos de envejecimiento de las muestras de PMMA, y la concentración ácida del aire. Contenedor grande

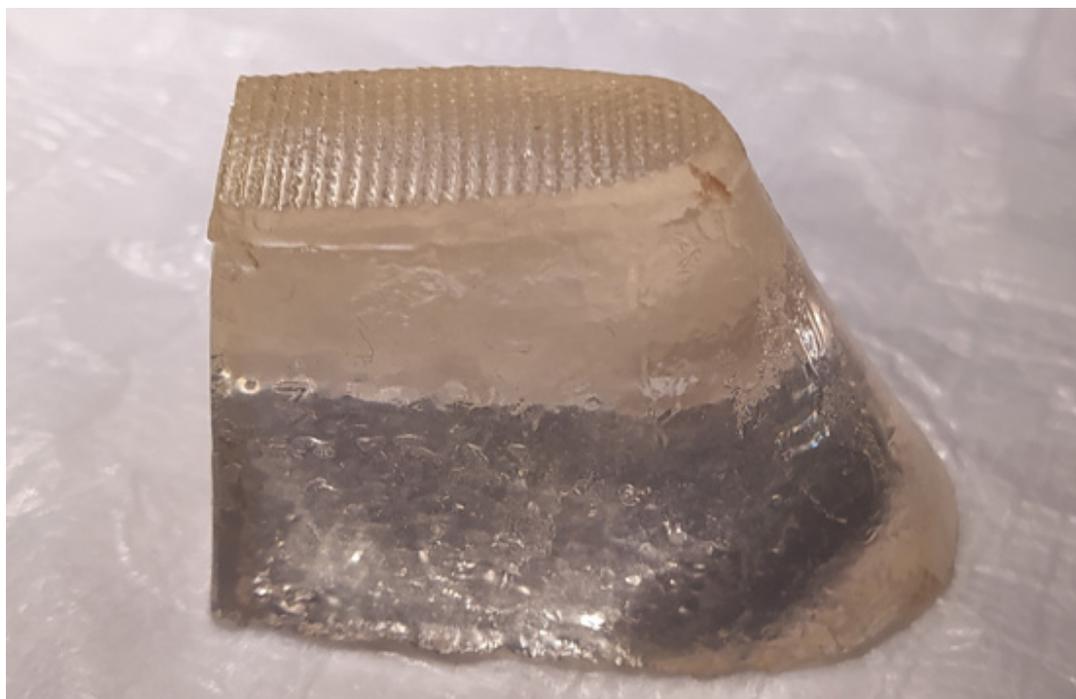


Figura 84: tacón utilizado en el muestreo

La metodología que se ha aplicado en esta ocasión ha sido la misma que la utilizada en el ensayo práctico: caracterización material, preparación y montaje del sistema de medición, y lectura y análisis de datos.

Para la caracterización material de la resina se tomó una muestra del tacón, la cual fue analizada mediante espectroscopia infrarroja transformada de Fourier de reflectancia (ATR-FTIR). Este análisis<sup>126</sup> permitió determinar que se trataba de poliéster insaturado con estireno, y que por tanto coincidía con el tipo de poliéster que habíamos utilizado en nuestro ensayo práctico.

En cuanto a la preparación y montaje del sistema de medición, se recurrió nuevamente a los tres modelos de contenedor de vidrio (previamente acondicionados) con el fin de reproducir las condiciones más habituales en las que se encuentran las obras, tal y como se describe en el punto 3.1.2.4 *Preparación y montaje del sistema de medición*: embalaje (90 cm<sup>3</sup>), vitrinas individuales (320 cm<sup>3</sup>) y vitrinas compartidas (1000 cm<sup>3</sup>). El tacón se colocó en la parte inferior, y en la superior una A-D Strip suspendida de un hilo de nylon. Como en el ensayo práctico, los contenedores posteriormente se sellaron con parafilm®.

126 Realizado al igual que todos los anteriores en el Instituto Polymat, con el mismo equipo y siguiendo las mismas condiciones de trabajo (ver pto. 3.1.2.3.1 *Equipo utilizado y condiciones de trabajo*), y analizado igualmente bajo la supervisión de la Dra. Lourdes Irusta

Para el control de los parámetros de iluminación, humedad relativa y temperatura; se ha seguido también el mismo protocolo definido en la metodología experimental manteniendo los contenedores a oscuras, y con una temperatura constante de 19°C (+-1) y una humedad relativa del 60% (+-2) durante todo el proceso. Asimismo, se colocaron dos A-D Strips, una en el interior y otra en el exterior de cada uno de los modelos de contenedor vacíos con el fin de verificar que ni el aire exterior, ni los contenedores estuviesen emitiendo ningún tipo de sustancia ácida que pudiese alterar los resultados.

En cuanto al tiempo de exposición, se tomó como referencia los tres utilizados en el ensayo práctico: TE-1 correspondiente a una semana, TE-2 equivalente a tres semanas y TE-3 de seis semanas de duración.

Por último, para verificar la fiabilidad del método empleado, atendiendo a las recomendaciones de la comunidad científica, repetimos tres veces el proceso completo; por tanto, los resultados que ofrecemos a continuación se corresponden con la media aritmética de las tres mediciones.

Las lecturas se realizaron comparando el color resultante de las A-D Strips después de su exposición, con el patrón de equivalencias, y posteriormente tomando medidas colorimétricas mediante el espectrofotómetro; manejando los mismos parámetros que en el ensayo práctico, CIELAB ( $L^* a^* b^*$ ), diámetro de área de medida 3mm, iluminante patrón CIE D65 y observador patrón CIE1976 10°.

Los datos recogidos una vez transcurrido el tiempo de exposición TE-1 han sido en el caso del contenedor pequeño un valor de color de 2 en la comparativa del color resultante con el patrón de equivalencias; y mediante el espectrofotómetro se han registrado valores colorimétricos de L 43,98 a -17,87 b -4,26. En el contenedor mediano, se ha registrado un valor 1 en el patrón de equivalencias y valores L 44,02 a -14,99 b -16,04. Mientras que, en el caso del contenedor grande, el color resultante de la A-D Strip tras su exposición equivale a un valor 0 de color en el patrón de equivalencias y los valores colorimétricos registrados mediante el espectrofotómetro han sido L 43,55 a -18,75 b -32,24.

Transcurrido el tiempo de exposición TE-2 en el caso del contenedor pequeño se ha registrado un valor de color 2,5 en la comparativa con el patrón de equivalencias y de L 44,89 a -16,91 b 14,78 con el espectrofotómetro. En el contenedor mediano, un valor 1,5 en el patrón de equivalencias y L 41,99 a -18,03 b -5,25 en las mediciones colorimétricas. Mientras que en el contenedor grande, los resultados obtenidos han sido de 0,5 en el patrón de equivalencias y de L 44,04 a -18,22 b -26,36 en las mediciones con el espectrofotómetro.

Los resultados obtenidos en el tiempo de exposición TE-3 han sido en el caso del contenedor pequeño un valor de color de 2,5 en la comparativa del color resultante con el patrón de equivalencias; y mediante el espectrofotómetro se han registrado valores colorimétricos de L44,98 a -19,53 b 15,12. En el contenedor mediano, se ha registrado un valor de color 1,5 en el patrón de equivalencias y valores L 42,02 a - 17,56 b -4,99 con el espectrofotómetro. Mientras que, en el caso del contenedor grande, el color resultante en la A-D Strip después de su exposición equivale a un valor 1 de color en el patrón de equivalencias y los valores colorimétricos registrados mediante el espectrofotómetro han sido L 41,25 a - 18,09 b -11,14.

La obra de Moraza cuenta con 25 años de vida desde su creación en 1994, por ello los resultados obtenidos se deben comparar con los correspondientes al ciclo de envejecimiento CE-1, que como veíamos en el ensayo práctico simula 25 años en condiciones de museo.

Los valores resultantes de las mediciones colorimétricas realizadas en las A-D Strips con el espectrofotómetro procedentes del CE-1 para el poliéster fueron en el TE-1 de L 44,02 a -18,34 b -3,54 en el contenedor pequeño; de L42,33 a -16,38 b -16,39 en el mediano; y de L 42,32 a -18,36 b -29,00 en el grande. Mientras que mediante la comparativa con el patrón de equivalencias se registraron valores de color de 2, 1, 0 respectivamente. En el TE-2 fueron de L 44,24 a -18,10 b 16,03 en el contenedor pequeño; de L 41,21 a -16,63 b -5,34 en el mediano; y de L 42,44 a -17,97 b -25,04 en el grande. Y de 2,5; 1,5; y 0,5 en el patrón de equivalencias. Por último, en el TE-3 de L 44,11 a -18,12 b 16,02 en el contenedor pequeño; de L42,72 a-17,85 b-4,93 en el mediano; y de L40,98 a-17,19 b-13,45 en el grande. Mientras que con el patrón de equivalencias se registraron valores de 2,5; 1,5; y 1 respectivamente.

Como se puede apreciar, los valores obtenidos en las lecturas en ambos casos, (ensayo práctico y obra real) muestran una gran concordancia en cuanto a las concentraciones; al haberse obtenido en los dos muestreos una concentración ácida entre media-baja y media en el caso del contenedor pequeño; entre baja y media-baja en el mediano; y baja en el grande. Esta correspondencia entre los resultados, así como la ausencia de otro tipo de discrepancias, vendría por tanto a validar el método empleado en nuestro ensayo.

Para completar el estudio del caso real, quisimos comparar nuestros resultados con los que manejaban las conservadoras del Museo Guggenheim de Bilbao, quienes como ya adelantábamos en el punto 2.2.2.1.2 *Las A-D Strips: casuística de aplicaciones prácticas realizaron un muestreo de volátiles ácidos mediante A-D Strips*, tras haber detectado que la obra había amarilleado y desprendía un olor intenso al abrir el embalaje.

Página 254 sujeta a confidencialidad por  
la autora

|  |                  | Contenedor pequeño (CP)                  |                                 | Contenedor mediano (CM)                  |   | Contenedor grande (CG)                   |                                |   |
|--|------------------|--|---------------------------------|--|---|--|--------------------------------|---|
|  |                  | Taçón de <i>Éxtasis, status, estatua</i> | Muestra de poliéster CE - 1     | Taçón de <i>Éxtasis, status, estatua</i> | Muestra de poliéster CE - 1   | Taçón de <i>Éxtasis, status, estatua</i> | Muestra de poliéster CE - 1    |   |
| Tiempo de exposición de las AD Strips a las muestras | AD Strip testigo | b -35,3                                  | b -35,3                         | b -35,3                                  | b -35,3   | b -35,3                                  | b -35,3                        |   |
|  | TE - 1           | 2<br>b -4,26                             | 2<br>b -3,54                    | 1<br>b -16,04                            | 1<br>b -16,39   | 0<br>b -32,24                            | 0<br>b -29                     |   |
|  | TE - 2           | 2,5<br>b 14,78                           | 2,5<br>b 16,03                  | 1,5<br>b -5,25                           | 1,5<br>b -5,34  | 0,5<br>b -26,36                          | 0,5<br>b -25,04                |   |
|  | TE - 3           | 2,5<br>b 15,12                           | 2,5<br>b 16,02                  | 1,5<br>b -4,99                           | 1,5<br>b -4,93  | 1<br>b -11,14                            | 1<br>b -13,45                  |   |
| Coordenadas CIELAB (L* a* b*)                        |                  | L 41,63<br>a -10,19<br>b -35,30          | L 42,13<br>a -16,24<br>b -15,35 | L 43,38<br>a -18,54<br>b 5,16            | L 45,16<br>a -16,14<br>b 25,11  | L 54,34<br>a -7,04<br>b 45,21            | L 65,18<br>a -74,24<br>b 65,16 | L 85,22<br>a -6,23<br>b 85,36   |
| Patrón de equivalencias propuesto                    |                  | 0  | 1                               | 2  | 3   | 4  | 5                              | 6   |
| Patrón de equivalencias del IPI                      |                  | 0  |                                 |  | 1   | 2  |                                | 3   |
| Niveles de concentración                             |                  | Ausencia acidez                          | Concentración baja              | Concentración media - baja               | Concentración media   | Concentración media - alta               | Concentración alta             | Concentración muy alta  |
| Niveles de riesgo                                    |                  |  |                                 |  |  |  |                                |  |

Tabla 56: Comparativa de los resultados obtenidos en el caso de la obra *Éxtasis, estatus, estatua* de Moraza y la muestra de poliéster correspondiente con el ciclo de envejecimiento CE-1

De todo ello se deduce que los resultados obtenidos por las conservadoras del Museo Guggenheim de Bilbao no son los mismos que los emanados en nuestra investigación, ya que en su ensayo han obtenido un valor en el lápiz proporcionado por el IPI de 1,5; equivalente a un 3,5 en nuestro patrón. A su vez las lecturas obtenidas siguiendo la metodología del ensayo práctico se ha obtenido una lectura de 2,5. Estas discrepancias se pueden relacionar con que la configuración de ambos métodos experimentales es completamente distinta.

Destacamos como factores condicionantes de estas diferencias en los resultados, la temperatura ambiental, la calidad del aire del interior de los cajones y el tiempo que llevan almacenados los tacones en el interior de las bolsas.

La temperatura ambiental, es 3°C superior en el ensayo del Guggenheim de Bilbao, respecto al nuestro; lo cual, como veíamos en el apartado 2.1 *Los plásticos emisores de contaminantes gaseosos en ambientes museísticos*. Definición del problema, hace que la tasa de emisión aumente. Por otro lado, el ambiente que rodea las bolsas, es decir, el aire del interior del cajón, se ha comprobado que se encuentra contaminado. Este hecho provoca que el ligero intercambio de aire que se produce entre el interior y el exterior de la bolsa no se haga con aire limpio, sino con aire contaminado, lo que puede contribuir a una mayor concentración ácida. Por último, hemos visto como en el ensayo práctico, existe una relación directa entre el aumento del tiempo de exposición y el incremento en la contaminación ácida; por lo que, si tenemos en cuenta que la obra lleva almacenada varios años dentro del mismo embalaje, la concentración ácida prevista debe ser necesariamente superior a la de los valores registrados en nuestro ensayo tras seis semanas de exposición.





Figura 86: detalle de elemento de metal oxidado por la acción de los productos de degradación de los plásticos del plástico

## PARTE IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1 Discusión

De la revisión bibliográfica llevada a cabo en el apartado 2.1 *Los plásticos emisores de contaminantes gaseosos en ambientes museísticos. Definición del problema* se desprende que el caucho, el nitrato de celulosa, el acetato de celulosa, el PVC y el poliuretano son los plásticos más señalados en las investigaciones<sup>128</sup> como posibles emisores de contaminantes gaseosos; mientras que el poliéster también es citado por algún autor, pero en un porcentaje mucho menor. Estos seis plásticos son además, junto al PMMA, los que cuentan con mayor presencia en las colecciones de arte contemporáneo<sup>129</sup>. De este apartado 2.1 también se extrae que los compuestos más comúnmente emitidos por el caucho son los óxidos de azufre, los compuestos de azufre reducidos y el ácido sulfúrico; los del nitrato de celulosa son los óxidos de nitrógeno y su homólogo ácido, el ácido nítrico; el ácido acético es el más frecuentemente emitido por el acetato de celulosa y el poliéster; el cloruro de hidrógeno o ácido clorhídrico por el PVC; el poliuretano por su parte, puede emitir compuestos nitrogenados y diversos ácidos (nítrico, acético, fórmico y adípico). En cuanto a los materiales susceptibles de sufrir daños, tras la revisión bibliográfica se puede concluir que los metales, los materiales celulósicos y la cerámica pueden verse afectados por las emisiones de todos los plásticos. Los materiales de carbonato de calcio, el vidrio, y los tejidos y polímeros sintéticos, lo serían por todos excepto por los gases emanados por el PVC; mientras que los materiales proteicos, los tintes y los pigmentos se verían más afectados por las emisiones del caucho, nitrato de celulosa y poliuretano. Los materiales fotográficos por las del caucho y PVC; mientras que las pinturas y las piedras únicamente estarían amenazadas por los compuestos emanados por el caucho. En cuanto al personal expuesto, varios autores<sup>130</sup> señalan que, ante

128 Todas las investigaciones revisadas centran su foco en la conservación de los Bienes Culturales

129 De las 325 obras revisadas, el polímero más representado era el PMMA (28,5%), seguido del poliéster (9,5%), el PVC (6,5%), el caucho (6%), el poliuretano (4,5%), y los derivados de la celulosa: el acetato y el nitrato de celulosa (3%); un 10% de las obras estaban compuestas de otros plásticos, mientras que en el 32% restante no se especificaba el polímero o se hacía de forma inexacta.

130 Nazaroll y Cass, 1991; Grzywacz, 2006; Sánchez Cabrero et al., 2015

estas emisiones, las personas son más resistentes que las obras de arte; por lo que, si se respetan los umbrales de contaminación gaseosa indicados para los Bienes Culturales, el personal expuesto no debería correr ningún riesgo.

Por otro lado, el análisis de los datos obtenidos en el ensayo práctico pone en evidencia la discrepancia entre el comportamiento de los seis plásticos testados<sup>131</sup> en cuanto a la influencia del envejecimiento de la muestra y la tasa de emisión detectada. Estos resultados permiten agrupar a los plásticos en tres bloques: los que muestran una relación directa entre el envejecimiento y la tasa de emisión, los que evidencian la relación inversa, y los no emisores.

Al primer grupo, plásticos emisores con relación directa entre el grado de envejecimiento y la tasa de emisión, pertenece el poliuretano; ya que como se ha visto su tasa de emisión aumenta a medida que el grado de envejecimiento es mayor, obteniéndose valores que oscilan entre la ausencia de acidez (b -34,23) y una concentración ácida media (b -24,00), lo que coincide con Tétrault (2019) quien afirma que a medida que el poliuretano se degrada va emitiendo cada vez más ácidos corrosivos.

Entre los plásticos emisores con relación inversa entre el grado de envejecimiento y la tasa de emisión, se encuentran el acetato de celulosa, en el que se registran valores que van desde la ausencia de acidez (b -31,07) hasta concentración ácida media-baja (b 5,48); y el poliéster, cuyos valores están entre la ausencia de acidez (b-32,47) y la concentración ácida muy alta (b 85,03). Por tanto, en el ensayo práctico ha quedado demostrado que la tasa de emisión de las muestras de estos dos tipos de plástico era mayor, cuanto menos envejecidas estaban; efecto que se veía incrementado en las muestras sin envejecer.

En el acetato de celulosa los resultados a priori parece que se contradicen con algunos de los datos recopilados en la revisión bibliográfica, como ocurre con Tétrault (2019) quien señala directamente que las emisiones se incrementan a medida que el material envejece. Sin embargo, la investigación de Tétrault (2019) se centraba en la degradación del acetato de celulosa por hidrólisis, lo que difería de la nuestra, en la que se mantuvieron las condiciones de humedad relativa controladas y el envejecimiento acelerado se efectuó bajo la acción de la radiación de Arco-Xenón, es decir, se ha provocado una fotooxidación del acetato de celulosa. Al no haberse encontrado ninguna publicación que confirme la influencia de la fotooxidación en las emisiones derivadas de este plástico, no ha sido posible comparar el origen de las divergencias de los

---

131 El nitrato de celulosa ha sido excluido del ensayo debido a únicamente se han localizado proveedores que distribuyen este polímero en su presentación en polvo

resultados. En relación a este problema, consultada la Dra. Lourdes Irusta baraja la posibilidad de que las emisiones ácidas provengan del plastificante y que dicho descenso en la concentración ácida se deba a que este aditivo se va perdiendo a medida que la muestra se fotooxida. Además es de señalar que se desconoce si la muestra tratada en la investigación de Tétreault contenía o no plastificante. Por lo que se ha considerado interesante caracterizar el plastificante del acetato de celulosa que hemos utilizado en el ensayo, con el fin de que sirva de referencia para investigaciones futuras. El resultado del análisis<sup>132</sup> ha determinado que se trata de diisononil ftalato (DINP).

El poliéster insaturado utilizado en este ensayo presenta una tasa de emisión marcadamente superior en la muestra sin envejecer, que va disminuyendo a medida que las muestras se van fotooxidando. Aunque no hemos encontrado ninguna investigación centrada en la variación de la tasa de emisión en función del estado de conservación del poliéster, se podría relacionar con el estudio de Shashoua (2008b) cuando expone que la reacción de polimerización de este plástico no suele completarse del todo y que es habitual que desprenda gradualmente monómeros residuales en estado gaseoso que pueden ser detectados por su olor.

En cuanto al caucho, el PVC y el PMMA se encuentran en el grupo de los plásticos no emisores, al no haberse detectado la presencia de volátiles ácidos en ninguno de los contenedores utilizados con ellos<sup>133</sup>.

No obstante, con el caucho, al igual que ocurría con el acetato de celulosa, se observan discrepancias entre los resultados recogidos de la literatura y los obtenidos en nuestro ensayo; ya que en la literatura se hace referencia a que la acción de la luz sobre este plástico deriva en la emisión de compuestos de azufre gaseosos, que al reaccionar con la humedad ambiental pueden convertirse en sus homólogos ácidos. Si bien, autores como Quye y Williamson (1999) puntualizan que estas emisiones ácidas se producen en condiciones de humedad relativa altas; lo que no ocurre en nuestro ensayo, en el que se han controlado en todo momento los porcentajes de humedad relativa.

---

132 El análisis se ha realizado en el Instituto Polymat con el mismo equipo y en las mismas condiciones de trabajo anteriores, es decir, a temperatura ambiente, con espectroscopia infrarroja transformada de Fourier de reflectancia total atenuada (ATR-FTIR) utilizando un espectrómetro FTIR Thermo Nicolet 6700, con detector DTGS, cubriendo un rango de 4000 a 400  $\text{cm}^{-1}$ , con una resolución de 4  $\text{cm}^{-1}$ , y un registro de espectros de 64 barridos; empleándose un accesorio de reflectancia total atenuada (ATR) (Golden Gate, specac) de cristal de diamante. Asimismo, todos los espectros han sido analizados bajo la supervisión de la Dra. Lourdes Irusta utilizando el software Omnic v 7.3.

133 Los valores colorimétricos obtenidos mediante el espectrofotómetro en todos los casos están entre b -35,3 y b -25, rango que corresponde con la ausencia de acidez.

Respecto al PVC, algunos autores como Morgan (1991), Williams (2002) y Hatchfield (2004) sostienen que este material emite ácido clorhídrico tras su exposición prolongada a la luz. Sin embargo, como veíamos en el apartado 2.1 *Los plásticos emisores de contaminantes gaseosos en ambientes museísticos. Definición del problema*, estos datos han podido ser extraídos de pruebas de envejecimiento acelerado realizadas con fines industriales; mientras que la única investigación<sup>134</sup> que hace referencia a sus emisiones en un contexto de conservación de obras de arte sostiene que no existen evidencias científicas de que el PVC emita ácido clorhídrico en condiciones de museo. Este dato, por el contrario, sí coincide con los resultados alcanzados en nuestro ensayo.

Por último, en relación al PMMA se anotan coincidencias entre los resultados derivados del ensayo y los datos recabados durante la revisión bibliográfica; ya que como señalábamos en el apartado 2.1, este tipo de plástico es considerado como uno de los más estables no habiéndose demostrado a día de hoy evidencias de que este material emita ningún tipo de sustancia nociva.

En cuanto a los factores que influyen en el riesgo de concentración de contaminantes gaseosos, de la revisión bibliográfica se extrae que las sustancias volátiles nocivas desprendidas por los plásticos en general, no suponen un riesgo significativo cuando la obra se encuentra en un espacio amplio y bien ventilado; pero sí cuando se halla en el interior de un contenedor cerrado de dimensiones limitadas como una vitrina o una caja de viaje, ya que los ambientes confinados propician el incremento de los niveles de contaminación gaseosa (Tétreault 2003; Sánchez Cabrero *et al.* 2015). Asimismo, el riesgo de acumulación de contaminantes aumenta cuanto mayor es la tasa y el área de emisión del plástico, el tiempo de exposición, la humedad relativa y la temperatura; y menor es la tasa de fuga de aire<sup>135</sup> (Tétreault 2019).

Además, el análisis de la información obtenida pone de manifiesto que ningún estudio de los realizados hasta ahora, define con claridad ni la capacidad contaminante de cada plástico emisor, ni la relación existente entre la concentración de gases, el volumen del contenedor y el tiempo de exposición. Sin embargo, la comparativa de los resultados del ensayo permite deducir qué plásticos son los que presentan tasas de emisión más elevadas, y por tanto, los potencialmente más peligrosos. Si atendemos a las concentraciones máximas registradas y confrontamos los resultados; observamos como el poliéster es el plástico que presenta una concentración ácida superior (b 85,03), seguido del poliuretano (b 24,00) y del acetato de celulosa (b 5,48), por este orden. Mientras que el caucho, el PVC y el PMMA se encontrarían los últimos en este ranking, ya que no se ha detectado que emitan volátiles ácidos bajo la configuración

134 Products used in preventive conservation (Tétreault 2019)

135 Asumiendo el hecho de que el aire exterior esté libre de contaminantes, en caso contrario es preciso conocer la concentración de contaminantes con el fin de valorar su influencia.

de este ensayo (habiéndose obtenido en todos los casos valores entre b -35,3 y b -25<sup>136</sup>)

En cuanto a la influencia del tiempo de exposición en la acumulación de volátiles, cabe señalar que la concentración ácida es mayor a medida que aumenta el tiempo de exposición; asimismo, se puede observar cómo este incremento se produce de forma más rápida cuanto mayor es la tasa de emisión de los plásticos. Este hecho se ve claramente al comparar los resultados obtenidos en las muestras del CE-0 de acetato de celulosa y poliéster<sup>137</sup> del contenedor pequeño. En el acetato de celulosa se detecta una concentración media-baja tanto en el TE-1 (b -1,01) como en el TE-3 (b 5,48), observándose un ligero aumento únicamente perceptible por el espectrofotómetro; mientras que en el caso de poliéster el aumento es notablemente superior pasando de la concentración media-alta (b 45,22) del TE-1 a la muy alta (b 85,03) del TE-3. En líneas generales, se puede afirmar que el tiempo medio que tarda en pasar de la ausencia de concentración a la concentración ácida baja, de la concentración baja a la media-baja, y de la media-baja a la media en los contenedores pequeños y medianos es de cinco semanas, y a partir de la concentración media este tiempo se reduce a dos semanas; mientras que en los contenedores grandes es ligeramente superior<sup>138</sup>. Aunque no se han localizado investigaciones que traten directamente este tema, los resultados obtenidos en nuestro ensayo pueden verse reflejados de forma indirecta en la advertencia que hace Tétrault (2019) de que un material emisor puede ser aceptable que permanezca en el interior de un espacio cerrado temporalmente, pero no a largo plazo.

En relación con la influencia del volumen del contenedor en la concentración de volátiles ácidos, queda demostrado que la concentración ácida desciende de forma paulatina a medida que aumenta el volumen del contenedor; llegando a bajar hasta concentraciones inferiores a las que son capaces de detectar las A-D Strips. Por ejemplo, en el caso del poliéster en las muestras correspondientes con el CE-0 y el TE-3 se halla una concentración muy alta (b 85,03) en el contenedor pequeño y media en el grande (b 24,19); y en las del CE-1 y el TE-1 es media-baja (b -3,54) en el pequeño y nula (b -29,00) en el

---

136 Los valores comprendidos entre b-35,3 y b -25, corresponden con un valor 0 en el patrón de equivalencias, o lo que es lo mismo, con la ausencia de acidez.

137 Cabe recordar que la tasa de emisión del acetato de celulosa es notablemente inferior a la del poliéster.

138 No se ha podido determinar con exactitud cuanto aumenta el tiempo de cambio entre concentraciones en el caso del contenedor grande, ya que para obtener este dato las mediciones debería prolongarse en el tiempo más de un mes y medio; y como ya señalábamos en las limitaciones de las A-D Strips, mes y medio es el tiempo máximo en el que se consiguen resultados fiables.

grande. Estos resultados coinciden con lo expuesto por Tétrault (2019) quien señala que, si se mantienen los valores de tasa de emisión, área de emisión y tasa de intercambio de aire, (como ha ocurrido en el desarrollo nuestro ensayo práctico) y se varía el tamaño del contenedor; la concentración ácida aumentará a medida que el volumen descienda, y viceversa.

En lo relativo a los sistemas de control y detección de contaminantes gaseosos, de la revisión bibliográfica se desprende que los dispositivos de lectura directa son la mejor opción a la hora de implementarlos en un protocolo de conservación debido a su facilidad de uso y su bajo coste; frente a los que requieren análisis de laboratorio, cuyos costes son mucho más elevados y precisan de científicos para interpretar los resultados. Entre los dispositivos de lectura directa se ha determinado que las A-D Strips son la opción más óptima, ya que permiten detectar y controlar las emisiones derivadas de todos los plásticos en su forma ácida<sup>139</sup> en tiempo real<sup>140</sup>, de forma económica, objetiva y sencilla. Si bien, se debe tener en cuenta que presentan algunas limitaciones como que solo son capaces de medir concentraciones ácidas entre  $10^{-3,8}$  y  $10^{-5,4}$  mol de ácido/litro aire; que no identifican gases concretos, solo la presencia de ácidos; y que son sensibles a determinadas fuentes lumínicas que podrían afectar a los resultados.

En el ensayo práctico también se ha comprobado que el lápiz de referencia proporcionado por el Image Permanence Institute junto a las A-D Strips presenta carencias, ya que solo tiene cuatro colores de referencia, mientras que las tiras pueden dar como resultado un número infinito de tonos entre el azul y el amarillo; y se ha propuesto una solución que nos ha permitido obtener datos más detallados y objetivos. Dicha solución consiste en combinar la propuesta realizada por Hackney (2016) en su artículo *Colour measurement of acid-detector strips for the quantification of volatile organic acids in storage conditions* de utilizar un espectrofotómetro para obtener valores colorimétricos exactos con el patrón de equivalencias que hemos realizado con motivo de esta investigación según las recomendaciones publicadas en el último manual de uso de las A-D Strips para solventar las carencias del lápiz de referencia (Image Permanence Institute, 2016); su aplicación nos ha permitido interpretar los valores obtenidos y extrapolarlos a niveles de concentración ácida.

Asimismo, del ensayo práctico se desprende que solamente los cambios de concentración ácida significativos se podrán detectar comparando el color

---

139 Grzywacz (2006) señala que en la actualidad la forma ácida de los contaminantes gaseosos es considerada la más perjudicial para la preservación del patrimonio.

140 Una vez transcurrido el tiempo de exposición inicial recomendado que va desde las 24 horas en el caso de las obras que llevan tiempo dentro del mismo contenedor hasta la semana en el caso de aquellas que se han introducido en un contenedor nuevo.

resultante de la A-D Strip con el patrón de equivalencias; mientras que para los más sutiles será necesario recurrir al espectrofotómetro.

En relación con los agentes degradantes extrínsecos, veíamos en el apartado 2.1 *Los plásticos emisores de contaminantes gaseosos en ambientes museísticos. Definición del problema*, como la luz, especialmente la que contiene radiación ultravioleta; la temperatura, tanto su incremento como sus fluctuaciones; la humedad, tanto por exceso como por defecto, así como por oscilación; y el oxígeno son los principales agentes de degradación extrínsecos de los plásticos. Y que la temperatura y la humedad relativa influyen directamente en su proceso de liberación de sustancias volátiles nocivas, ya que un incremento de estos parámetros supone un aumento en la tasa y en la velocidad de las emisiones.

Para inhibir la acción de estos agentes de deterioro se proponen tanto pautas generales para su limpieza, identificación y almacenaje; como recomendaciones específicas para el control de la iluminación, la temperatura y la humedad relativa, e inhibición o reducción del oxígeno ambiental y de los contaminantes gaseosos.

Entre las generales, cabe destacar que Albus *et al.* (2007) recomiendan evitar tanto el polvo como la suciedad superficial, para lo que sugiere limpiar las obras regularmente mediante aspiración con ayuda de una brocha<sup>141</sup> o con un tejido suave<sup>142</sup> que atrape el polvo. También indican que excepcionalmente se puede utilizar humedad, siempre y cuando esta acción se realice en el menor tiempo posible y acto seguido se seque la superficie con un paño seco, nunca con un secador u otro aparato que deprenda aire caliente; igualmente desaconsejan en todo momento la utilización de cualquier otro agente de limpieza. Para su identificación sugieren escribir los números de inventario a lápiz en cartones libres de ácidos y depositarlos junto a la obra; no siendo aceptable en ningún supuesto el uso de etiquetas autoadhesivas. Asimismo, especifican medidas concretas para las obras hinchables como que se deben almacenar siempre infladas y que el aire se debe insuflar mediante elementos mecánicos, nunca con la boca. Por último, para la manipulación de los plásticos, de la información recabada se desprende que existe un consenso en la conveniencia de utilizar siempre guantes; sin embargo no hay unanimidad respecto a si estos deben ser de algodón como defienden Albus *et al.* (2007), o de nitrilo como lo hace Coughlin (2018).

---

141 Se recomienda una brocha de pluma de marabú debido a que no produce arañazos en la superficie

142 Los más recomendados son la gamuza de piel natural, la gamuza de microfibra o el paño de microfibra (Lavédrine, Fournier y Martin, 2012).

En el control de la iluminación, según los datos extraídos de la revisión bibliográfica, parece que existe un consenso en que se debe excluir la luz en almacenaje y limitarla en exposición, iluminando únicamente las salas cuando haya público (Blank 1990; Pagliarino y Shashoua 1999; Albus et al. 2007; Waentig 2008 y The Plastics Historical Society 2015); siendo imprescindible filtrar las radiaciones UV tanto de las luces directas como indirectas (Pagliarino and Shashoua, 1999; Albus et al., 2007; Shashoua, 2014; The Plastics Historical Society, 2015). No ocurre lo mismo en las recomendaciones relativas a los niveles de iluminación<sup>143</sup>, entre las que se observan discrepancias, al oscilar los valores propuestos entre los 50 y los 150 lux.

En cuanto al control de la temperatura, se percibe que existe unanimidad en cuanto a que esta magnitud física debe permanecer lo más estable posible; sin embargo, se detectan diferencias tanto en el número de grados que debe haber en el ambiente para la correcta preservación de los plásticos, que van desde los 2 hasta los 25°C, según el autor; como en el tipo de recomendaciones. Algunas publicaciones<sup>144</sup> las hacen de carácter general, mientras que otras<sup>145</sup> proponen temperaturas específicas para tipos o plásticos concretos. Aunque como ya señalábamos en el punto 2.3.1.3 *Control de la temperatura* si tenemos en cuenta que la temperatura habitual en las salas de exposiciones de los museos suele rondar los 20°C (+2) y que debe fluctuar lo menos posible, parece que algunas de estas recomendaciones específicas serían difícilmente implementables en una estrategia global de preservación de obras de arte realizadas en plástico, y que solo se podría tener en consideración en casos muy específicos. En este apartado cabe señalar que autores como Michalski (2002) o Shashoua (2005) proponen sistemas de almacenaje en frío para preservar las obras a largo plazo, basándose en la evidencia de que un descenso en la temperatura ambiental reduce los índices de degradación química de los plásticos considerablemente. Si bien, la propia Shashoua<sup>146</sup> y Blank (1990) advierten de que este tipo de almacenamiento presenta algunas limitaciones como que no es adecuado ni para las obras con procesos de degradación activos, ni para las que están realizadas con materiales compuestos; así como para las que contienen elementos plásticos de más de un centímetro de

---

143 Propuestas por: Quye y Williamson (1999); Albus et al. (2007); Shashoua (2014) y The Plastics Historical Society (2015)

144 *A safe place. Storage strategies for plastics* (Shashoua, 2014), *The conservation of plastics* (The Plastics Historical Society, 2015) y *Looking at plastics. An introducing to caring for plastics* (Coughlin, 2018)

145 *Kulturarvstyrelsen* (Agencia Nacional Danesa de Patrimonio, 2006) y *The conservation of plastics* (The Plastics Historical Society, 2015)

146 En investigaciones como *Modern plastics: do they suffer from the cold* (2004) y *A safe place. Store strategies for plastics* (2014)

grosor. También alertan de que a bajas temperaturas los plásticos cambian a estado vítreo volviéndose rígidos y quebradizos, por lo que se debe limitar su manipulación.

En el control de la humedad relativa, al igual que en el de la temperatura, se ha detectado que existe un acuerdo en que este parámetro debe mantenerse lo más estable posible; mientras que se observan diferentes criterios a la hora de establecer cual es el porcentaje más adecuado para la conservación de los plásticos, proponiéndose valores entre el 20% y el 65%.

En lo relativo a la reducción del oxígeno ambiental, de la revisión bibliográfica se desprende que dos de los métodos más utilizados, las atmósferas de nitrógeno y los absorbentes, serían los más dignos de reseñar. Preservar las obras de plástico en atmósfera de nitrógeno ralentiza notablemente los procesos de oxidación, al tiempo que protege a las obras de la contaminación por partículas, aunque se trata de un método complejo de implementar, que requiere de personal cualificado y que limita el acceso a las obras (Linke, Keller and Tafelski, 2010). En cuanto al uso de absorbentes, cabe señalar que en la actualidad estos métodos están desaconsejados, ya que autores como Shashoua, Schilling, Mazurek (2014), The Plastics Historical Society (2015), o Coughlin (2018) advierten de que pueden inducir o acelerar la pérdida de plastificantes; estando su uso únicamente justificado en el caso de que el plástico ya hubiese perdido este aditivo por completo.

Por último, conviene también tener presentes las recomendaciones que nos ofrecen los distintos autores para controlar y reducir los contaminantes intrínsecos secundarios<sup>147</sup> derivados de las obras realizadas en plásticos emisores.

Tras analizar en profundidad la información recogida de la literatura se detecta un consenso en cuanto a que no es recomendable que estas obras permanezcan en contenedores cerrados, dado que propician el incremento de la contaminación gaseosa; así como que es imprescindible separar las obras con signos de deterioro de las que se encuentran en buen estado con el fin de que las primeras no afecten a la estabilidad de las segundas (Albus et al., 2007). Asimismo, se desprende que se utilizan varios métodos para la reducción de contaminantes, los cuales se pueden clasificar esencialmente en dos tipos: aireación y sorbentes. La aireación reduce el riesgo de degradación autocatalítica (Quye and Williamson, 1999), y está indicada para todos los plásticos emisores, excepto el PVC, ya que en este plástico puede provocar la

---

147 Los contaminantes intrínsecos son aquellos que forman parte de la composición del objeto o se forman cuando su materia reacciona químicamente

pérdida de plastificantes (Coughlin, 2018). Mientras que los sorbentes como las zeolitas o el carbón activado, a pesar de haber sido muy utilizados a lo largo de la historia para la inhibición de los compuestos volátiles nocivos emanados por el nitrato y el acetato de celulosa (Shashoua and Ward, 1995, 1999; Pagliarino and Shashoua, 1999); en la actualidad, (como ya se adelantaba en los utilizados para la reducción del oxígeno ambiental), están desaconsejados debido a que pueden inducir o acelerar la pérdida de los plastificantes (Shashoua, Schilling y Mazurek, 2014; The Plastics Historical Society, 2015; y Coughlin, 2018).

Por último, cabe señalar que una investigación reciente llevada a cabo por Shashoua, Schilling y Mazurek (2014) demuestran que la utilización de cartón de calidad archivo<sup>148</sup> para los embalajes de las obras realizadas en plásticos emisores es una alternativa a los sorbentes mucho más eficaz y apta para todos los tipos; el único aspecto que se debe tener en cuenta para asegurar su efectividad es que dichos embalajes se deben cambiar anualmente.

En este sentido, también se ha considerado oportuno conocer de primera mano, mediante encuestas, qué pautas siguen y qué criterios guían las actuaciones de los conservadores de colecciones contemporáneas para preservar las obras realizadas en plástico. Las respuestas obtenidas revelan que en la mayoría de las colecciones se adecúan los parámetros ambientales al estado de conservación de las obras, especialmente la iluminación; sin embargo, se aprecia una despreocupación en lo relativo a las labores de mantenimiento de las piezas, ya que solo una cuarta parte de los participantes respondieron a esta pregunta. En cuanto a las estrategias encaminadas al control e inhibición de contaminantes intrínsecos secundarios, cabe señalar que pese a que se tiene muy presente la recomendación de separar las obras degradadas de las que se encuentran en buen estado de conservación, la realidad es que más de la mitad de los museos indican que no pueden llevarla a cabo por cuestiones de espacio o curatoriales. Tampoco se realizan de forma habitual controles periódicos de contaminantes gaseosos, solo tres de los quince museos llevan a cabo tareas de este tipo; el motivo más extendido por el que no se realizan dichos controles es la falta de recursos. En cuanto a los criterios de actuación cabe destacar que todos los museos participantes sostienen que toman las decisiones de forma individualizada; en cambio cada uno de ellos se apoya en directrices de procedencias muy diversas que van desde organismos regionales como el Centro de Conservación y Restauración de Bienes Muebles de la Consejería de Educación y Cultura del Gobierno de Extremadura, hasta instituciones de referencia internacional como el INCCA o el IIC.

148 El cartón de calidad archivo utilizado para este fin debe cumplir la norma ISO 11108:1996, la cual certifica que se trata de un cartón libre de lignina, que contiene al menos un 2% de carbonato de cálcico y posee un pH entre 7,5 y 10.

## 4.2. Conclusiones

En el desarrollo de esta tesis doctoral se ha dado respuesta a los objetivos planteados al inicio; comprobando que la metodología aplicada ha sido eficaz para la consecución de los mismos, puesto que de la **revisión bibliográfica** se desprende que el caucho, el nitrato de celulosa, el acetato de celulosa, el PVC, el poliéster y el poliuretano son los plásticos señalados por la literatura como emisores potenciales de compuestos volátiles nocivos; plásticos que junto al PMMA se ha evidenciado que son además los más presentes en las colecciones de arte contemporáneo. Así como que algunos óxidos de azufre, como el dióxido de azufre; óxidos de nitrógeno, como el dióxido de nitrógeno; y ácidos orgánicos e inorgánicos como el ácido acético, el ácido fórmico, el ácido adípico, el ácido nítrico, el ácido nitroso, el ácido clorhídrico, el ácido sulfúrico y el sulfuro de hidrógeno son los contaminantes gaseosos más comúnmente emitidos por los plásticos; siendo preciso señalar que estos compuesto volátiles son especialmente dañinos y se encuentran de modo más habitual en los entornos museísticos en su forma ácida.

En cuanto a la repercusión de estos compuestos volátiles en la estabilidad de otros materiales y la salud las personas, cabe señalar que la literatura afirma que si se respetan los umbrales aconsejados para la preservación a largo plazo de las colecciones patrimoniales, no existe ningún peligro para el personal expuesto; ya que los valores límite de contaminantes fijados para humanos están muy por encima de los aconsejados para la conservación de los Bienes Culturales. Así como que algunos materiales como los polímeros sintéticos, los metales, el vidrio, la cerámica, los tintes, los pigmentos, las pinturas, las piedras y los materiales celulósicos, fotográficos, de carbonato de calcio y proteicos son altamente sensibles a estas emisiones, pudiendo sufrir daños que van desde la oxidación hasta la desintegración.

Del mismo modo, de la revisión bibliográfica se extrae que los sistemas de exposición y almacenaje de las obras realizadas en plásticos emisores influyen directamente en su preservación a largo plazo, ya que el riesgo de acumulación de contaminantes gaseosos cuando las obras se hallan en espacios abiertos es prácticamente nulo; mientras que si se encuentran en el interior de contenedores estancos como vitrinas o cajas de viaje es muy elevado. Así como que dicho riesgo será mayor cuanto menor sea el volumen y la tasa de fuga de aire del contenedor; y mayor sea la temperatura, la humedad relativa y el tiempo que permanece la obra en su interior. Igualmente se desprende que la luz, el oxígeno, la temperatura y la humedad son los principales agentes de deterioro de los plásticos; estos dos últimos, además, influyen de forma directa en su proceso de liberación de compuestos volátiles, ya que a medida que aumentan los grados y el porcentaje de humedad relativa, se produce un

incremento en la tasa y en la velocidad de las emisiones.

Después de revisar y analizar las recomendaciones para la conservación de los plásticos que hacen los investigadores especializados, se puede concluir que las medidas que proponen están encaminadas a eliminar o minimizar el riesgo de alteración o degradación de dos tipos: generales, en las que se sugieren pautas de mantenimiento, identificación, almacenamiento y manipulación, que son de carácter preventivo y se deben llevar a cabo de forma rutinaria; y las específicas cuyo fin es mitigar o inhibir las situaciones de riesgo provocadas por los agentes de degradación extrínsecos, es decir, la iluminación, la temperatura, la humedad, el oxígeno y los contaminantes, y se aplican únicamente cuando se detecta un riesgo derivado de alguno de estos parámetros.

De igual modo, la revisión de los diversos sistemas que existen para la detección y el control de los contaminantes gaseosos derivados de los plásticos en su forma ácida, se ha determinado que las A-D Strips, pese a que presentan algunas limitaciones, son la opción más adecuada, ya que nos permiten obtener datos en tiempo real, de forma económica, objetiva y sencilla.

En otro sentido, las **encuestas** realizadas a los responsables de la conservación de las colecciones contemporáneas ponen en evidencia que la medida que más se aplica es la de ajustar los parámetros ambientales al estado de conservación de la obra, especialmente la iluminación. También se deduce que, aunque la mayor parte de los encuestados asumen que las obras que presentan síntomas de degradación se deben separar de las que se encuentran en buen estado, esta medida no se pone en práctica en la mayoría de los casos por problemas de espacio o cuestiones curatoriales. Tampoco es común que se realicen de forma periódica ni labores de mantenimiento, ni controles de contaminantes gaseosos; en el caso de los últimos se alega la falta de recursos. Por último, en lo relativo a los criterios de actuación, cabe señalar que todos los participantes coinciden en que toman las decisiones de forma individualizada; si bien cada uno de ellos se apoya en directrices provenientes de instituciones muy diversas.

En relación al desarrollo del **ensayo práctico**, en primer lugar, cabe señalar que el método empleado ha sido validado comparando los resultados obtenidos con los de un caso real; mostrándose una gran concordancia entre los valores obtenidos y ninguna discrepancia. Así, los resultados han permitido conocer que en condiciones ambientales de museo<sup>149</sup> se ha demostrado que el acetato de celulosa, el poliéster y el poliuretano son emisores; mientras que no se han detectado emisiones ácidas derivadas del caucho, el PVC y el PMMA. Asimismo, ha permitido clasificar los plásticos emisores en dos tipos: los que

149 60% (+-2) de humedad relativa y 19°C (+-1) de temperatura ambiental

presentan una relación directa entre la tasa de emisión y el envejecimiento, es decir, los que se vuelven más dañinos a medida que se fotooxidan, al que pertenece el poliuretano; y los que la presentan inversa, o lo que es lo mismo, en los que a medida que se fotooxidan disminuye el riesgo de emisión. Además, el análisis comparativo de los resultados obtenidos permite deducir que el poliéster es el plástico que registra las tasas de emisión más altas, y por tanto el que presenta un grado de peligrosidad mayor; seguido del poliuretano y del acetato de celulosa.

Del mismo modo, los resultados obtenidos del ensayo práctico han probado la influencia del tiempo de exposición y el volumen del contenedor en el riesgo de acumulación de volátiles. En el caso del primero, la relación es directa y está influenciada por la tasa de emisión del plástico, es decir, a medida que aumenta el tiempo y la tasa de emisión la concentración es mayor; mientras que en el segundo es inversa, es decir, la concentración desciende de forma progresiva a medida que aumenta el volumen. También se ha constatado que el tiempo medio que tarda en pasar por cada nivel de concentración desde la ausencia hasta la concentración media es de cinco semanas en los contenedores pequeños y medianos<sup>150</sup>; a partir de la concentración media este tiempo baja hasta las dos semanas.

La experiencia obtenida durante su uso en el ensayo práctico, pone en evidencia que el lápiz de referencia proporcionado por el IPI para realizar las lecturas presenta importantes carencias. Con el fin de paliar estas carencias, se ha diseñado un patrón de equivalencias que corrige las deficiencias detectadas; del mismo modo que se ha propuesto utilizar dicho patrón en combinación con un espectrofotómetro para obtener datos más objetivos y precisos, que permitan detectar cambios más sutiles.

En resumen, cabe señalar que, debido a su sencillez, eficacia y objetividad, el diseño del ensayo práctico utilizado es perfectamente aplicable a la propuesta de protocolo.

De la discusión se destila que hay **concordancias** entre los datos obtenidos de la revisión bibliográfica y los resultados del ensayo, en el caso de que la estabilidad y la inocuidad del PMMA, ya que ha día de hoy no hay evidencias de que este material emita ningún tipo de sustancia ácida. También se anotan coincidencias entre la teoría y la práctica en lo relativo a la influencia del tiempo de exposición y del volumen del contenedor en el riesgo de acumulación de compuestos volátiles, debido a que en el ensayo práctico han quedado demostradas las afirmaciones que la literatura hacía sobre que la concentración

---

<sup>150</sup> En los contenedores grandes es ligeramente superior; pero no se ha podido determinar exactamente cuanto tiempo, debido a que el tiempo máximo de exposición de las tiras, en el cual se obtienen resultados fiables con cualquier concentración, es de mes y medio.

ácida se incrementa de forma paulatina a medida que desciende el volumen del contenedor y aumenta el tiempo de exposición; así como que este incremento se produce de forma más rápida cuanto mayor es la tasa de emisión de los plásticos.

Igualmente se detectan **discordancias** entre los resultados de la revisión y los del ensayo, ya que la literatura señala al caucho y al PVC como emisores potenciales de compuestos volátiles ácidos; mientras que en el ensayo práctico no se ha detectado presencia de acidez en el ambiente interior de ninguno de los contenedores que albergaban las muestras de estos dos plásticos. Estas discrepancias, como ya veíamos en la discusión se pueden deber en el caso del caucho, a que las emisiones ácidas derivadas de este plástico se producen en condiciones de humedad relativa alta (Quye y Williamson, 1999), circunstancia que no se ha dado durante el ensayo práctico, en el cual este parámetro ha sido controlado en todo momento; mientras que en el caso del PVC, Tétrault (2019) afirma que no existen evidencias científicas de que este plástico emita ácido clorhídrico en condiciones de museo, siendo probable que las investigaciones que lo señalan como emisor potencial hayan obtenido estos datos de estudios realizados con fines industriales.

Del mismo modo, los datos relativos a la relación entre el grado de envejecimiento del acetato de celulosa y su tasa de emisión parecen no coincidir; ya que la literatura señala que esta es directa, mientras que en los resultados del ensayo práctico se aprecia que es inversa. Sin embargo, la explicación a esta aparente contradicción podría residir en que la investigación referida se centraba en la degradación del acetato de celulosa por hidrólisis; mientras que en la nuestra la humedad relativa se mantuvo controlada y el envejecimiento se realizó mediante una cámara de luz xenón, es decir, por fotooxidación.

Por último, cabe señalar que se han detectado **lagunas** en algunos aspectos claves a la hora de desarrollar estrategias para la conservación de las obras de arte realizadas en plástico como la relación entre la fotooxidación del acetato de celulosa y su tasa de emisión, ya que únicamente se han obtenido datos de su comportamiento ante la hidrólisis. También sería de gran interés conocer a partir de qué porcentajes de humedad relativa el caucho es susceptible de emitir compuestos volátiles ácidos; así como, bajo que condiciones ambientales el PVC emite ácido clorhídrico; debido a que se debe tener en cuenta que los plásticos utilizados en las obras han podido estar en algún momento de su vida útil en condiciones climáticas no controladas. Estas cuestiones, señalan nuevos caminos para continuar con la investigación sobre plásticos emisores.



Página 274 sujeta a confidencialidad  
por la autora

## PARTE V: PROPUESTA DE PROTOCOLO

### 5.1 Introducción

Para la elaboración de la **propuesta de protocolo de conservación de plásticos emisores**, se han tenido en cuenta distintos aspectos analizados en la parte teórica, así como algunos datos extraídos de las encuestas y del estudio empírico.

Los relativos a la problemática específica de los plásticos emisores de contaminantes gaseosos y las necesidades particulares que requiere su conservación han sido analizados en el apartado 2.1 *Los plásticos emisores de contaminantes gaseosos en ambientes museísticos. Definición del problema*; los relativos a los métodos más adecuados para la detección de los compuestos volátiles desprendidos por los plásticos emisores, se destilan del apartado titulado 2.2 *La detección y control de contaminantes gaseosos en ambientes museísticos*; mientras que del apartado 2.3 se han tomado las recomendaciones y pautas para la conservación de los plásticos en las colecciones de Arte Contemporáneo.

Asimismo, el análisis de las respuestas obtenidas mediante las encuestas realizadas a museos e instituciones, ha supuesto una importante ayuda al entender que reflejan con claridad, pese a la baja cifra de respuestas evaluadas, la situación en que se encuentra actualmente el problema que tratamos en esta tesis; y que ponen en evidencia las carencias de protocolos adecuados para este material.

Sin embargo, el mayor interés recae en los resultados obtenidos en el estudio empírico, ya que nos han proporcionado datos imprescindibles, para que la estrategia de conservación de plásticos emisores plasmada en este protocolo, sea eficaz.

Cabe señalar aquí que se ha tenido en cuenta la metodología recogida por el Ministerio de Cultura y Deporte de España en la *Guía para la elaboración e implantación de Planes de Conservación Preventiva* (Ministerio de Cultura y Deporte, 2019).

El protocolo que ahora presentamos trata de cubrir por un lado, las lagunas detectadas; y por otro, de crear una herramienta de fácil aplicación, lo que permitiría generalizar su uso, cumpliendo de este modo uno de nuestros objetivos.

La estructura del protocolo se ha dividido en tres fases:

- Descripción de la obra y su entorno
- Detección y control de los agentes de deterioro
- Reducción e inhibición de los procesos de alteración y degradación

## 5.2 Descripción de la obra y su entorno

Este apartado está destinado a conocer en profundidad tanto la obra, como el entorno en el que se encuentra, ya que sus características determinarán en gran medida las estrategias para su preservación. Por ello, se deben documentar tanto fotográficamente como por escrito todos aquellos aspectos que puedan influir de forma directa en su conservación.

### 5.2.1 Descripción de la obra

En lo relativo a la obra se debe conocer su composición e historia material, así como su forma, dimensiones y estructura.

De su composición material se debe recoger la mayor información posible acerca de los elementos formados por plásticos, así como los de otra naturaleza.

Conviene caracterizar cada tipo de plástico y la fecha de su manufactura, debido a que, como se evidencia en el estudio empírico, el tipo de plástico y su grado de envejecimiento influyen en su tasa de emisión. En concreto, la tasa de emisión del acetato de celulosa y del poliéster desciende a medida que se fotooxidan; en cambio en el caso del poliuretano ocurre justamente lo contrario, se vuelve más peligroso con el tiempo.

También resulta de interés conocer si dicho plástico se realizó ex profeso para la obra o se trata de un elemento reciclado, ya que a efectos de conservación la edad del plástico comienza a contar desde su manufactura, no desde que se convierte en obra de arte; asimismo es importante tener en cuenta que, si se trata de un elemento reciclado, probablemente antes de convertirse en un material patrimonial no ha estado en condiciones ambientales controladas.

En cuanto a los elementos no plásticos, es importante identificar si la obra contiene alguno de los materiales conocidos por su sensibilidad a los compuestos volátiles que liberan los plásticos; es decir, metales, materiales celulósicos, materiales fotográficos, materiales de carbonato de calcio, vidrio, esmaltes, cerámica, materiales proteicos, tintes, pigmentos, pinturas, piedras o polímeros sintéticos.

| PLASTICO EMISOR     | MATERIALES SENSIBLES              |  |
|---------------------|-----------------------------------|--|
| Caucho              | Metales                           | Plata, cobre, oro de baja pureza, aluminio, hierro, acero, aleaciones de bronce, plomo, zinc   |
|                     | Materiales celulósicos            | Papel, lino y algodón  |
|                     | Materiales fotográficos           | Fotografía en blanco y negro, sales de plata, gelatina fotográfica, papeles fotográficos, películas de éster de celulosa y tintes de fotografía a color  |
|                     | Materiales de carbonato de calcio | Creta blanca (tiza) natural, creta precipitada sintética, cal blanca o cal de San Juan, cáscara blanca de caparazones marinos, travertino, mármol, piedra caliza, dolomita, arenisca alcalina, conchas, nácar, coral, cáscara de huevo, caracolas, fósiles ricos en calcio |
|                     | Vidrio                            |  |
|                     | Cerámica                          |  |
|                     | Materiales proteicos              | Cuero, pieles, lana y seda   |
|                     | Tintes                            | Acuarela y textiles  |
|                     | Pigmentos                         | Pigmentos de plomo y cromo, y cardenillo   |
|                     | Pinturas                          |  |
|                     | Polímeros sintéticos              | Nylon y Rayón  |
| Piedras             |                                   |  |
| Nitrato de celulosa | Metales                           | Plata, cobre, oro de baja pureza, aluminio, hierro, acero, aleaciones de bronce, plomo, zinc.  |
|                     | Materiales celulósicos            | Papel, lino y algodón  |
|                     | Materiales de carbonato de calcio | Creta blanca (tiza) natural, creta precipitada sintética, cal blanca o cal de San Juan, cáscara blanca de caparazones marinos, travertino, mármol, piedra caliza, dolomita, arenisca alcalina, conchas, nácar, coral, cáscara de huevo, caracolas, fósiles ricos en calcio |
|                     | Vidrio                            |  |
|                     | Cerámica                          |  |
|                     | Materiales proteicos              | Cuero, seda y lana   |
|                     | Tintes y pigmentos                |  |
|                     | Polímeros sintéticos              | Nylon y rayón  |

Tabla 57: plásticos emisores y materiales potencialmente sensibles a los compuestos volátiles que desprenden

| PLASTICO EMISOR                 | MATERIALES SENSIBLES              |   |
|---------------------------------|-----------------------------------|---|
| Acetato de celulosa y poliéster | Metales                           | Plomo, bronce, cobre, níquel, magnesio y cadmio   |
|                                 | Materiales celulósicos            | Papel y algodón   |
|                                 | Materiales de carbonato de calcio | Creta blanca (tiza) natural, creta precipitada sintética, cal blanca o cal de San Juan, cáscara blanca de caparzones marinos, travertino, mármol, piedra caliza, dolomita, arenisca alcalina, conchas, nácar, coral, cáscara de huevo, caracolas, fósiles ricos en calcio |
|                                 | Vidrio                            |   |
|                                 | Cerámica                          |   |
|                                 | Polímeros sintéticos              | PMMA y Poliestireno   |
|                                 | PVC                               | Metales   |
| Materiales celulósicos          |                                   | Papel   |
| Materiales fotográficos         |                                   | Salas de plata, gelatina, papeles, películas de ésteres de celulosa, tintes de fotografía a color y fotografía en blanco y negro  |
| Cerámica                        |                                   |   |
| Poliuretano                     | Metales                           | Plata, cobre, oro de baja pureza, aluminio, hierro, acero, aleaciones de bronce, plomo, níquel, zinc, magnesio, cadmio y latón.   |
|                                 | Materiales celulósicos            | Papel, lino y algodón   |
|                                 | Materiales de carbonato de calcio | Creta blanca (tiza) natural, creta precipitada sintética, cal blanca o cal de San Juan, cáscara blanca de caparzones marinos, travertino, mármol, piedra caliza, dolomita, arenisca alcalina, conchas, nácar, coral, cáscara de huevo, caracolas, fósiles ricos en calcio |
|                                 | Vidrio                            |   |
|                                 | Cerámica                          |   |
|                                 | Materiales proteicos              | Cuero, seda y lana  |
|                                 | Tintes y pigmentos                |   |
|                                 | Polímeros sintéticos              | Nylon, rayón, PMMA y poliestireno   |

Tabla 57: plásticos emisores y materiales potencialmente sensibles a los compuestos volátiles que desprenden

Hemos visto como la forma y dimensión del material plástico influyen directamente en su tasa de emisión, ya que ésta será más elevada cuanto mayor sea el área de emisión, por tanto es esencial determinar con la mayor precisión posible (en cm<sup>2</sup>) la superficie expuesta de cada uno de los elementos realizados en algún plástico emisor.

### 5.2.2 Descripción del lugar de exposición y/o almacenamiento:

Respecto al lugar de exposición y/o almacenaje es de suma importancia conocer si la obra se encuentra en un espacio abierto, o si por el contrario está en un espacio cerrado de dimensiones limitadas; ya que por lo general, el riesgo de concentración de sustancias volátiles contaminantes en espacios de amplias dimensiones no es de relevancia. Sin embargo, como veíamos en el apartado 2.1 *Los plásticos emisores de contaminantes gaseosos en ambientes museísticos. Definición del problema*, cuando se encuentra en un espacio confinado, como puede ser una vitrina o un embalaje, estas emisiones pueden acumularse convirtiéndose en una amenaza para su preservación.

En este sentido, cabe señalar que también existen diferencias entre los espacios cerrados en función de sus características. Los aspectos a tener en cuenta son el volumen del contenedor, la tasa de fuga de aire y con qué materiales está realizado, ya que el riesgo de acumulación de contaminantes gaseosos en un contenedor estanco será mayor cuanto menor sea el volumen y la tasa de fuga de aire del contenedor. Asimismo, se debe tener presente que los materiales con los que está contruido el contenedor pueden ser el origen de las emisiones de compuestos volátiles nocivos; los más conocidos por su alta emisividad son la madera y sus derivados (tableros laminados, contrachapados, aglomerados o de partículas (DM), con adhesivos o recubrimientos de melamina-formaldehído (MF), melamina-urea-formaldehído (MUF), urea-formaldehído/urea-metanal (UF) fenol- formaldehído (PF), poliuretano (PU), resorcina fenol formol (RFF), etc.), selladores de silicona, plásticos, tejidos celulósicos o proteicos (especialmente aquellos que poseen un pH inferior a 7, papel (principalmente los fabricados con pasta mecánica, pH inferior a 6), pinturas, barnices y adhesivos (Herráez et al., 2018).

De igual modo, se debe controlar el tiempo de confinamiento de la obra dentro de su contenedor, puesto que cuando aumenta el tiempo de exposición, se incrementa la concentración de contaminantes. El mismo control se debe efectuar sobre las condiciones ambientales, ya que la humedad relativa y la temperatura son otros de los factores que influyen de forma determinante, al producirse un incremento en la tasa de emisión y en la velocidad a la que se liberan los volátiles a medida que aumentan sus valores.

### 5.3 Detección y control de los umbrales de riesgo de los agentes de deterioro de los plásticos emisores

Como se desprende de la revisión realizada en el apartado 2.1 *Los plásticos emisores de contaminantes gaseosos en ambientes museísticos. Definición del problema*, los principales agentes de deterioro son la luz, la temperatura, la humedad relativa, el oxígeno y los contaminantes intrínsecos secundarios. Por lo que resulta imprescindible conocer cuales son los niveles máximos y mínimos establecidos para estos parámetros ambientales.

A continuación, se van a detallar los límites seguros para estos parámetros ambientales

#### 5.3.1 Agentes de deterioro extrínsecos: temperatura, humedad relativa, iluminación y oxígeno

En lo relativo a la **temperatura** y la **humedad relativa**, como ya señalábamos en el apartado 2.3 *Situación actual; recomendaciones y pautas para la conservación de los plásticos en las colecciones de Arte Contemporáneo*, los rangos específicamente recomendados para la correcta preservación de algunos plásticos emisores<sup>151</sup> son irreales, ya que debido a las grandes diferencias que presentan con los que se mantienen de forma habitual en las salas de exposiciones<sup>152</sup>, la única forma de implementarlos con seguridad sería mantener las obras en contenedores microclimáticos de forma permanente. Por ello, a la espera de que la investigación en esta materia siga avanzando, en este protocolo vamos a tomar como referencia los rangos propuestos para los plásticos en general, por ser más viable su implementación; así se estima que los niveles de temperatura más adecuados están comprendidos entre los **17-20°C**<sup>153</sup>, mientras que los porcentajes de humedad relativa óptimos serán los que se encuentren entre el **45 y el 50%**<sup>154</sup>. Además de mantenerse entre

151 2-5°C para el nitrato y el acetato de celulosa y 5°C para el PVC 35-45% para el caucho; 20-30% para el nitrato de celulosa, el acetato de celulosa y el poliuretano; 20-45% para el PVC

152 Una temperatura de 18°C +-2 y un porcentaje de humedad relativa entre el 45 y el 60%

153 Pese a que Coughlin (2018) sugería que la temperatura máxima puede llegar hasta los 25°C, teniendo en cuenta que un incremento en la temperatura ambiental de 5°C puede duplicar la tasa de degradación de los plásticos, se ha considerado más adecuado optar por las propuestas de Shashoua (2014) y The Plastic Historical Society (2015) que determinan que la temperatura máxima no debe superar los 20°C.

154 Por debajo del 40% los plásticos plastificados con agua como la casina formaldehído

estos rangos, no hay que olvidar que estos parámetros tienen que permanecer lo más estables posibles, ya que su fluctuación también puede provocar daños.

En cuanto a la **iluminación**, teniendo en cuenta que la luz es uno de los principales factores degradantes de los plásticos emisores, en este protocolo se ha optado por seguir la recomendación más restrictiva, es decir, no superar los **50 lux**<sup>155</sup>. Asimismo, sabiendo que el daño es acumulativo, se establece un límite anual de lux-hora/año para asegurarnos la correcta preservación de este tipo de obras, en concreto, **180.000 lux-hora/año**<sup>156</sup>. Del mismo modo, conviene asegurarse de que las fuentes de luz utilizadas no contengan radiación ultravioleta.

En el caso de que dichos parámetros ambientales no se encuentren dentro de los niveles recomendados, se debe pasar a la siguiente fase y adoptar las medidas pertinentes para la inhibición o reducción de sus efectos.

Por último cabe señalar que si bien no se han encontrado investigaciones que determinen qué niveles de **oxígeno** son los más adecuados para la correcta preservación de este tipo de obras; de la revisión bibliográfica se desprende que la degradación de las obras se retrasa considerablemente en ausencia de oxígeno. Pese a esto, si tenemos en cuenta que el oxígeno comprende el 21% de la atmósfera, se entiende que la preservación de los ítems de plástico en anoxia de forma permanente no es sostenible, y que únicamente se tomarán medidas para eliminar el oxígeno ambiente en situaciones de alto riesgo en las que la perdurabilidad de la obra dependa de ello.

---

pueden deshidratarse y agrietarse; mientras que por encima del 50% los plásticos susceptibles a la humedad como el acetato y el nitrato de celulosa pueden hidrolizarse.

155 En lo relativo a la iluminancia se detectan discrepancias entre los distintos autores, situando los niveles de iluminación recomendados entre los 50 y los 150 lux; si bien, teniendo en cuenta que este agente físico es uno de los principales agentes de degradación de este tipo de plásticos y que el daño que produce es acumulativo, en esta propuesta de protocolo se ha optado por el nivel de iluminación más restrictivo. Para el cálculo del número máximo de lux/hora de exposición al año, se han tomado como referencia que la iluminancia debe ser de 50 lux. Se calcula multiplicando las horas de exposición anuales, que como hemos visto en la tercera parte teórica son 360 horas, por el número máximo de lux recomendado, es decir, 50.

156 Para el cálculo del número máximo de lux/hora de exposición al año, se han tomado como referencia que la iluminancia debe ser de 50 lux. Se calcula multiplicando las horas de exposición anuales, que como hemos visto en la tercera parte teórica son 360 horas, por el número máximo de lux recomendado, es decir, 50.

### 5.3.2 Agentes de deterioro intrínsecos: contaminantes intrínsecos secundarios

Para la detección y el control de los contaminantes intrínsecos secundarios vamos a utilizar dos métodos complementarios: la inspección visual y el muestreo de compuestos volátiles ácidos.

#### 5.3.2.1 Detección y control visual de signos de degradación en plásticos y materiales sensibles

Mediante la inspección visual podemos detectar y controlar si los propios plásticos y/o los materiales sensibles a sus emisiones muestran alguno de los síntomas característicos de su acción.

Dichos síntomas son el oscurecimiento, el amarilleamiento, la decoloración, la pérdida de brillo, la pérdida de transparencia, las deformaciones, las eflorescencias, las exudaciones, el aumento de la porosidad, el aumento de la rigidez, la aparición de craquelados, la fragilidad, las fisuras, los agrietamientos, las roturas, la pulverulencia y la desintegración, en el caso de los propios plásticos emisores.

Deslustre y corrosión en los metales (plata, cobre, oro baja pureza, aluminio, hierro, acero, aleaciones bronce, plomo, níquel, zinc, magnesio, cadmio y latón); disminución de la resistencia de las fibras, friabilidad y desintegración en los papeles; pérdida de resistencia, tinción de fibras y desintegración en el lino y el algodón; eflorescencias en las cerámicas y en los materiales de carbonato de calcio; y decoloración y erosión superficial en las pinturas y piedras. Del mismo modo, la acción de dichas emisiones puede provocar en los materiales fotográficos el oscurecimiento de las sales de plata, la descomposición de la gelatina, el empalidecimiento de los tintes de las fotografías a color, y reflejos plateados y *foxing* en las fotografías en blanco y negro; mientras que en los vidrios causan pérdida de brillo, craquelados y exudaciones; en la lana y la seda pérdida de resistencia; y en el cuero y las pieles la denominada *red rot*<sup>157</sup>.

---

157 Sustancia pulverulenta roja que se forma en la superficie de las pieles y cueros curtidos mediante sistema vegetal cuando se exponen a ácidos.

| MATERIAL SENSIBLE       |  | DAÑO  | PLÁSTICO EMISOR   |  |
|-------------------------|--|---|---|--|
| METALES                 | Plata, cobre, oro de baja pureza, aluminio, hierro, acero, aleaciones de bronce, plomo, y zinc.          | Deslustre y corrosión                       | Caucho<br>Nitrato de celulosa   |  |
|                         | Plomo, bronce, cobre, zinc, hierro, níquel, magnesio, cadmio, latón y acero                              |   | Acetato de celulosa<br>Poliéster  |  |
|                         | Cobre, aluminio, hierro y zinc   |   | PVC   |  |
|                         | Plata, cobre, oro de baja pureza, aluminio, hierro, acero, plomo, níquel, zinc, magnesio, cadmio y latón |   | Poliuretano   |  |
| MATERIALES CELULÓSICOS  | Papel  | Disminución de la resistencia y friabilidad | Caucho<br>Nitrato de celulosa<br>Acetato de celulosa<br>Poliéster<br>PVC<br>Poliuretano |  |
|                         | Lino   |   | Pérdida de resistencia, tinción de fibras y desintegración                              | Caucho<br>Nitrato de celulosa<br>Poliuretano                                     |
|                         | Algodón  |   |   | Caucho<br>Nitrato de celulosa<br>Acetato de celulosa<br>Poliéster<br>Poliuretano |
| MATERIALES FOTOGRÁFICOS | Sales de plata (fotografía)  | Oscurecimiento                              | Caucho  |  |
|                         | Gelatina (fotografía)  | Descomposición                              |   |  |
|                         | Papeles fotográficos   | Debilitamiento                              |   |  |
|                         | Películas fotográficas de ésteres de celulosa  | Aceleración de los procesos de degradación  |   |  |
|                         | Tintes de fotografía a color   | Empaldecimiento                             |   |  |
|                         | Fotografía en blanco y negro   | Reflejos plateados<br><i>Foxing</i>         |   |  |
|                         | Tipo sin concretar   | Efectos no detallados                       | PVC   |  |

Tabla 58: Signos de degradación más habituales provocados por la acción de los contaminantes gaseosos emitidos por los plásticos.

| MATERIAL SENSIBLE                 |  | DAÑO   | PLÁSTICO EMISOR   |
|-----------------------------------|--|--|---|
| MATERIALES DE CARBONATO DE CALCIO | Creta blanca (tiza) natural, creta precipitada sintética, cal blanca o cal de San Juan, cáscara blanca de caparazones marinos, travertino, mármol, piedra caliza, dolomita, arenisca alcalina, conchas, nácar, coral, cáscara de huevo, caracolas, fósiles ricos en calcio | Eflorescencias   | Caucho<br>Nitrato de celulosa<br>Acetato de celulosa<br>Poliéster<br>Poliuretano        |
| VIDRIO                            | Tipos sin concretar  | Pérdida de transparencia, pérdida de brillo, exudaciones y craquelados | Caucho<br>Nitrato de celulosa<br>Acetato de celulosa<br>Poliéster<br>Poliuretano        |
| CERÁMICA                          | En general, aunque son especialmente sensibles las de baja temperatura y las de alta porosidad   | Eflorescencias   | Caucho<br>Nitrato de celulosa<br>Acetato de celulosa<br>Poliéster<br>PVC<br>Poliuretano |
| MATERIALES PROTEICOS              | Cuero y pieles   | Craquelados<br>Pulverulencia<br><i>Red rot</i>                         | Caucho<br>Nitrato de celulosa<br>Poliuretano  |
|                                   | Lana y seda  | Pérdida de resistencia   |   |
| TINTES                            | Acuarelas y textiles   | Desvanecimiento  | Caucho  |
|                                   | Tipo sin determinar  | Daño sin concretar   | Nitrato de celulosa y poliuretano   |
| PIGMENTOS                         | Pigmentos de plomo y de cromo, y cardenillo  | Oscurecimiento   | Caucho  |
|                                   | Tipo sin determinar  | Daño sin concretar   | Nitrato de celulosa y poliuretano   |
| PINTURAS                          | Tipo sin determinar  | Decoloración y erosión superficial                                     | Caucho  |
| PIEDRAS                           | Tipo sin determinar  | Decoloración<br>Erosión superficial                                    | Caucho  |
| POLÍMEROS SINTÉTICOS              | Nylon<br>Rayón   | Daño sin concretar   | Caucho<br>Nitrato de celulosa<br>Poliuretano  |
|                                   | PMMA<br>Poliestireno   | Daño sin concretar   | Acetato de celulosa<br>Poliéster<br>Poliuretano   |

Tabla 58: Signos de degradación más habituales provocados por la acción de los contaminantes gaseosos emitidos por los plásticos.

### 5.3.2.2 Muestreo de compuestos volátiles ácidos con A-D Strips

Para el muestreo de compuestos volátiles ácidos con A-D Strips se debe tener en cuenta que para asegurarnos la obtención de datos fiables, las tiras tienen que estar suspendidas junto a la obra pero sin llegar a tocarla, por ejemplo sujetas con un hilo de nylon<sup>158</sup>; y las mediciones se deben realizar a oscuras o con bajos niveles de iluminación; a una temperatura entre 15 y 20°C; y con una humedad relativa superior al 30%. Asimismo, para poder comparar las mediciones obtenidas entre sí, es imprescindible mantener siempre los mismos parámetros ambientales, especialmente los dos últimos, ya que como se ha demostrado a lo largo de esta investigación la temperatura y la humedad relativa repercuten directamente en la tasa de emisión de los plásticos. Del mismo modo, es esencial tener en cuenta el volumen del contenedor y el tiempo de exposición, debido a que como se demuestra en el ensayo práctico influyen directamente en los niveles de concentración ácida.

También es importante manipular las A-D Strips siempre con guantes o pinzas con el fin de no contaminarlas, y que la tira no entre en ningún momento en contacto directo con la obra, ya que podría mancharla.

Las lecturas se realizarán con un espectrofotómetro y los datos se interpretarán con ayuda del patrón de equivalencias. En el caso de que no se disponga de espectrofotómetro, las lecturas se pueden efectuar directamente comparando el color resultante de la A-D Strip con el patrón de equivalencias; si bien, en este supuesto los resultados no serán tan precisos. Las medidas colorimétricas se expresarán en coordenadas CIELAB ( $L^* a^* b^*$ ); trabajando en un diámetro de área de medida de 3 mm, con un iluminante patrón CIE D65 y un observador patrón CIE1976 10°. Mientras que la interpretación se llevará a cabo teniendo en cuenta que los valores de  $b$  entre -100 y -35 corresponden con la ausencia de acidez, los valores entorno a -15 con una concentración ácida baja, entorno a 5 con una media-baja, entorno a 25 con una media, entorno a 45 con una media-alta, entorno a 65 con una alta y los superiores a 85 con una muy alta. Asimismo, se debe tener presente que de la concentración ácida media en adelante el riesgo tanto para la propia obra como para las que se encuentran en sus inmediaciones comienza a ser significativo, y que cuando la concentración alcanza niveles muy altos puede suponer además un peligro para el personal que manipula las obras.

En este protocolo se van a tener en cuenta cinco tipos de muestreos, los cuales se pueden clasificar en dos grandes bloques: detección, que engloba el

---

158 Tipo de hilo que se viene utilizando a lo largo de la historia en otro tipo de muestreos de contaminantes, como el internacionalmente conocido Oddy Test desarrollado por el British Museum, con buenos resultados.

muestreo inicial y el de verificación; y control, al que pertenece el muestreo de seguimiento, el periódico y la monitorización temporal.

El **muestreo inicial** tiene como objetivo detectar si existe o no presencia de compuestos volátiles ácidos en el ambiente interior del contenedor en el que está expuesta o almacenada la obra.

Para ello se introduce una A-D Strip en su interior durante 24 horas; tras este periodo de exposición se realiza la lectura.

El **muestreo de verificación** tiene como propósito determinar si las emisiones detectadas en el muestreo inicial provienen de la obra o de los materiales con los que está realizado el contenedor.

Para ello, se extrae la obra del contenedor en el que se encontraba, se aísla en uno nuevo de polietileno o vidrio<sup>159</sup>, y se introduce una A-D Strip en el interior del mismo. En este caso, lo que varía es que el tiempo de exposición es superior, la lectura se realizará tras una semana<sup>160</sup>.

Asimismo, para asegurarnos de que la configuración del ensayo es adecuada, es imprescindible introducir una o dos tiras<sup>161</sup> de control en el interior de un contenedor vacío igual que en el que se ha metido la obra; y colocar otra en el exterior, junto a los contenedores con el fin de verificar que el ambiente exterior no se encuentre contaminado.

El **muestreo de seguimiento** se realiza a obras que ya han sido muestreadas previamente dando negativo, con el fin de comprobar si su estado de conservación sigue siendo el mismo, o por el contrario ha variado.

Los pasos para llevar a cabo este tipo de muestreo son los mismo que los del muestreo inicial.

El **muestreo periódico** está indicado para hacer un seguimiento de la concentración ácida del ambiente interior de los contenedores cerrados en los que se exhiben las obras realizadas en plásticos emisores, como por ejemplo vitrinas; con el objetivo de verificar que dicho ambiente no supone un riesgo para la correcta conservación de la obra.

---

159 El polietileno y el vidrio son los materiales que se ha comprobado que no interfieren en el análisis de volátiles.

160 Una semana es el tiempo mínimo de exposición para obtener resultados fiables cuando se introduce una obra en un contenedor limpio con el fin de testar si emite o no contaminantes (NPS 2011; Hackney, 2016)

161 Una tira de control en el caso de que el contenedor sea de vidrio y dos en caso de que este sea de polietileno

En este caso las mediciones se realizarán una vez por semana, aprovechando el día de cierre del museo, durante el tiempo que dure la exposición; suspendiendo una A-D Strip en el interior del contenedor, y realizando su lectura tras 24h de exposición.

La **monitorización temporal** tiene como propósito controlar el ambiente interior de los contenedores cerrados en los que se almacenan las obras, con el fin de vigilar que no existe una acumulación de compuestos volátiles nocivos que pueda poner en riesgo la obra que contiene.

La monitorización tiene una duración máxima de mes y medio<sup>162</sup>, y las lecturas se realizan semanalmente. Para llevarla a cabo, se introduce una A-D Strip en el interior del contenedor en el que está almacenada la obra y tras 24 horas de exposición se procede a efectuar la primera lectura, y se vuelve a introducir inmediatamente la tira en el contenedor. Las lecturas siguientes se realizarán semanalmente hasta alcanzar el mes y medio. Cabe destacar que es muy importante realizar las lecturas lo más rápido posible con el fin de que la tira permanezca el menor tiempo fuera del contenedor, a fin de que no se produzca una pérdida de información.

Tras 24 horas, se realiza la primera lectura y se vuelve a introducir la tira inmediatamente en el contenedor.

### 5.3.2.3 Interpretación de los resultados obtenidos mediante la inspección visual y el muestreo con A-D Strips

Para la interpretación de los datos obtenidos, se deben tener en cuenta los resultados extraídos del ensayo práctico en los que se determina que el tiempo medio que tarda en pasar de la ausencia de concentración a la concentración ácida baja, de la concentración baja a la media-baja, y de la media-baja a la media en los contenedores que simulan las condiciones de obras que se encuentran embaladas o en el interior de una vitrina individual<sup>163</sup> es de cinco semanas, y que a partir de la concentración media (nivel 3 del patrón de equivalencias), se reduce a dos semanas; en cambio en los contenedores que

---

162 Mes y medio es el tiempo máximo en el que se consiguen resultados fiables (Image Permanence Institute, 2016).

163 La proporción entre el cubaje de la probeta y del contenedor que simula condiciones de embalaje es de 8 cm<sup>3</sup> (probeta) y 90 cm<sup>3</sup> (contenedor); mientras que en el caso de la vitrina individual es del 8cm<sup>3</sup> (obra) y 320 cm<sup>3</sup> (contenedor).

imitan las condiciones de vitrinas compartidas<sup>164</sup> es ligeramente superior<sup>165</sup>.

Así como las interpretaciones publicadas en el manual de uso de las A-D Strips que proporciona el IPI, en las advierte de que las emisiones pueden llegar a suponer un peligro significativo para los materiales patrimoniales a partir de la concentración media (nivel 3 del patrón de equivalencias); mientras que para llegar a afectar al personal expuesto se debería alcanzar una concentración muy alta (nivel 6 en el patrón de equivalencias).

### Muestreo inicial

Si la obra no presenta signos de deterioro y la A-D Strip no detecta presencia de volátiles ácidos, se realizará una inspección visual y un muestreo de seguimiento transcurridos tres meses con el fin de comprobar si las condiciones de la obra son las mismas o han sufrido alguna variación.

Si se presentara algún signo de deterioro, pero no se detecte la presencia de contaminantes ácidos en el ambiente; se deberá, realizar un seguimiento semanal de la evolución de dichos síntomas mediante inspección visual. En el caso de que se detecten cambios, se debe realizar de inmediato un muestreo periódico cuando la obra se encuentre en exposición, o una monitorización temporal si está almacenada; si no se observan variaciones se realizará una inspección visual y un muestreo de seguimiento en tres meses.

Si se detecta presencia de compuestos volátiles ácidos, el procedimiento a seguir variará en función de las características de la obra; si existe la posibilidad de sacarla del contenedor en el que se encuentra e introducirla en uno nuevo de polietileno o vidrio, se debe realizar un muestreo de verificación; en caso contrario, si las tiras detectan una concentración entre baja y media-baja, se pasará automáticamente a realizar un muestreo periódico o una monitorización temporal en función de si la obra se encuentra en exposición o almacenada. Si la concentración ácida es media o superior se deben tomar medidas para la inhibición o reducción de contaminantes intrínsecos secundarios.

---

164 La proporción entre el cubicaje de la probeta y del contenedor que simula las condiciones en una vitrina compartida son de 8 cm<sup>3</sup> (obra) y 1000 cm<sup>3</sup> (contenedor).

165 No se ha podido determinar con exactitud cuanto aumenta el tiempo de cambio entre concentraciones en el caso del contenedor grande, ya que para obtener este dato las mediciones deberían prolongarse en el tiempo más de un mes y medio; y como ya señalábamos en el punto dedicado a las ventajas, limitaciones y recomendaciones de las A-D Strips, mes y medio es el tiempo máximo en el que se consiguen resultados fiables.

### **Muestreo de verificación**

Si tras realizar el muestreo de verificación a una obra que no había presentado síntomas de deterioro en la inspección visual, no se detecta presencia de compuestos volátiles ácidos, se asume que la fuente emisora de acidez es el contenedor, y por tanto el procedimiento a seguir pasa por sustituir el contenedor por uno que cumpla las recomendaciones de almacenaje para plásticos potencialmente emisores y realizar un muestreo de seguimiento transcurridos tres meses. Si después de este muestreo no se detecta presencia de acidez pero en la obra se observan signos de degradación que puedan haber sido originados por alguno de los contaminantes gaseosos que emiten comúnmente los plásticos emisores, se debe al igual que en el caso anterior cambiar el contenedor al entender que es la fuente de las emisiones y realizar un seguimiento de los signos de deterioro semanalmente durante al menos un mes; de no aparecer cambios se realizará una inspección visual y un muestreo de seguimiento a los tres meses; mientras que si se detectan cambios se debe pasar de inmediato al muestreo periódico o monitorización temporal.

Cuando se detecte presencia de acidez en el ambiente interior del contenedor, si la concentración es entre baja y media-baja se debe controlar la concentración mediante un muestreo periódico o una monitorización temporal; en el caso de que la concentración sea media o superior se deben tomar las medidas encaminadas a la inhibición o la reducción de los contaminantes intrínsecos secundarios.

### **Muestreo de seguimiento**

Si las condiciones de conservación de la obra no han variado, es decir, no presenta signos de deterioro nuevos y no se detecta presencia alguna de compuestos volátiles ácidos; se volverá a realizar una inspección visual y un muestreo de seguimiento a los tres meses.

Si presenta nuevos signos de deterioro, pero sigue sin percibirse presencia de volátiles ácidos, se deberá realizar un seguimiento semanal de la evolución de dichos síntomas mediante inspección visual. Si se detectan cambios progresivos, se debe realizar de inmediato un muestreo periódico cuando la obra se encuentre en exposición; o una monitorización temporal si está almacenada; si por el contrario no se perciben cambios durante las inspecciones semanales, se volverá a realizar un muestreo de seguimiento junto a una inspección visual de nuevo en tres meses.

Si se detecta concentración ácida, los pasos a seguir variarán en función del nivel de concentración ácida detectado; si es media-baja o inferior se debe pasar al muestreo periódico o a la monitorización temporal, en función de si la obra se encuentra en exhibición o en almacenaje. Cuando la concentración ácida sea media o superior, debemos pasar a la siguiente fase, y llevar a cabo las medidas oportunas encaminadas a la reducción o inhibición de los procesos de alteración y degradación ocasionados por los contaminantes intrínsecos secundarios derivados de los plásticos emisores.

### Muestreo periódico

En el caso del muestreo periódico, siempre y cuando no se alcance la concentración ácida media y no se detecte la presencia de signos de deterioro compatibles con la acción de los contaminantes intrínsecos secundarios, se seguirán llevando a cabo los muestreos de forma rutinaria, es decir, una vez por semana. Si la concentración ácida registrada es entre nula y media-baja y se perciben signos de deterioro compatibles, se debe comprobar la evolución de dichos signos diariamente mediante inspección visual; si no se detectan cambios, se seguirá efectuando el muestreo semanal, pero en este caso acompañado de una inspección visual.

Cuando no se detecte ningún tipo de sustancia volátil ácida, pero se perciban cambios en los signos de deterioro, se procederá a realizar un estudio individualizado en profundidad de la problemática concreta de dicha obra y su entorno, ya que como hemos visto en apartado 2.1 existe la posibilidad de que algunos materiales sufran daños a concentraciones inferiores de las que son capaces de detectar las A-D Strips<sup>166</sup>.

Cuando la concentración ácida detectada sea media o superior se debe pasar a la siguiente fase y adoptar las medidas encaminadas a inhibir o reducir la acción provocada por los contaminantes intrínsecos secundarios.

---

166 Las A-D Strips son capaces de detectar partes por millón, pero como veíamos en el apartado 2.1, algunos materiales como por ejemplo los metales se pueden ver afectados por alguno de los compuestos volátiles desprendidos por los plásticos emisores en concentraciones inferiores, partes por billón.

### Monitorización temporal

La interpretación de los resultados de la monitorización temporal la vamos a dividir en dos bloques: los resultados de las lecturas intermedias y el resultado final, es decir, el obtenido tras mes y medio de exposición.

En el caso de las lecturas intermedias, se debe proceder de la misma forma que en el muestreo periódico, es decir, si se detecta una concentración media-baja o inferior y no se perciben signos de deterioro compatibles, se continúa de forma normal con el muestreo; si por el contrario se observan signos de deterioro compatibles, se debe comprobar su evolución diariamente mediante inspección visual. Si no se aprecian cambios, se seguirá realizando el muestreo semanal de forma normal junto a inspecciones visuales; sin embargo, si se detecta un empeoramiento de dichos signos, se debe efectuar un estudio individualizado de la obra y su entorno para determinar las causas; mientras que si la concentración ácida detectada es media o superior se debe pasar a la siguiente fase y adoptar las medidas de inhibición y reducción de contaminantes intrínsecos secundarios más adecuadas, indistintamente de si se observan signos de deterioro compatibles o no.

Mientras que en la interpretación del resultado final se debe tener en cuenta que en el caso de que las A-D Strips no detecten la presencia de volátiles ácidos y no se observen alteraciones compatibles o las que se aprecian no han variado, se llevará a cabo una inspección visual y un muestreo de seguimiento en tres meses. En el supuesto de que se detecte un agravamiento de los signos de deterioro observados, lo aconsejable es realizar, al igual que en el del muestreo de seguimiento, un estudio individualizado para conocer las causas y el origen. Cuando se registre presencia de volátiles ácidos, los pasos a seguir serán diferentes en función de la concentración hallada; si esta es baja, se deberá efectuar una inspección visual y un muestreo de seguimiento en dos meses; si es media-baja se procederá del mismo modo pero en este caso en un periodo de tiempo menor, un mes; mientras que si es media o superior, se debe pasar a la siguiente fase y adoptar las medidas encaminadas a inhibir o reducir la acción provocada por los contaminantes intrínsecos secundarios.

### **5.4 Inhibición y reducción de los procesos de alteración y degradación de los plásticos emisores**

A continuación se van a describir una serie de medidas encaminadas a eliminar o minimizar el riesgo de alteración o degradación de los plásticos emisores.

#### 5.4.1 Mantenimiento, identificación, almacenamiento y manipulación

Para la correcta conservación de las obras realizadas en plástico es muy importante tener en cuenta una serie de medidas preventivas que alargarán su vida útil.

Se recomienda limpiar tanto el polvo como la suciedad superficial regularmente<sup>167</sup> mediante aspiración con ayuda de una brocha<sup>168</sup> o con un tejido suave<sup>169</sup> que atrape el polvo. De forma excepcional se puede utilizar humedad, siempre y cuando esta acción se realice en el menor tiempo posible y acto seguido se seque la superficie con un paño seco, nunca con un secador u otro aparato que desprenda aire caliente; igualmente se desaconsejan en todo momento la utilización del resto de agentes de limpieza.

Para la identificación de las obras de este tipo se sugiere escribir los números de inventario con lápiz en cartones libres de ácidos que se depositarán junto a la obra; no siendo aceptable en ningún caso el uso de etiquetas autoadhesivas.

Asimismo, conviene especificar medidas concretas para la obras hinchables como que se deben almacenar siempre infladas y que el aire se debe insuflar siempre mediante elementos mecánicos, nunca con la boca.

Por último, para la manipulación de los plásticos se recomienda utilizar guantes de nitrilo en todo momento<sup>170</sup>

#### 5.4.2 Luz

Como señalábamos anteriormente la luz en todas sus formas es uno de los principales factores degradantes de los plásticos emisores, por lo que conviene que las obras realizadas en este tipo de plásticos estén expuestas el menor

---

167 Siempre que el estado de conservación de la obra lo permita; por ejemplo, no se debe hacer limpieza en obras cuya superficie esté mordiente.

168 Se recomienda una brocha de pluma de marabú debido a que no produce arañazos en la superficie

169 Los más recomendados son la gamuza de piel natural, la gamuza de microfibra o el paño de microfibra (Lavédrine, Fournier y Martin, 2012).

170 Pese a que como se describe en el apartado 2.3 no existe unanimidad respecto al material de los guantes más adecuado, en esta propuesta de protocolo se ha considerado que los guantes de nitrilo son más adecuados debido a que no permiten la absorción de los plastificantes que pueden estar presentes en la superficie de los plásticos.

tiempo posible a este agente de deterioro; para ello se aconseja excluirla de las zonas de almacenamiento y limitarla durante la exhibición, iluminando las salas únicamente cuando haya público.

Igualmente, se debe iluminar siempre con fuentes lumínicas libres de radiación UV<sup>171</sup>, con una iluminancia de 50 lux o inferior y no superando nunca los 180.000 lux-hora/año, como ya mencionábamos en el punto 5.3.1 *Agentes de deterioro extrínsecos: temperatura, humedad relativa, iluminación y oxígeno*.

#### 5.4.3 Temperatura y humedad relativa

En lo relativo a la temperatura y a la humedad relativa, como señalábamos anteriormente, lo más importante para evitar los daños que pueden causar estas dos magnitudes físicas es mantenerse sus niveles entre los 17-20°C y el 45-50%, respectivamente; así como evitar fluctuaciones. Para ello es imprescindible que las obras se encuentren tanto en almacenaje como en exhibición en espacios con control climático.

Del mismo modo, en casos concretos<sup>172</sup>, cuando tengamos constancia de que la obra vaya a permanecer en los almacenes un largo periodo de tiempo se puede recurrir al almacenaje el frío para reducir los índices de degradación química de este tipo de plásticos.

#### 5.4.4 Oxígeno

Para evitar los daños producidos por el oxígeno ambiental, se pueden exhibir o almacenar las obras en anoxia. Como veíamos en el apartado 2.3, los dos métodos más utilizados para este fin son las atmósferas de nitrógeno y los absorbentes de oxígeno. Si bien, estas medidas se tomarán únicamente en casos puntuales; ya que las atmósferas de nitrógeno, pese a dar buenos resultados limitan notablemente el acceso a la obra y requieren muchos recursos; y los absorbentes de oxígeno están solamente recomendados en el caso de que el plástico ya haya perdido todo su plastificante.

---

171 Tanto en la iluminación directa, como en la indirecta; ya que como hemos visto en la el apartado 2.3 la dispersión de los rayos luminosos no hace que la energía de la radiación disminuya.

172 Para que el almacenaje en frío sea seguro, los elementos plásticos deben tener menos de un centímetro de espesor, no pueden estar ensamblados con otro tipo de materiales y no pueden presentar procesos de degradación activos.

#### 5.4.5 Contaminantes intrínsecos secundarios

En cuanto a los contaminantes intrínsecos secundarios, existen dos medidas encaminadas a inhibir su acción: no almacenar ni exhibir las obras en contenedores cerrados, dado que propician el incremento de la contaminación gaseosa; y separar las obras que presentan signos de deterioro de las que se encuentran en buen estado de conservación con el fin de que las primeras no afecten a la estabilidad de las segundas.

Por otro lado, existen diferentes opciones para minimizar la acción de dichos contaminantes.

La primera consiste en airear los espacios en los que se albergan las obras potencialmente emisoras con el fin de reducir la concentración de compuestos volátiles nocivos del aire; este sistema está indicado para para todos los plásticos emisores, excepto el PVC, ya que en este plástico puede provocar la pérdida de plastificantes.

La segunda consiste en utilizar cartón de calidad archivo<sup>173</sup> para realizar los embalajes de las obras, ya que como veíamos en la tercera parte teórica, este material es capaz absorber los compuestos volátiles nocivos desprendidos por los plásticos emisores sin entrañar ningún riesgo para su estabilidad; el único aspecto que se debe tener en cuenta es que dichos embalajes se deben cambiar anualmente.

---

173 El cartón de calidad archivo utilizado para este fin debe cumplir la norma ISO 11108:1996, la cual certifica que se trata de un cartón libre de lignina, que contiene al menos un 2% de carbonato de cálcico y posee un pH entre 7,5 y 10.

## 5.5 Modelo de propuesta de protocolo

### 5.5.1 Fase 1: descripción de la obra y su entorno

|  |                                   |
|--|-----------------------------------|
| OBRA: Composición, forma, dimensiones, área de emisión e historia material |                                   |
| Elementos plásticos  |                                   |
| Tipo de plástico   |                                   |
| Fecha de manufactura   |                                   |
| Dimensiones  |                                   |
| Área de emisión (cm <sup>2</sup> )   |                                   |
| No plásticos   |                                   |
| ¿Contiene algún material sensible?   |                                   |
| <input type="checkbox"/> Metales   | <input type="checkbox"/> Vidrio   |
| <input type="checkbox"/> Materiales celulósicos                            | <input type="checkbox"/> Cerámica |
| <input type="checkbox"/> Materiales fotográficos                           | <input type="checkbox"/> Tintes   |
| <input type="checkbox"/> Materiales de carbonato de calcio                 | <input type="checkbox"/> Pinturas |
| <input type="checkbox"/> Materiales proteicos                              | <input type="checkbox"/> Piedras  |
| <input type="checkbox"/> Pigmentos   |                                   |

|  |  |
|--|--|
| ENTORNO: Localización de la obra   |  |
| <input type="checkbox"/> Espacio abierto   |  |
| <input type="checkbox"/> Espacio cerrado   |  |
| Volumen del contenedor (cm <sup>3</sup> )  |  |
| Grado de hermeticidad  |  |
| <input type="checkbox"/> Totalmente hermético<br><input type="checkbox"/> Semi-hermético<br><input type="checkbox"/> Ventilado |  |
| ¿Tiene el contenedor materiales potencialmente emisores?   |  |
| <input type="checkbox"/> Madera y sus derivados  | <input type="checkbox"/> Papel con pH inferior a 6 |
| <input type="checkbox"/> Selladores de silicona  | <input type="checkbox"/> Pinturas                  |
| <input type="checkbox"/> Plásticos emisores  | <input type="checkbox"/> Barnices                  |
| <input type="checkbox"/> Tejidos celulósicos o proteicos con pH inferior a 7   | <input type="checkbox"/> Adhesivos                 |

## 5.5.2 Fase 2: detección y control de los agentes de deterioro

|  |
|--|
| AGENTES DE DETERIORO EXTRÍNSECOS: Temperatura, humedad y luz   |
| Umbral seguro  |
| Temperatura: 17-20°C   |
| Humedad relativa: 45-50%   |
| Iluminación: 50 lux  |
| ¿Se cumplen dichos parámetros?   |
| <input type="checkbox"/> Sí  |
| <input type="checkbox"/> No – Adoptar medidas pertinentes para la inhibición o reducción de sus efectos (FASE 3) |

|   |  |
|---|--|
| AGENTES DE DETERIORO INTRÍNSECOS: contaminantes intrínsecos secundarios                               |  |
| Inspección visual: detección de signos de degradación compatibles en plásticos y materiales sensibles |  |
| Plásticos   |  |
| <input type="checkbox"/> Oscurecimiento   | <input type="checkbox"/> Amarilleamiento       |
| <input type="checkbox"/> Decoloración   | <input type="checkbox"/> Pérdida de brillo     |
| <input type="checkbox"/> Pérdida de transparencia   | <input type="checkbox"/> Deformaciones         |
| <input type="checkbox"/> Eflorescencias   | <input type="checkbox"/> Exudaciones           |
| <input type="checkbox"/> Aumento de la porosidad  | <input type="checkbox"/> Aumento de la rigidez |
| <input type="checkbox"/> Craquelados  | <input type="checkbox"/> Fragilidad            |
| <input type="checkbox"/> Fisuras  | <input type="checkbox"/> Agrietamientos        |
| <input type="checkbox"/> Roturas  | <input type="checkbox"/> Pulverulencia         |
| <input type="checkbox"/> Desintegración   |  |
| Metales   |  |
| <input type="checkbox"/> Deslustre  | <input type="checkbox"/> Corrosión             |
| Materiales celulósicos  |  |
| <input type="checkbox"/> Pérdida de resistencia   | <input type="checkbox"/> Tinción de fibras     |
| <input type="checkbox"/> Friabilidad  | <input type="checkbox"/> Desintegración        |

|  |  |
|--|--|
| Materiales de carbonato de calcio y cerámica                                     |  |
| <input type="checkbox"/> Eflorescencias  |  |
| Pinturas y piedras   |  |
| <input type="checkbox"/> Decoloración  | <input type="checkbox"/> Erosión superficial |
| Materiales fotográficos  |  |
| <input type="checkbox"/> Oscurecimiento de las sales de plata                    |  |
| <input type="checkbox"/> Descomposición de la gelatina                           |  |
| <input type="checkbox"/> Empaldecimiento de los tintes de la fotografías a color |  |
| <input type="checkbox"/> Reflejos plateados en las fotografías en blanco y negro |  |
| <input type="checkbox"/> <i>Foxing</i> en las fotografías en blanco y negro      |  |
| Vidrio   |  |
| <input type="checkbox"/> Pérdida de brillo                                       | <input type="checkbox"/> Craquelados         |
| <input type="checkbox"/> Exudaciones   |  |
| Lana y seda  |  |
| <input type="checkbox"/> Pérdida de resistencia                                  |  |
| Cuero y pieles   |  |
| <input type="checkbox"/> <i>Red rot</i>  |  |

|   |              |   |
|---|--------------|---|
| Muestreo de compuesto volátiles ácidos con A-D Strips: sistema de medición, lectura, análisis e interpretación de datos |              |   |
| Preparación y montaje del sistema de medición   | Contenedores | Vidrio (reutilizable)<br>Polietileno (no reutilizable)                                    |
|   | A-D Strips   | Manipulación: siempre con guantes o con pinza para no contaminarlas                       |
|   |              | Colocación: suspendidas mediante hilo de nylon junto a la obra, pero sin llegar a tocarla |
|   | Sellado      | Parafilm  |

|                             |   |  |   |
|-----------------------------|---|--|---|
| Lectura y análisis de datos | Parámetros ambientales (deben ser siempre los mismos) | Iluminación  | A oscuras o bajos niveles de iluminación              |
|                             |   | Humedad relativa   | > 30%   |
|                             |   | Temperatura  | 15-20 °C  |
|                             | Tiempo de exposición y volumen del contenedor         | Se deben anotar estos dos datos, ya que influye directamente en los niveles de concentración ácida |   |
|                             | Lecturas  | Patrón equivalencias   |   |
|                             |   | Espectrofotómetro <sup>1</sup>   |   |
|                             | Interpretación de los datos colorimétricos            | b* de -100 a -35   | Ausencia de acidez                                    |
|                             |   | b* entorno a -15   | Concentración ácida baja                              |
|                             |   | b* entorno 5   | Concentración ácida media-baja                        |
|                             |   | b* entorno 25  | Concentración ácida media (riesgo para obras de arte) |
| b* entorno 45               |   | Concentración ácida media-alta   |   |
| b* entorno 65               |   | Concentración ácida alta   |   |
| b* superior a 85            |   | Concentración ácida muy alta (riesgo para personal expuesto)                                       |   |

| Muestreo de compuesto volátiles ácidos con A-D Strips: interpretación de resultados                       |  |
|---|--|
| Muestreo inicial o muestreo de seguimiento  |  |
| Volátiles ácidos: no + signos de deterioro: no  | Inspección visual + muestreo de seguimiento en 3 meses   |
| Volátiles ácidos: no + signos de deterioro: sí  | Seguimiento semanal mediante inspección visual de los síntomas durante un mes. Si se detectan cambios, muestreo periódico o monitorización temporal; en caso contrario muestreo de seguimiento + inspección visual en 3 meses.   |
| Concentración ácida media-baja o inferior   | Muestreo periódico o monitorización temporal   |
| Concentración ácida media o superior  | Implementación de medidas para la inhibición o reducción de contaminantes emitidos por los plásticos (FASE 3)  |
| Muestreo de verificación  |  |
| Volátiles ácidos: no + signos de deterioro: no, se asume que la fuente emisora de acidez es el contenedor | Sustituir el contenedor por uno que cumpla las recomendaciones para el almacenaje de este tipo de obras + inspección visual + muestreo de seguimiento en 3 meses   |
| Volátiles ácidos: no + signos de deterioro: sí  | Sustituir el contenedor por uno que cumpla las recomendaciones para el almacenaje de este tipo de obras* + seguimiento semanal mediante inspección visual de los síntomas durante un mes. Si se detectan cambios = muestreo periódico o monitorización temporal; en caso contrario = inspección visual + muestreo de seguimiento en 3 meses. |

\* Realizar el contenedor con cartón calidad archivo, debe cumplir la norma ISO 11108:1996, la cual certifica que se trata de un cartón libre de lignina, que contiene al menos un 2% de carbonato de calcio y posee un pH entre 7,5 y 10.

|  |   |
|--|---|
| Concentración ácida media-baja o inferior  | Muestreo periódico o monitorización temporal  |
| Concentración ácida media o superior   | Implementación de medidas para la inhibición o reducción de contaminantes emitidos por los plásticos (FASE 3)   |
| Muestreo periódico   |   |
| Concentración ácida media-baja o inferior + signos de deterioro: no  | Muestreo rutinario, es decir, una vez por semana  |
| Concentración ácida media-baja o inferior + signos de deterioro: sí  | Seguimiento diario mediante inspección visual. Si se detectan cambios = estudio individualizado en profundidad de la problemática de dicha obra y su entorno, debido a que existe la posibilidad de que algunos materiales sufran daños a concentraciones inferiores de las que son capaces de detectar las A-D Strips; en caso contrario = muestreo + inspección visual semanal hasta que finalice la exposición |
| Concentración ácida media o superior   | Implementación de medidas para la inhibición o reducción de contaminantes emitidos por los plásticos (FASE 3)   |
| Monitorización temporal<br>La interpretación de los resultados de la monitorización temporal la vamos a dividir en dos bloques: los resultados de las lecturas intermedias y el resultado final, es decir, el obtenido tras mes y medio de exposición. |   |
| Lecturas intermedias: se debe proceder de la misma forma que en muestreo periódico   |   |
| Resultado final:   |   |
| Volátiles ácidos: no + signos de deterioro: no   | Inspección visual + muestreo de seguimiento en 3 meses  |

|  |   |
|--|---|
| Volátiles ácidos: no + signos de deterioro: sí | Si se han detectado cambios = estudio individualizado como en el muestreo periódico; en caso contrario inspección visual + muestreo de seguimiento en 3 meses |
| Concentración ácida baja:                      | Inspección visual + muestreo de seguimiento en 2 meses  |
| Concentración ácida media-baja:                | Inspección visual + muestreo de seguimiento en 1 mes  |
| Concentración ácida media o superior           | Implementación de medidas para la inhibición o reducción de contaminantes emitidos por los plásticos (FASE 3)   |

### 5.5.3 Fase 3: reducción e inhibición de los procesos de alteración

|               |   |
|---------------|---|
| Mantenimiento | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Limpiar la suciedad superficial regularmente mediante aspiración con ayuda de una brocha o con un tejido suave (gamuza de piel natural, gamuza o paño de microfibra) – siempre que le estado de conservación o la naturaleza de la obra lo permitan –</li> <li>- De forma excepcional se puede utilizar humedad, en este caso la limpieza se debe realizar lo más rápido posible y actor seguido se debe secar la superficie con un paño seco, nunca con un secador u otro aparato que desprenda aire caliente.</li> <li>- Se desaconsejan en todo momento la utilización del resto de agentes de limpieza.</li> </ul> |
|---------------|---|

|                                |  |
|--------------------------------|--|
| Identificación                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Se sugiere escribir los números de inventario con lápiz en cartones libres de ácidos que se depositarán junto a la obra</li> <li>- En ningún caso se deben usar etiquetas autoadhesivas.</li> </ul>   |
| Manipulación                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Se recomienda utilizar guantes de nitrilo en todo momento</li> </ul>  |
| Otros                          | <p>Medidas concretas para la obras hinchables:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Almacenar siempre infladas</li> <li>- El aire se debe insuflar mediante elementos mecánicos, nunca con la boca</li> </ul>  |
| Luz                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Las obras deben estar expuestas el menor tiempo posible a la luz,</li> <li>- se aconseja excluirla de las zonas de almacenamiento</li> <li>- y limitarla durante la exhibición, iluminando las salas únicamente cuando haya público.</li> </ul>   |
|                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Iluminar siempre con fuentes lumínicas libres de radiación UV</li> <li>- luminancia de 50 lux o inferior</li> <li>- No superando nunca los 180.000 lux-hora/año.</li> </ul>   |
| Temperatura y humedad relativa | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Control climático tanto en almacenamiento como en exhibición</li> <li>- Temperatura entre 17-20°C</li> <li>- Humedad relativa entre el 45-50%</li> </ul>  |
|                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>- En obras con elementos plásticos de menos de un centímetro de espesor, que no estén ensamblados con otros materiales, que no presenten procesos de degradación activos y que vayan a permanecer en el almacén un largo periodo de tiempo, se puede recurrir al almacenaje el frío para reducir los índices de degradación química.</li> </ul> |

|                                       |  |
|---------------------------------------|--|
| Oxígeno                               | <ul style="list-style-type: none"><li>- Exhibición o almacenamiento en anoxia: atmósfera de nitrógeno y absorbentes de oxígeno. Solo en casos puntuales debido a que:</li><li>- Las atmósferas de nitrógeno limitan notablemente el acceso a la obra y requieren muchos recursos</li><li>- Los absorbentes de oxígeno están solamente recomendados en el caso de que el plástico ya haya perdido todo su plastificante</li></ul>   |
| Contaminantes intrínsecos secundarios | <p>Inhibir:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- No almacenar ni exhibir las obras en contenedores cerrados</li><li>- Separar las obras que presentan signos de deterioro de las que se encuentran en buen estado de conservación</li></ul>   |
|                                       | <p>Minimizar:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Airear los espacios en los que se albergan las obras potencialmente emisoras; indicado para para todos los plásticos emisores, excepto el PVC, en el que puede inducir la pérdida de su plastificante.</li><li>- Utilizar cartón de calidad archivo (que cumpla la norma ISO 11108:1996) para realizar los embalajes de las obras. Este material es capaz absorber los compuestos volátiles nocivos desprendidos por los plásticos emisores sin entrañar ningún riesgo para su estabilidad. Para asegurar su efectividad dichos embalajes se deben cambiar anualmente.</li></ul> |



# BIBLIOGRAFÍA

Adelstein, P. Z. et al. (1995) 'Stability of Cellulose Ester Base Photographic Film: Part III Measurement of Film Degradation', *Society of Motion Picture and Television Engineers Journal*, 104(5), pp. 281–291.

Agencia Nacional Danesa de Patrimonio (2006) *Kulturarvstyrelsen*.

Albus, S. et al. (2007) *Plastic Art: A Precarious Success Story*. AXA Art Insurance Corporation.

Allen, N. et al. (1988) 'Acid-catalysed degradation of historic cellulose triacetate, cinematographic film: Influence of various film parameters', *European Polymer Journal*, 24(8), pp. 707–712.

Baker, M. T. (1995) 'Thermal Studies on ancient and modern rubber: environmental information contained in crystallised rubber', in Wright, M. y Townsend, J. (eds) *Pre-prints of SSCR's 2nd conference held at the Department of Zoology, University of Aberdeen, 13-14 September 1995*. Edinburgh: The Scottish Society for Conservation & Restoration, pp. 53–56.

Baker, W., McCauley, K. y Tsang, J. (2015) 'Sustaining the unsustainable: mitigation and monitoring for modern materials', *American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works News*, 40(5), pp. 3–6.

Balcar, N., Lattuati-Derieux, A. y Vila, A. (2012) 'Appendix 3: Analysis of degradation products found during surveys of three French collections', in Lavédrine, B., Fournier, A., y Martin, G. (eds) *Preservation of Plastic Artefacts in museum collections*. CTHS Editi, pp. 302–308.

Blades, N. (1995) 'Measuring pollution in the museum environment', *Victoria & Albert Conservation Journal*, (14).

Blades, N. et al. (2000) *Guidelines on pollution control in heritage buildings*. Londres.

Blank, S. (1990) 'An introduction to plastics and rubbers in collections', *Studies*

in *Conservation*, 35(2), pp. 53–63. Available at: <http://www.maneyonline.com/doi/abs/10.1179/sic.1990.35.2.53> (Consultado: 4 December 2014).

Brewer, A. (2013) 'Acetic acid off gassing in clamshell enclosures', in *Poster Presentation at the 2013 American Institute for Conservation Annual Meeting, Indianapolis*.

Brimblecombe, P. (1990) 'The composition of museum atmospheres', *Atmospheric Environment*, 24B, pp. 1–8.

Brimblecombe, P. (2000) *No Thresholds and damage, Indoor Air Quality in Museums and Archives*. Available at: [http://iaq.dk/iap/iap1998/1998\\_01.htm](http://iaq.dk/iap/iap1998/1998_01.htm) (Consultado: 28 October 2018).

Brydson, J. A. (1989) *Plastic Materials*. 5a. Oxford: Butterworth-Heinemann,.

Cadiñanos, S. (2012) 'PRIMI projects (Plastic Research and Innovation for Museum and Industry)', in *Conservación de Arte Contemporáneo 13a Jornada*. Madrid: MNCARS, pp. 245–252.

Calvo Manuel, A. (2003) *Conservación y restauración: materiales, técnicas y procedimientos de la A a la Z*. Barcelona: Ediciones del Serbal SA.

Chiantore, O. et al. (2012) *Conserving contemporary art: issues, methods, materials and research*. Los Ángeles: Getty Publications.

Coles, F. (2007) 'Challenge of materials? A new approach to collecting modern materials at the Science Museum, LONDON', in Keneghan, B. y Egan, L. (eds) *Plastics. Looking at the future and learning from the past*. Londres: Archetype, pp. 125–131.

Corzo, M. A. (ed.) (1999) *Mortality Immortality?: The Legacy of 20th-century Art*. Los Ángeles: Getty Publications.

Coughlin, M. (2011) 'Monitoring Acidic Off-Gassing of Plastics', *Conserve O Gram*, (8/5), pp. 1–5.

Coughlin, M. (2018) 'Looking at Plastics. An introduction to caring for Plastics'. Connecting to Collections Care.

Cruz-Diez Art Foundation (2016) *Carlos Cruz-Diez*.

Curran, K. et al. (2014) 'Cross-infection effect of polymers of historic and

heritage significance on the degradation of a cellulose reference test material', *Polymer Degradation and Stability*, 107(2), pp. 294–306. doi: 10.1016/j.polymdegradstab.2013.12.019.

Curran, K. y Strlic, M. (2014) 'Polymers and volatiles: Using VOC analysis for the conservation of plastic and rubber objects', *Studies in Conservation*, 0(0), pp. 1–14. Available at: <http://www.maneyonline.com/doi/pdfplus/10.1179/2047058413Y.0000000125>.

Dahlin, E. (2010) *PROPAINT Improved Protection of Paintings during Exhibition, Storage and Transit*.

Daniels, V. D. y Thickett, D. (1992) 'The reversion of blackened lead white on paper', in Fairbrass, S. (ed.) *The Institute of Paper Conservation*, pp. 109–115.

Demerouskas, M. (ed.) (1998) *Basic Condition Reporting. A Handbook*. Manhattan: Southeastern Registrars Association.

Derrick, M., Stulik, D. y Ordendez, E. (1993) 'Deterioration of Cellulose Nitrate Sculptures Made by Gabo and Pevsner', in Grattan, D. W. (ed.) *Saving the Twentieth Century- The Conservation of Modern Materials*. Ottawa, pp. 169–180.

Donguy, J. (ed.) (1996) *Chimeriques polymeres. Le plastique dans l'Art du XXeme siecle*. Niza: MAMAC.

Elsässer, C. et al. (2020) 'How to deal with a self-destructive plastic in museum collections? Storing cellulose nitrate 3D objects at the Deutsches Museum', in *Plastics in Peril: Focus on Conservation of Polymeric Materials in Cultural Heritage*.

Fenn, J. (1995) 'Secret sabotaje: reassessing museum plastics in display and storage', in Wright, M. y Townsend, J. (eds) *Pre-prints of SSCR's 2nd conference held at the Department of Zoology, University of Aberdeen, 13-14 September 1995*. Edinburgh: The Scottish Society for Conservation & Restoration, pp. 38–41.

García Fernández-Villa, S. y San Andrés Moya, M. (2002) 'El plástico como bien de interés cultural (I). Aproximación a la historia y composición de los plásticos de moldeo naturales y artificiales', *Boletín del Instituto Andaluz de Patrimonio Histórico*, 10.

Gibson, L. (ed.) (1999) 'Indoor Air Pollution Conference: Detection and

Mitigation of Carbonyls', *Indoor Air Pollution—Detection and Mitigation of Carbonyls, held at Strathclyde University, Glasgow*, p. 77.

Gibson, L. (2013) 'Smelling Museum Objects: Why?', in Programme, A. S. & H. (ed.) *Sustaining the impact of UK Science & Heritage Research. Contributions to the AHRC/EPSRC science and Heritage Programme Conference*. London: AHRC/EPSRC Science & Heritage Programme., pp. 65–66. Available at: [http://issuu.com/heritagescience/docs/sustaining\\_the\\_impact\\_of\\_uk\\_science](http://issuu.com/heritagescience/docs/sustaining_the_impact_of_uk_science).

Grattan, D. W. (1993) 'Degradation Rates for Some Historic Polymers and Potential of Various Conservation Measures for Minimizing Oxidative Degradation', in Grattan, D. W. (ed.). Ottawa: Canadian Conservation Institute, pp. 351–361.

Green, L. R. y Thickett, D. (1991) 'Modern metals in museum collections', in Grattan, D. (ed.) *Saving the Twentieth Century- The Conservation of Modern Materials*. Ottawa: CCI, pp. 261–269.

Van Grieken, R. y Janssens, K. (eds) (2005) *Cultural Heritage Conservation and Environmental Impact Assessment by Non-Destructive Testing and Micro-Analysis*. Londres: A.A. Balkema.

Grieve, S. (2008) 'The excavation, conservation, storage, and display of rubber artifacts recovered from USS monitor (1862)', *The journal of American Institute for Conservation*, pp. 139–148. Available at: <http://www.maneyonline.com/doi/pdfplus/10.1179/019713608806112151>.

Grosjean, D., Grosjean, E. y Williams, E. L. (1994) 'Fading of colorants by atmospheric pollutants: Reflectance spectroscopy studies', *Science of the Total Environment*, 151(3), pp. 213–226.

Grzywacz, C. M. (2006) *Monitoring for Gaseous Pollutants in Museum Environments*. Los Ángeles: The Getty Conservation Institute.

Hackney, S. (1984) 'The distribution of gaseous air pollution within museums', *Studies in Conservation*, 29, pp. 105–117.

Hackney, S. (2016) 'Colour measurement of acid-detector strips for the quantification of volatile organic acids in storage conditions', *Studies in Conservation*, 61, pp. 55–69.

Hammer, M. y Lodder, C. (eds) (2000) *Gabo on Gabo: Texts and interviews*. Londres: Artists Bookworks.

Harley, J. D. (1982) *Artists pigments c.1600-1835*. Londres: Butterworths Scientific.

Hatchfield, P. (2002) *Pollutants in the museum environment*. Londres.

Hatchfield, P. (2004) *Pollutants in the museum environment : practical strategies for problem solving in design, exhibition and storage*. Londres: Archetype.

Heritage English, Fraunhofer and Norsk institutt for luftforskning (2013) The MEMORI technology. Innovation for Conservation. Available at: <http://memori.nilu.no/Account/Login?ReturnUrl=%252f> (Consultado: 10 January 2016).

Herráez, I. et al. (2018) 'Recomendaciones básicas para vitrinas destinadas a Bienes Culturales de naturaleza orgánica especialmente sensibles'. Madrid: Instituto del Patrimonio Cultural de España.

Heuman, J. (ed.) (1995) *From marble to chocolate: the conservation of modern sculpture* : Tate Gallery Conference, 18-20 September 1995. London: Archetype.

Heuman, J. (ed.) (1999) *Material Matters. The conservation of modern sculpture*. London: Tate Gallery Publishing Ltd.

Hummelen, Ij. y Sillé, D. (eds) (1999) *Modern Art - who Cares?: An Interdisciplinary Research Project and an International Symposium on the Conservation of Modern and Contemporary Art*. Amsterdam: Archetype.

Illa Malvehy, C. (1996) 'Miralda: del plástico al chocolate. Problemática de conservación', in *XI Congreso de Conservación y Restauración de Bienes Culturales*. Castellón: Diputación Provincial de Castellón.

Image Permanence Institute (2016) 'User's guide for A-D strips. Film base deterioration monitors'. Rochester.

IPCS CE (2010) *Fichas Internacionales de Seguridad Química*.

Kaldany, M., Berman, M. y Sigurdardottir, S. (1999) 'Evaluating the Stability of Commercially Available Artists' Coloring Materials Used to Create Compensation Infills for Losses in Textiles', *Journal of American Institute for Conservation*, 38(3), pp. 443–458.

Kaufman, M. (1963) *The First Century of Plastics: Celluloid and its Sequel*. Edited by The Plastic and Rubber Institute. Londres.

Kean, S. (2009) *Does Plastic Art Last Forever?. Not even close. Can a generation of synthetic objects be saved?*

Keneghan, B. (2015) 'Plastics Research at the Victoria and Albert Museum', *Victoria & Albert Conservation Journal*, 24.

Keneghan, B., Betts, L. y Egan, L. (eds) (2008) *Plastics: Looking at the Future and Learning from the Past : Papers from the Conference Held at the Victoria and Albert Museum, London, 23-25 May 2007*. London: Archetype.

Keneghan, B. y Quye, A. (1999) 'Degradation – Part 2: Degradation Causes', in Quye, A. y Williamson, C. (eds) *Plastics – Collecting and Conserving*. Edinburgh: National Museum of Scotland, p. 127.

Kopaç, T. y Kocabas, S. (2002) 'Adsorption equilibrium and breakthrough analysis for sulfur dioxide adsorption on silica gel', *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 41(3), pp. 223–230.

Lavédrine, B., Fournier, A. y Martin, G. (eds) (2012) *Preservation of Plastic Artefacts in Museum Collections*. Francia: CTHS.

Linke, D., Keller, R. y Tafelski, M. (2010) 'Antiageing for cultural heritage objects containing elastomers', in Bechthold, T. (ed.) *Future talks 009: The conservation of modern materials in applied arts and design, October 22/23 2009*. Munich: Die neue sammlung. The International Design Museum Munich.

Llamas Pacheco, R. (2014) *Arte contemporáneo y restauración. O cómo investigar entre lo material, lo esencial y lo simbólico*. Valencia: Tecnos.

Lodder, C. (2007) 'Naum Gabo and the quandaries of replica', *Tate Papers*, (8). Available at: <http://www.tate.org.uk/research/tateresearch/tatepapers/07autumn/lodder.htm>.

Mandal, A. y Majumdar, R. (1993) 'Hazards in a kitchen of the developing world', in Climate., I. C. on I. A. Q. y (ed.) *Indoor Air '93: Proceedings of the 6th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, Helsinki, July 4–8, 1993*, ed. J. J. K. Jaakkola, R. Ilmarinen, y O. Seppänen, vol. 3, *Combustion products, risk assessment, policies*. Helsinki, pp. 75–80.

Manfredi, M., Barberis, E. y Marengo, E. (2016) 'Prediction and classification of the degradation state of plastic materials used in modern and contemporary art', *Applied physics A*, 123(35), pp. 1–11.

May, E. y Jones, M. (eds) (2006) *Conservation science: heritage materials*. RSC Publishing.

Mazzucchelli, F. (2019) *Franco Mazzucchelli, Archivio delle opere Franco Mazzucchelli*. Available at: <http://www.francomazzucchelli.it> (Consultado: 13 February 2019).

Michalski, S. (2002) 'Double the life for each five-degree drop, more than double the life for each halving of relative humidity', in Vontobel, R. (ed.) *13th ICOM-CC Triennial Meeting Rio de Janeiro, 22–27 September 2002*. James&James Ltd., pp. 66–72.

Ministerio de Cultura y Deporte (2017) *Tesoros del Patrimonio Cultural de España*. Available at: <http://tesoros.mecd.es/tesoros/> (Consultado: 10 July 2017).

Ministerio de Educación Cultura y Deporte (2019) *Guía para la elaboración e implantación de Planes de Conservación Preventiva*. Madrid: Ministerio de Cultura y Deporte.

Mitsubishi Gas Chemical CO., I. (2018) 'RP System TM. Revolutionary Preservation System'. Tokio.

Morgan, J. (1991) *Conservation of Plastics*. Londres: The Conservation unit of the Museums & Galleries Commission and the Plastics Historical Societ.

Morgan, J. (1994) 'The development of cellulose acetate', *Plastiquarian*, 13, pp. 7–11.

Mossman, S. (1988) 'Simple methods of identifying plastics', in Eaton, L. y Meredith, C. (eds) *Modern Organic Materials, Preprints of the Meeting of the Scottish Society for Conservation and Restoration*. Edinburgo: Scottish Society for Conservation and Restoration, pp. 41–45.

Mossman, S. y Abel, M.-L. (2007) 'Testing treatments to slow down the degradation of cellulose acetate', in Keneghan, B. y Egan, L. (eds) *Plastics. Looking at the future and learning from the past*. Londres: Archetype publications Ltd., pp. 106–115.

Museo Nacional Centro de Arte Reina Sofía (2006) 'Alberto Burri. 14 de marzo - 29 de mayo del 2006'. Madrid: MNCARS.

National Museum Director's Conference (2009) 'NMDC Guiding Principles

for Reducing Museums' Carbon Footprint'. Available at: [http://www.nationalmuseums.org.uk/media/documents/what\\_we\\_do\\_documents/guiding\\_principles\\_reducing\\_carbon\\_footprint.pdf](http://www.nationalmuseums.org.uk/media/documents/what_we_do_documents/guiding_principles_reducing_carbon_footprint.pdf).

National Service Park (1999) *NPS Museum Handbook. Part I, Museum Management Program*.

National Service Park (2016) *Chapter 4: Museum Collections Environment, NPS Museum Handbook*. Washington DC. Available at: <https://www.nps.gov/museum/publications/MHI/chap4.pdf> (Consultado: 15 May 2016).

Nazaroll, W. y Cass, G. (1991) 'Protecting museum collections from soiling due to the deposition of airborne particles', *Atmospheric Environment*, 25A, pp. 841–852.

Nicholson, C. y O'Loughlin, E. (1996) 'The Use of A-D Strips for Screening Conservation and Exhibit Materials', in *American Institute for Conservation 24th Annual Meeting, Norfolk Virginia, June 10–16*. Available at: <http://cool.conservation-us.org/coolaic/sg/bpg/annual/v15/bp15-11.html>.

Oosten, T. van (2011) *PUR Facts: conservation of polyurethane foam in Art and Design*. Amsterdam: Amsterdam University Press.

Oosten, T. Van, Shashoua, Y. y Waentig, F. (eds) (2002) *Plastics in Art: History, Technology, Preservation*. Munich: Siegl.

Pagliarino, A. y Shashoua, Y. (1999) 'Part 2: Caring for Plastics in Museums, Galleries and Archives', in *Plastics – Collecting and Conserving*. Edinburgo: NMS Publishing Ltd.

Pinacoteca do Estado de São Paulo (ed.) (2015) *Collection in Plastic at the Pinacoteca. Issues of Conservation and Restoration*.

Pretzel, B. (2003) 'Materials and their interaction with museum objects', *V&A Conservation Journal*, (44).

Proyecto AIR-ARTE (2016). Madrid. Available at: <http://www.man.es/man/actividades/cursos-y-conferencias/20160204-air-arte.html>.

Pullen, D. y Heuman, J. (eds) (1988) *Modern organic materials. Preprints of the meeting*. Edinburgo.

Quye, A. y Williamson, C. (eds) (1999) *Plastics - collecting and conserving*. Edinburgh: National Museum of Scotland.

Ram, A. T. et al. (1994) 'The effects and prevention of the "vinegar syndrome"', *Imaging Science and Technology*, 38(3), pp. 249–261.

Rance, V. E. y Cole, H. G. (1958) *Corrosion of metals by vapours from organic materials. A survey*. Londres: HMSO.

REAL ACADEMIA ESPAÑOLA (2019) *Diccionario de la lengua española*, 23.a ed. [versión 23.4 en línea]. Available at: <https://dle.rae.es> (Consultado: 12 June 2019).

Richardson, C. y Saunders, D. (2007) 'Acceptable light damage - a preliminary investigation', *Studies in Conservation*, 52, pp. 177–187.

Rotaeché González de Ubieta, M. (2011) *Conservación y restauración de materiales contemporáneos y nuevas tecnologías*. Madrid: Editorial Síntesis.

Ryhl-Svendsen, M. (2001) 'Indoor air pollution in museums: an introduction to its effects, monitoring and control', *Restauro*, 8, pp. 613–619.

Salomon R. Guggenheim Museum (2016) *Alberto Burri: The Trauma of Painting. October 9, 2015 - January 6, 2016*. Nueva York. Available at: <https://www.guggenheim.org/exhibition/alberto-burri-the-trauma-of-painting> (Consultado: 5 July 2018).

Sánchez Cabrero, B. et al. (2015) 'Calidad del aire interior de las vitrinas en el nuevo Museo Arqueológico Nacional', *Boletín del Museo Arqueológico Nacional*, 33, pp. 367–382.

Schieweck, A. y Salthammer, T. (2009) 'Emissions from construction and decoration materials for museum showcases', *Studies in Conservation*, 54, pp. 218–235.

Schmidt, S. (1992) 'The formation of sodium formate on glass surfaces: examination of historical objects', *Berliner Beiträge zur Archäometrie*, II, pp. 137–183.

Selwitz, C. (1988) *Cellulose Nitrate in Conservation, Research in Conservation*. Edited by The Getty Conservation Institute. EEUU.

Shashoua, Y. (1999) 'Part 4: Conservation research in the 1990s', in *Plastics – Collecting and Conserving*. Edinburgo: NMS Publishing Ltd.

Shashoua, Y. (2001) *Inhibiting the deterioration of plasticized poly (vinyl Chloride) – a museum perspective*. The Technical University of Denmark.

Shashoua, Y. (2004) 'Modern plastics: do they suffer from the cold?', in *Modern Art, New Museums: Contributions to the 2004 IIC Congress*. Bilbao: IIC, pp. 91–95.

Shashoua, Y. (2005) 'Storing Plastics in the Cold – more Harm than Good?', in Bridgland, J. (ed.) *ICOM-CC 14th Triennial Meeting The Hague Preprints*. Londres: James & James, pp. 358–364.

Shashoua, Y. (2008a) 'Conservation of plastics: is it possible today?', in *Plastics. Looking at the future and learning from the past*. Londres: Archetype publications Ltd.

Shashoua, Y. (2008b) *Conservation of plastics. Materials, science, degradation and preservation*. Oxford: BH.

Shashoua, Y. (2014) 'A safe place. Store Strategies for Plastics', *The GCI Newsletter*, p. 13. Available at: [http://www.getty.edu/conservation/publications\\_resources/newsletters/29\\_1/index.html](http://www.getty.edu/conservation/publications_resources/newsletters/29_1/index.html).

Shashoua, Y. (2016) 'Mesocycles in conserving plastics', *Studies in Conservation*, 61(sup2). doi: 10.1080/00393630.2016.1168074.

Shashoua, Y., Bradley, S. M. y Daniels, V. D. (1992) 'Degradation of cellulose nitrate adhesive', *Studies in Conservation*, 37, pp. 113–119.

Shashoua, Y., Schilling, M. y Mazurek, J. (2014) 'The effectiveness of conservation adsorbents at inhibiting degradation of cellulose acetate', in Bridgland, J. (ed.) *ICOM-CC 17th Triennial Conference Preprints, Melbourne, 15–19 September 2014*. Paris: International Council of Museums.

Shashoua, Y. y Ward, C. (1995) 'Plastics: modern resins with ageing problems', in Wright, M. y Townsend, J. (eds) *Pre-prints of SSCR's 2nd conference held at the Department of Zoology, University of Aberdeen, 13-14 September 1995*. Edinburgh: The Scottish Society for Conservation & Restoration, pp. 33–37.

Shashoua, Y. y Ward, C. (1999) 'Interventive conservation treatments for plastics and rubber artefacts in the British Museum', in Bridgland, J. (ed.) *ICOM-CC 12th Triennial Meeting Preprints, Lyon, 29 August–3 September 1999*. Londres: James & James, pp. 888–893.

Smithsonian Science (2012) *The Age of Plastic: symposium June 7 & 8 2012*. Available at: <http://smithsonianscience.org/2012/06/the-age-of-plastic-symposium-june-7-8-2012/> (Consultado: 18 April 2014).

Stewart, R. et al. (1996) 'Analytical studies of the degradation of cellulose nitrate plastics in museums', in *American Chemical Society Polymer preprints*, pp. 168–169.

Tétreault, J. (1999) 'Standards for levels of pollutants in museums: Part II', in *Indoor Air Pollution, Detection and Prevention*. Amsterdam.

Tétreault, J. (2003a) *Airborne Pollutants in Museums, Galleries, and Archives: Risk Assessment and Control Strategies*. Ottawa: Canadian Conservation Institute.

Tétreault, J. (2003b) 'Guidelines for Pollutant Concentrations in Museums', *CCI Newsletter*, (31).

Tétreault, J. (2009) 'CCI Notes 15/1 Pollutants', in *Canadian Conservation Institute Notes*. Ottawa.

Tétreault, J. (2019) 'Products used in preventive conservation', *CCI Technical Bulletins*, (32).

The American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (2007) 'Chapter 21: museums, galleries, archives, and libraries', in *2007 ASHRAE handbook: HVAC Applications*. SI Edition. Atlanta.

The American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (2011) 'Chapter 23: museums, galleries, archives and libraries', in *2011 ASHRAE handbook: HVAC Applications*. SI Edition. Atlanta.

The American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (2019) 'Chapter 24: museums, galleries, archives and libraries', in *2019 ASHRAE handbook: HVAC Applications*. SI Edition. Atlanta.

The Metropolitan Museum of Art (2019) *New York, Number 18 (1938)*. Available at: <https://www.metmuseum.org/art/collection/search/482132> (Consultado: 10 June 2019).

The Moholy-Nagy Foundation, I. (2017) *László Moholy-Nagy, Art Database*. Available at: <https://moholy-nagy.org/art-database-gallery/> (Consultado: 12 March 2018).

The Plastics Historical Society (2015) *The Conservation of Plastics, Plastiquarian*. Available at: [http://plastiquarian.com/?page\\_id=14326](http://plastiquarian.com/?page_id=14326).

Thickett, D. y Lee, L. R. (2004) 'Selection of Materials for the Storage or Display of Museum Objects', *The British Museum Occasional Paper*.

Thomson, G. (1978) *The Museum Environment*. London: Butterworth-Heinemann.

Thomson, G. (1986) *The Museum Environment*. Edited by Butterworth-Heinemann. Londres.

Townsend, J. H., Hackney, S. y Kearney, M. (2019) 'A critical assessment of AD strips used in degradation studies for artworks made from cellulose acetate', in Soares, I. y Fuentez, P. (eds) *The Plastic Heritage Congress 2019: history, limits and possibilities, 29th - 31st May 2019, Lisbon, Portugal*. Lisboa.

Tsang, J. et al. (2009) 'Degradation of Lumarith' Cellulose Acetate. Examination and chemical analysis of a salesman's simple kit', *Studies in Conservation*. Available at: <http://www.maneyonline.com/doi/abs/10.1179/sic.2009.54.2.90>.

Turmo Sierra, E. (1993) 'NTP 385: Fugas en recipientes: emisión en fase gaseosa'.

Valentín, N., Muro, C. y Montero, J. (2010) 'Métodos y técnicas para evaluar la calidad del aire en museos: Museo Nacional Centro de Arte Reina Sofía', in *11ª Jornada de Conservación de arte contemporáneo*. Madrid: MNCARS, pp. 63–81.

Waentig, F. (2008) *Plastics in Art: A Study from the Conservation Point of View*. Colonia: Imhof.

Ward, L. (2009) *Soft Sculpture*. Parkes: Galería Nacional de Australia.

Williams, E. L., Grosjean, E. y Grosjean, D. (1993) 'Exposure of artists' colorants to sulfur dioxide', *Journal of the American Institute for Conservation*, 32(3), pp. 291–310.

Williams, R. S. (2002) 'Care of plastics: Malignant plastics', *WAAC Newsletter*. Available at: <http://cool.conservation-us.org/waac/wn/wn24/wn24-1/wn24-102.html>.

Williams, S. (1997a) 'Care of objects made from rubber and plastic', *CCI Notes*, p. 15/1.

Williams, S. (1997b) 'Display and storage of museum objects containing cellulose nitrate', CCI Notes.

Yoshizumi, K. et al. (1991) 'Effects of atmospheric sulfur dioxide and nitrogen dioxide on the fading of dyed fabrics by traditional dyestuffs', in Ganorkar, M. C. y Rama Rao, N. (eds) *1st International Colloquium on Role of Chemistry in Archaeology: 15–18 November 1991*. India: Birla Institute of Scientific Research, p. 131.136.

## RELACIÓN DE TABLAS Y FIGURAS

Relación de tablas

Relación de figuras

## RELACIÓN DE TABLAS

Tabla 1: metales sensibles y contaminantes emitidos por los plásticos. Sara Liébana©

Tabla 2: materiales celulósicos sensibles y contaminantes emitidos por los plásticos. Sara Liébana©

Tabla 3: materiales fotográficos sensibles y contaminantes emitidos por los plásticos. Sara Liébana©

Tabla 4: materiales de carbonato de calcio sensibles y contaminantes emitidos por los plásticos. Sara Liébana©

Tabla 5: vidrios sensibles y contaminantes emitidos por los plásticos. Sara Liébana©

Tabla 6: cerámicas sensibles y contaminantes emitidos por los plásticos. Sara Liébana©

Tabla 7: materiales proteicos sensibles y contaminantes emitidos por los plásticos. Sara Liébana©

Tabla 8: tintes y pigmentos sensibles y contaminantes emitidos por los plásticos. Sara Liébana©

Tabla 9: pinturas sensibles y contaminantes emitidos por los plásticos. Sara Liébana©

Tabla 10: tejidos y polímeros sintéticos sensibles y contaminantes emitidos por los plásticos. Sara Liébana©

Tabla 11: piedras sensibles y contaminantes emitidos por los plásticos. Sara Liébana©

Tabla 12: factores de conversión entre partes por billón (ppb) y microgramos por metro cúbico ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) de algunos compuestos volátiles emitidos por los plásticos. En: Blades, N. et al. (2000) Guidelines on pollution control in heritage buildings. Londres.

Tabla 13: umbrales para calidad del aire en museos, galerías, bibliotecas y archivos. En: Tétreault, J. (2003a) Airborne Pollutants in Museums, Galleries,

and Archives: Risk Assessment and Control Strategies. Ottawa: Canadian Conservation Institute, p.33.

Tabla 14: niveles máximos recomendados para contaminantes gaseosos en museos. En: Grzywacz, C. M. (2006) Monitoring for Gaseous Pollutants in Museum Environments. Los Ángeles: The Getty Conservation Institute, p. 109-110.

Tabla 15: olores característicos de los plásticos según las distintas investigaciones. Sara Liébana©

Tabla 16: dispositivos de muestreo pasivo capaces de detectar los compuestos volátiles emitidos por los plásticos emisores. En: Grzywacz, C. M. (2006) Monitoring for Gaseous Pollutants in Museum Environments. Los Ángeles: The Getty Conservation Institute, p.30.

Tabla 17: comparativa entre las A-D Strips y los cupones metálicos. Sara Liébana©

Tabla 18: tipos de Ageless ®, aplicación y humedad requerida para asegurar su efectividad. Sara Liébana©

Tabla 19: resumen de las fases del ensayo práctico: plásticos testados, variables y fases del ensayo práctico. Sara Liébana©

Tabla 20: modificación cromática de las A-D Strips, según tiempos de exposición y grados de envejecimiento de las muestras de acetato de celulosa. Contenedor pequeño

Tabla 21: modificación cromática de las A-D Strips, según tiempos de exposición y grados de envejecimiento de las muestras de acetato de celulosa. Contenedor mediano. Sara Liébana©

Tabla 22: modificación cromática de las A-D Strips, según tiempos de exposición y grados de envejecimiento de las muestras de acetato de celulosa. Contenedor grande. Sara Liébana©

Tabla 23: modificación cromática de las A-D Strips, según tiempos de exposición y grados de envejecimiento de las muestras de poliéster. Contenedor pequeño. Sara Liébana©

Tabla 24: modificación cromática de las A-D Strips, según tiempos de exposición y grados de envejecimiento de las muestras de poliéster. Contenedor mediano. Sara Liébana©

Tabla 25: modificación cromática de las A-D Strips, según tiempos de exposición y grados de envejecimiento de las muestras de poliéster. Contenedor grande. Sara Liébana©

Tabla 26: modificación cromática de las A-D Strips, según tiempos de exposición y grados de envejecimiento de las muestras de poliuretano. Contenedor pequeño. Sara Liébana©

Tabla 27: modificación cromática de las A-D Strips, según tiempos de exposición y grados de envejecimiento de las muestras de poliuretano. Contenedor mediano. Sara Liébana©

Tabla 28: modificación cromática de las A-D Strips, según tiempos de exposición y grados de envejecimiento de las muestras de poliuretano. Contenedor grande. Sara Liébana©

Tabla 29: modificación cromática de las A-D Strips, según tiempos de exposición y grados de envejecimiento de las muestras de caucho. Contenedor pequeño. Sara Liébana©

Tabla 30: modificación cromática de las A-D Strips, según tiempos de exposición y grados de envejecimiento de las muestras de caucho. Contenedor mediano. Sara Liébana©

Tabla 31: modificación cromática de las A-D Strips, según tiempos de exposición y grados de envejecimiento de las muestras de caucho. Contenedor grande. Sara Liébana©

Tabla 32: modificación cromática de las A-D Strips, según tiempos de exposición y grados de envejecimiento de las muestras de policloruro de vinilo. Contenedor pequeño. Sara Liébana©

Tabla 33: modificación cromática de las A-D Strips, según tiempos de exposición y grados de envejecimiento de las muestras de policloruro de vinilo. Contenedor mediano. Sara Liébana©

Tabla 34: modificación cromática de las A-D Strips, según tiempos de exposición y grados de envejecimiento de las muestras de policloruro de vinilo. Contenedor grande. Sara Liébana©

Tabla 35: modificación cromática de las A-D Strips, según tiempos de exposición y grados de envejecimiento de las muestras de PMMA. Contenedor pequeño.

Sara Liébana©

Tabla 36: modificación cromática de las A-D Strips, según tiempos de exposición y grados de envejecimiento de las muestras de PMMA. Contenedor mediano. Sara Liébana©

Tabla 37: modificación cromática de las A-D Strips, según tiempos de exposición y grados de envejecimiento de las muestras de PMMA. Contenedor grande. Sara Liébana©

Tabla 38: equivalencia entre los valores colorimétricos de las A-D Strips, según tiempos de exposición y grados de envejecimiento de las muestras de acetato de celulosa, y la concentración ácida del aire. Contenedor pequeño. Sara Liébana©

Tabla 39: equivalencia entre los valores colorimétricos de las A-D Strips, según tiempos de exposición y grados de envejecimiento de las muestras de acetato de celulosa, y la concentración ácida del aire. Contenedor mediano. Sara Liébana©

Tabla 40: equivalencia entre los valores colorimétricos de las A-D Strips, según tiempos de exposición y grados de envejecimiento de las muestras de acetato de celulosa, y la concentración ácida del aire. Contenedor grande. Sara Liébana©

Tabla 41: equivalencia entre los valores colorimétricos de las A-D Strips, según tiempos de exposición y grados de envejecimiento de las muestras de poliéster, y la concentración ácida del aire. Contenedor pequeño. Sara Liébana©

Tabla 42: equivalencia entre los valores colorimétricos de las A-D Strips, según tiempos de exposición y grados de envejecimiento de las muestras de poliéster, y la concentración ácida del aire. Contenedor mediano. Sara Liébana©

Tabla 43: equivalencia entre los valores colorimétricos de las A-D Strips, según tiempos de exposición y grados de envejecimiento de las muestras de poliéster, y la concentración ácida del aire. Contenedor grande. Sara Liébana©

Tabla 44: equivalencia entre los valores colorimétricos de las A-D Strips, según tiempos de exposición y grados de envejecimiento de las muestras de poliuretano, y la concentración ácida del aire. Contenedor pequeño. Sara Liébana©

Tabla 45: equivalencia entre los valores colorimétricos de las A-D Strips,

según tiempos de exposición y grados de envejecimiento de las muestras de poliuretano, y la concentración ácida del aire. Contenedor mediano.

Sara Liébana©

Tabla 46: equivalencia entre los valores colorimétricos de las A-D Strips, según tiempos de exposición y grados de envejecimiento de las muestras de poliuretano, y la concentración ácida del aire. Contenedor grande. Sara Liébana©

Tabla 47: equivalencia entre los valores colorimétricos de las A-D Strips, según tiempos de exposición y grados de envejecimiento de las muestras de caucho, y la concentración ácida del aire. Contenedor pequeño. Sara Liébana©

Tabla 48: equivalencia entre los valores colorimétricos de las A-D Strips, según tiempos de exposición y grados de envejecimiento de las muestras de caucho, y la concentración ácida del aire. Contenedor mediano. Sara Liébana©

Tabla 49: equivalencia entre los valores colorimétricos de las A-D Strips, según tiempos de exposición y grados de envejecimiento de las muestras de caucho, y la concentración ácida del aire. Contenedor grande. Sara Liébana©

Tabla 50: equivalencia entre los valores colorimétricos de las A-D Strips, según tiempos de exposición y grados de envejecimiento de las muestras de policloruro de vinilo, y la concentración ácida del aire. Contenedor pequeño. Sara Liébana©

Tabla 51: equivalencia entre los valores colorimétricos de las A-D Strips, según tiempos de exposición y grados de envejecimiento de las muestras de policloruro de vinilo, y la concentración ácida del aire. Contenedor mediano. Sara Liébana©

Tabla 52: equivalencia entre los valores colorimétricos de las A-D Strips, según tiempos de exposición y grados de envejecimiento de las muestras de policloruro de vinilo, y la concentración ácida del aire. Contenedor grande. Sara Liébana©

Tabla 53: equivalencia entre los valores colorimétricos de las A-D Strips, según tiempos de exposición y grados de envejecimiento de las muestras de PMMA, y la concentración ácida del aire. Contenedor pequeño. Sara Liébana©

Tabla 54: equivalencia entre los valores colorimétricos de las A-D Strips, según tiempos de exposición y grados de envejecimiento de las muestras de PMMA, y la concentración ácida del aire. Contenedor mediano. Sara Liébana©

Tabla 55: equivalencia entre los valores colorimétricos de las A-D Strips, según tiempos de exposición y grados de envejecimiento de las muestras de PMMA, y la concentración ácida del aire. Contenedor grande. Sara Liébana©

Tabla 56: comparativa de los resultados obtenidos en el caso de la obra *Éxtasis*, estatus, estatua de Moraza y la muestra de poliéster correspondiente con el ciclo de envejecimiento CE-1. Sara Liébana©

Tabla 57: plásticos emisores y materiales potencialmente sensibles a los compuestos volátiles que desprenden. Sara Liébana©

Tabla 58: signos de degradación más habituales provocados por la acción de los contaminantes gaseosos emitidos por los plásticos. Sara Liébana©

## RELACIÓN DE FIGURAS

Figura 1: Naum Gabo en su estudio, 1935. *The Charnel-House*, 2015. Disponible en: <https://thecharnelhouse.org/2015/02/22/naum-gabo-and-antoine-pevsner/naum-gabo-in-his-studio-1935/> (consultado 2 de marzo de 2018)

Figura 2: *Head*, c.1923-4, Antoine Pevsner, escultura de plástico. Tate©, Paris y DACS, Londres, 2020. Disponible en: <https://www.tate.org.uk/art/artworks/pevsner-head-t02241> (consultado 3 de abril de 2018)

Figura 3: *Floor Cake*, 1962, Claes Oldeburg. Pintura sintética sobre lienzo relleno de espuma de poliuretano y cajas de cartón. Claes Oldenburg©. Disponible en: <https://www.moma.org/collection/works/81450> (consultado 25 de febrero de 2017)

Figura 4: cubiertas delantera y trasera del catálogo de la exposición *Chimériques polymères (MAMAC)*, realizadas por César y Arman. Artcurial©. Disponible en: <https://www.artcurial.com/fr/lot-arman-cesar-1928-2005-et-1921-1998-chimeres-polymeres-le-plastique-dans-lart-du-xxeme-1996-du> (consultado 2 de marzo de 2018)

Figura 5: *The Plastics Heritage Congress*, Lisboa, 2019. CIUHCT. Disponible en: <http://plasticsheritage2019.ciuhct.org/post-congress/> (consultado 5 de marzo de 2021).

Figura 6: CG – Olfatometría en el proyecto *Heritage Smells*. © 2017 Smell

of Heritage. Disponible en: <http://www.smellofheritage.org/preserving.html> (consultado 5 de junio de 2021)

Figura 7: objetos de plástico de la colección del Musée de la Modernité et du Textile de la Ville de Paris (Musée Galliera) conservados en bolsas zip de plástico junto a absorbente. Agnès Lattuati-Derieux, © Centre de Recherche sur la Conservation des Collections

Figura 8: originalmente los elementos plásticos de la obra eran transparentes; actualmente muestran claros síntomas de descomposición los cuales están provocando la corrosión de las partes metálicas. *Portrait of Marcel Duchamp, 1926*, Antoine Pevsner; nitrato de celulosa sobre hierro y cobre. Yale University Art Gallery©. Disponible en: <https://artgallery.yale.edu/collections/objects/43842>

Figura 9: representación esquemática de las estructuras moleculares de los polímeros: lineal (a), ramificada (b) y entrecruzada (c). En: Shashoua, Y. (2008) *Conservation of plastics. Materials, science, degradation and preservation*. Oxford: BH.

Figura 10: residuo sólido derivado de la exudación de plastificante de acetato de celulosa en el que está realizado el juguete, principios de la década de los sesenta. CRCC©. *Damage Atlas. Atlas of case studies presenting typical damages*. Disponible en: <https://popart-highlights.mnhn.fr/collection-survey/damage-atlas/index.html> (consultado 10 de julio de 2019)

Figura 11: residuo líquido derivado de la exudación de los plastificantes de ftalato del PVC con el que está realizado el chubasquero. ©C2RMF/Thomas Clot. *Damage Atlas. Atlas of case studies presenting typical damages*. Disponible en: Disponible en: <https://popart-highlights.mnhn.fr/collection-survey/damage-atlas/index.html> (consultado 25 de marzo de 2018)

Figura 12: detalle del oscurecimiento de la mano de un gnomo de jardín de PVC por la acción de la luz. TH Köln©, CICS, Lisa Burkart 2020. Disponible en: [https://www.th-koeln.de/en/terminology-for-conservation-of-plastics\\_73939.php](https://www.th-koeln.de/en/terminology-for-conservation-of-plastics_73939.php) (consultado 2 de marzo de 2018)

Figura 13: expansión térmica y fractura de materiales en una escultura de poliuretano flexible debido a la incidencia de la luz solar directa (temperatura demasiado alta). *Espectador*, de León Ferrani. En: ICCROM and Canadian Conservation Institute (2016) '*A Guide to Risk Management of Cultural Heritage*'. Canada.

Figura 14: *Ledan et le cygne*, 1946, Laszlo Moholy-Nagy, PMMA. En: Reut, T.

(1996) *Chimeriques Polymères. Le Plastique dans l'art du XXème siècle*. Niza: Musée d'art moderne et d'art contemporain, p.61.

Figura 15: *Ombre portée pour une garde-robe*, 1965, Lourdes Castro PMMA. En: Reut, T. (1996) *Chimeriques Polymères. Le Plastique dans l'art du XXème siècle*. Niza: Musée d'art moderne et d'art contemporain, p.119.

Figura 16: *Pies vendados* (1973) y *La oración* (1974) de Darío Villalba en la exposición *Figuras de lo humano*, junio de 2018, en el Museo Nacional Centro de Arte Reina Sofía. Disponible en: [https://www.museoreinasofia.es/sites/default/files/salas/informacion/427\\_esp\\_web\\_junio2018.pdf](https://www.museoreinasofia.es/sites/default/files/salas/informacion/427_esp_web_junio2018.pdf) (consultado 15 de abril de 2018)

Figura 17: *Trio of furniture*, 1969, Allen Jones. Minniemuse©. Disponible en: <https://www.minniemuse.com/articles/musings/allen-jones-furniture> (consultado 12 de mayo de 2019)

Figura 18: *Señora o Nana verde con bolso negro*, 1968, Niki de Saint Phalle, poliéster pintado. Foto: © André Morain. ©Niki Charitable Art Foundatio, Santee, EEUU. Disponible en: <http://nikidesaintphalle.guggenheim-bilbao.eus/nanas-al-poder/#señora-nana-verde> (consultado 10 de julio de 2019)

Figura 19: *A girl*, 2006, Ron Mueck; resina de poliéster, fibra de vidrio, silicona, pelo sintético y pintura polimérica sintética; segunda edición. Antonia Reeve©. Disponible en: <https://art.base.co/event/1999-ron-mueck> (consultado 10 de julio de 2019)

Figura 20: *Combustione plastica*, 1958, Alberto Burri: PVC, acrílico, tela, grapas y combustión sobre lienzo. Private collection, courtesy Sperone Westwater, Nueva York. Disponible en: <http://exhibitions.guggenheim.org/burri/art/plastic-combustions/combustione-plastica-1958> (consultado 20 de junio de 2019)

Figura 21: *Soft toilet*, 1966, Claes Oldenburg; madera, PVC, kapok, alambre, Plexiglas sobre soporte de metal y base de madera pintada. Whitney Museum of American Art, Nueva York, 50th Anniversary Gift of Mr and Mrs Victor W. Ganz ©Claes Oldenburg. Disponible en: <https://whitney.org/collection/works/425> (consultado 8 de junio de 2017)

Figura 22: *Plongée en apnée*, 2020, Franco Mazzucchelli. Franco Mazzucchelli & ChertLüdde©, Berlin. Disponible en: <https://artviewer.org/franco-mazzucchelli-at-chertludde/> (consultado 25 de agosto de 2017)

Figura 23: detalle de depósito blanquecino en la superficie de un Marsupilami de juguete hecho en PVC. TH Köln©, CICS, Lisa Burkart 2020. Disponible en: [https://www.th-koeln.de/en/terminology-for-conservation-of-plastics\\_73939.php](https://www.th-koeln.de/en/terminology-for-conservation-of-plastics_73939.php) (consultado 2 de marzo de 2018)

Figura 24: *Contingent*, 1969, Eva Hesse; tela para queso, caucho natural y fibra de vidrio . National Gallery of Australia© Disponible en: <https://cs.nga.gov.au/detail.cfm?IRN=49353> (consultado 20 de enero de 2018)

Figura 25: *To lift*, 1967, Richard Serra; caucho vulcanizado. MOMA©. Disponible en: [https://www.moma.org/learn/moma\\_learning/richard-serra-to-lift-1967/](https://www.moma.org/learn/moma_learning/richard-serra-to-lift-1967/) (consultado 20 de enero de 2018)

Figura 26: *Le surréalisme en 1947* [Prière de toucher], Marcel Duchamp. © 2021 Archivo Lafuente. Disponible en: <https://www.archivolafuente.com/obra-artistica/1900-1945/europa-y-estados-unidos/surrealismo/> (consultado 15 de enero de 2021)

Figura 27: detalle de zona quebradiza en una botella de agua caliente hecha en caucho. TH Köln©, CICS, Lisa Burkart 2020. Disponible en: [https://www.th-koeln.de/en/terminology-for-conservation-of-plastics\\_73939.php](https://www.th-koeln.de/en/terminology-for-conservation-of-plastics_73939.php) (consultado 2 de marzo de 2018)

Figura 28: *Expansion n°14*, 1970, César; espuma de poliuretano y esmalte blanco. Centre Pompidou©. Disponible en: <https://www.centrepompidou.fr/es/ressources/oeuvre/eFxPj2U> (consultado 14 de junio de 2019)

Figura 29: exposición John Chamberlain: *Foam Sculptures* en The Chinati Foundation en 2005-2006. The Chinati Foundation©. Disponible en: <https://chinati.org/john-chamberlain-foam-sculptures/> (consultado 14 de diciembre de 2020)

Figura 30: *Figures looking in the Well*, 1983, Michelangelo Pistoletto; poliuretano. P. Mussat Sartor©, Fondazione Pistoletto, Biella. Disponible en: <http://www.pistoletto.it/eng/gallerie/scultura19.htm> (consultado 20 de enero de 2018)

Figura 31: *Model for 'Column'*, 1920-1, Naum Gabo; nitrato de celulosa. Nina & Graham Williams©, Tate, 2020. Disponible en: <https://www.tate.org.uk/art/artworks/gabo-model-for-column-t02167> (consultado 8 de junio de 2017)

Figura 32: mancha verde en el lóbulo de la oreja ocasionada por la oxidación de los pendientes de cobre causada por la acción del ácido clorhídrico derivado del PVC de la Barbie

Figura 33: papel en estado de descomposición debido a las emisiones de ácido acético desprendidas por los mangos de estos cuchillos de los años cincuenta. En: Shashoua, Y. (2008b) *Conservation of plastics. Materials, science, degradation and preservation*. Oxford: BH, p.138.

Figura 34: viñeta de comic que hace referencia, en clave de humor, al olor a alcanfor de una serie de joyería de Damien Hirst realizada en nitrato de celulosa. En: Quye, A. and Williamson, C. (eds) *Plastics – Collecting and Conserving*. Edinburgh: National Museum of Scotland, p. 121.

Figura 35: modelo de *Condition Report* para plásticos propuesto por Demerouskas en 1998. En: Demerouskas, M. (ed.) (1998) *Basic Condition Reporting. A Handbook*. Manhattan: Southeastern Registrars Association.

Figura 36: sección del modelo de Condition Report para plásticos derivado del proyecto de investigación Preservation of Plastic Artefacts in Museum Collections, en la cual se hace referencia a los olores de los plásticos como síntoma de degradación. En: avédrine, B., Fournier, A. and Martin, G. (eds) (2012) *Preservation of Plastic Artefacts in Museum Collections*. Francia: CTHS.

Figura 37: A-D Strip (izquierda) y cupones metálicos; plata, plomo y cobre (derecha). Sara Liébana©

Figura 38: A-D Strips después de medir distintos grados de concentración ácida junto al lápiz de referencia proporcionado por el IPI. Sara Liébana©

Figura 39: caja antes de la modificación (cajones de madera). *Éxtasis, Status, Estatua, 1994* © Juan Luis Moraza, Guggenheim Bilbao Museoa, 2021.

Figura 40: caja después de la modificación (cajones cartón de conservación). *Éxtasis, Status, Estatua, 1994* © Juan Luis Moraza, Guggenheim Bilbao Museoa, 2021.

Figura 41: detalle del interior de uno de los nuevos cajones de cartón de conservación en el que se pueden observar parte de los tacones de la obra. *Éxtasis, Status, Estatua, 1994* © Juan Luis Moraza, Guggenheim Bilbao Museoa, 2021.

Figura 42: muestreo con A-D Strips del tacón de repuesto de la obra *Éxtasis, Status, Estatua* de Juan Luis Moraza en el contenedor mediano. *Éxtasis, Status, Estatua, 1994* © Juan Luis Moraza, Guggenheim Bilbao Museoa, 2021.

Figura 43: fotografía general de un set completo de muestras: poliuretano, caucho, poliéster, acetato de celulosa, PMMA, PVC (de izquierda a derecha); y ciclos de envejecimiento CE-0, CE-1, CE-2, CE-3 y CE-4 (de abajo a arriba). Sara Liébana©

Figura 44: espectro FTIR-ATR correspondiente con la muestra de caucho del CE-0. Sara Liébana©

Figura 45: espectro FTIR-ATR correspondiente con la muestra de caucho del CE-1. Sara Liébana©

Figura 46: espectro FTIR-ATR correspondiente con la muestra de caucho del CE-2. Sara Liébana©

Figura 47: espectro FTIR-ATR correspondiente con la muestra de caucho del CE-3. Sara Liébana©

Figura 48: espectro FTIR-ATR correspondiente con la muestra de caucho del CE-4. Sara Liébana©

Figura 49: espectro FTIR-ATR correspondiente con la muestra de acetato de celulosa del CE-0. Sara Liébana©

Figura 50: espectro FTIR-ATR correspondiente con la muestra de acetato de celulosa CE-1. Sara Liébana©

Figura 51: espectro FTIR-ATR correspondiente con la muestra de acetato de celulosa CE-2. Sara Liébana©

Figura 52: espectro FTIR-ATR correspondiente con la muestra de acetato de celulosa CE-3. Sara Liébana©

Figura 53: espectro FTIR-ATR correspondiente con la muestra de acetato de celulosa CE-4. Sara Liébana©

Figura 54: espectro FTIR-ATR correspondiente con la muestra de PVC del CE-0. Sara Liébana©

Figura 55: espectro FTIR-ATR correspondiente con la muestra de PVC del CE-1. Sara Liébana©

Figura 56: espectro FTIR-ATR correspondiente con la muestra de PVC del CE-2. Sara Liébana©

Figura 57: espectro FTIR-ATR correspondiente con la muestra de PVC del CE-3. Sara Liébana©

Figura 58: espectro FTIR-ATR correspondiente con la muestra de PVC del CE-4. Sara Liébana©

Figura 59: espectro FTIR-ATR correspondiente con la muestra de PMMA del CE-0. Sara Liébana©

Figura 60: espectro FTIR-ATR correspondiente con la muestra de PMMA del CE-1. Sara Liébana©

Figura 61: espectro FTIR-ATR correspondiente con la muestra de PMMA del CE-2. Sara Liébana©

Figura 62: espectro FTIR-ATR correspondiente con la muestra de PMMA del CE-3. Sara Liébana©

Figura 63: espectro FTIR-ATR correspondiente con la muestra de PMMA del CE-4. Sara Liébana©

Figura 64: espectro FTIR-ATR correspondiente con la muestra de poliéster del CE-0. Sara Liébana©

Figura 65: espectro FTIR-ATR correspondiente con la muestra de poliéster del CE-2. Sara Liébana©

Figura 66: espectro FTIR-ATR correspondiente con la muestra de poliéster del CE-3. Sara Liébana©

Figura 67: espectro FTIR-ATR correspondiente con la muestra de poliéster del CE-4. Sara Liébana©

Figura 68: espectro FTIR-ATR correspondiente con la muestra de poliuretano del CE-0. Sara Liébana©

Figura 69: espectro FTIR-ATR correspondiente con la muestra de poliuretano del CE-1. Sara Liébana©

Figura 70: espectro FTIR-ATR correspondiente con la muestra de poliuretano del CE-2. Sara Liébana©

Figura 71: espectro FTIR-ATR correspondiente con la muestra de poliuretano del CE-3. Sara Liébana©

Figura 72: espectro FTIR-ATR correspondiente con la muestra de poliuretano del CE-4. Sara Liébana©

Figura 73: esquema de montaje de los contenedores para la medición de compuestos volátiles ácidos: pequeño 90 cm<sup>3</sup> (A), mediano 320 cm<sup>3</sup> (B) y grande 1000 cm<sup>3</sup> (C) . Sara Liébana©

Figura 74: representación del espacio de color CIELAB. Aquateknica©. Disponible en: <https://www.aquateknica.com/conoce-el-espacio-de-color-cielab/> (consultado 8 de junio de 2017)

Figura 75: lápiz de equivalencias proporcionado por el IPI junto a las A-D Strips. Sara Liébana©

Figura 76: resultados de la medición de volátiles ácidos mediante A-D Strips en el caso del poliuretano tras el TE-3 en los que se observa una relación directa entre el grado de envejecimiento y la tasa de emisión (contenedor pequeño). Sara Liébana©

Figura 77: resultados de la medición de volátiles ácidos mediante AD Strips en el caso del poliéster tras el TE-3 en los que se observa una relación inversa entre el grado de envejecimiento y la tasa de emisión (contenedor pequeño). Sara Liébana©

Figura 78: resultados de la medición de volátiles ácidos mediante A-D Strips en el caso de las muestras de poliéster correspondientes al CE-0 y CE-1 en contenedor mediano al inicio del ensayo (izq.) y tras cuatro semanas de exposición (dcha.), en los que se observa una relación directa entre el aumento del tiempo de exposición y el incremento en la concentración de volátiles. Sara Liébana©

Figura 79: muestras de poliéster contenedor pequeño. Sara Liébana©

Figura 80: muestras de poliéster contenedor mediano. Sara Liébana©

Figura 81: muestras de poliéster contenedor grande. Sara Liébana©

Figura 82: patrón (elaboración propia) de variación colorimétrica e interpretación de resultados para comparación con las lecturas de las A-D Strips. Sara Liébana©

Figura 83: *Éxtasis, Status, Estatua*; 1994; resina sintética. *Éxtasis, Status, Estatua*, 1994 © Juan Luis Moraza, Guggenheim Bilbao Museoa, 2021.

Figura 84: tacón utilizado en el muestreo. Sara Liébana©

Figura 85: interior de uno de los cajones de madera en el que se pueden observar los tacones embalados individualmente en bolsas zip de polietileno. *Éxtasis, Status, Estatua*, 1994 © Juan Luis Moraza, Guggenheim Bilbao Museoa, 2021.

Figura 86: detalle de elemento de metal oxidado por la acción de los productos de degradación derivados del plástico. © Victoria and Albert Museum, London. Disponible en: <https://www.vam.ac.uk/blog/caring-for-our-collections/why-serve-plastics> (consultado 3 de mayo de 2020)

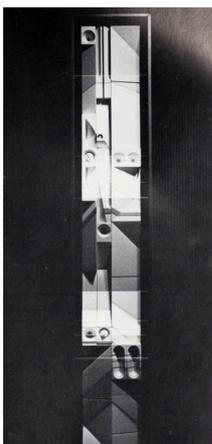
Figura 87: detalle de embalaje de la obra *Éxtasis, Status y Estatua* de Juan Luis Moraza. *Éxtasis, Status, Estatua*, 1994 © Juan Luis Moraza, Guggenheim Bilbao Museoa, 2021.

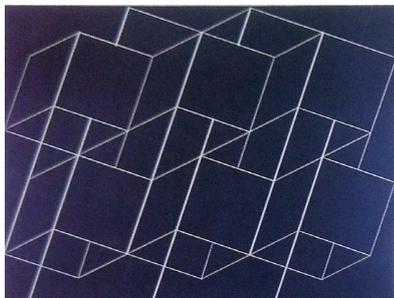


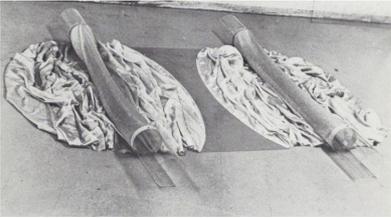
# ANEXO I

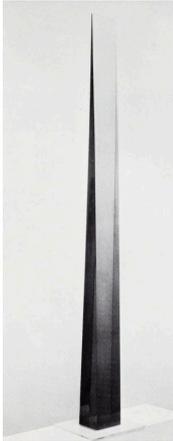
## Lista de obras

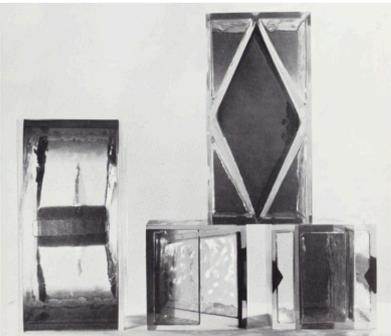
|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Agam, Yaacov   |
|   | Título     | <i>Sin título</i>  |
|   | Fecha      | 1968   |
|   | Materiales | serigrafía sobre plástico                                      |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|  |            |                                 |
|--|------------|---------------------------------|
|  | Autor      | Ajay, Abe                       |
|  | Título     | <i>Sin título</i>               |
|  | Fecha      | 1968                            |
|  | Materiales | resina de poliéster y plexiglas |
|  | Exposición | A plastic presence              |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Albers, Josef  |
|   | Título     | <i>Structural constellation JAF</i>                            |
|   | Fecha      | 1922   |
|   | Materiales | grabado sobre vinilo   |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |                                     |
|---|------------|-------------------------------------|
|  | Autor      | Alberty, John                       |
|   | Título     | <i>Sin título</i>                   |
|   | Fecha      | 1969                                |
|   | Materiales | plástico, vinilo, nylon y poliéster |
|   | Exposición | A plastic presence                  |

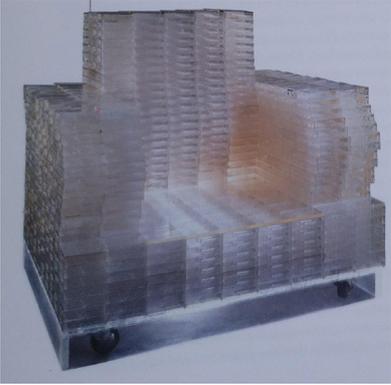
|  |            |                     |
|--|------------|---------------------|
|  | Autor      | Alexander, Peter    |
|  | Título     | <i>Blue-Green</i>   |
|  | Fecha      | 1969                |
|  | Materiales | resina de poliéster |
|  | Exposición | A plastic presence  |

|   |            |                         |
|---|------------|-------------------------|
|  | Autor      | Amino, Leo              |
|   | Título     | <i>Refractional #43</i> |
|   | Fecha      | 1969                    |
|   | Materiales | resina de poliéster     |
|   | Exposición | A plastic presence      |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Andre, Carl  |
|   | Título     | <i>9 blue evangle</i>  |
|   | Fecha      | 1983   |
|   | Materiales | plástico   |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|  |            |  |
|--|------------|--|
|  | Autor      | Archipenko, Alexander  |
|  | Título     | <i>She is the Space</i>  |
|  | Fecha      | 1947   |
|  | Materiales | plástico y metal   |
|  | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Arde Quin, Carmelo   |
|   | Título     | <i>Transparence</i>  |
|   | Fecha      | 1953-1956  |
|   | Materiales | hilo de nylon, acetire y formica                               |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Arman  |
|   | Título     | <i>Fauteuil transparent</i>                                    |
|   | Fecha      | 1988   |
|   | Materiales | plástico   |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|  |            |  |
|--|------------|--|
|  | Autor      | Arman  |
|  | Título     | <i>Coloré de contrbasse</i>                                    |
|  | Fecha      | 1966   |
|  | Materiales | contrabajo calcinado y metacrilato de metilo                   |
|  | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

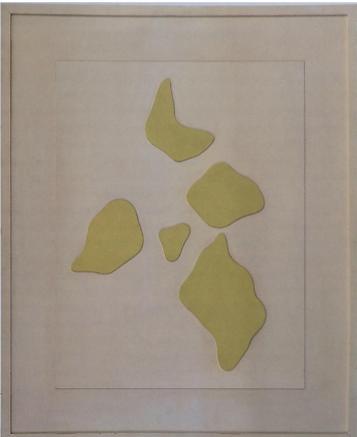
|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Arman  |
|   | Título     | <i>Vénus aux gants</i>   |
|   | Fecha      | 1963   |
|   | Materiales | guantes de plástico y resina                                   |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

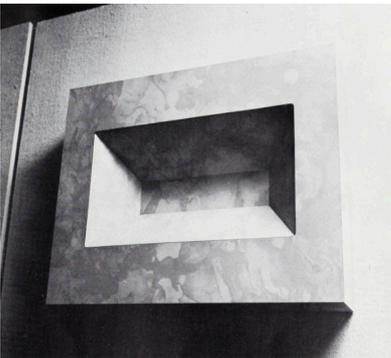
|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Arman  |
|   | Título     | <i>Stradivarius</i>  |
|   | Fecha      | 1994   |
|   | Materiales | acrílico   |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Arman  |
|   | Título     | <i>Accumulation Renault</i>                                    |
|   | Fecha      | 1971   |
|   | Materiales | hilos rojos en metacrilato de metilo                           |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Arman  |
|   | Título     | <i>Bouquet travailleur</i>                                     |
|   | Fecha      | 1964   |
|   | Materiales | herramientas, poliéster y carga mineral                        |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Arman  |
|   | Título     | <i>Poubelle de Warhol</i>                                      |
|   | Fecha      | 1969   |
|   | Materiales | poliéster  |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Arp, Jean  |
|   | Título     | <i>Constellation n° 648</i>                                    |
|   | Fecha      | 1960   |
|   | Materiales | pavatex y marco original                                       |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

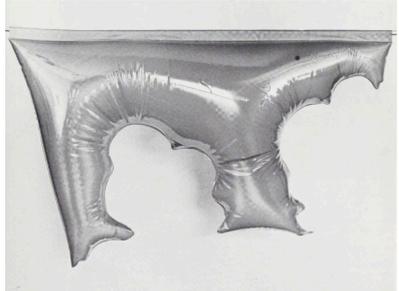
|   |            |                    |
|---|------------|--------------------|
|  | Autor      | Artswager, Richard |
|   | Título     | <i>Sin título</i>  |
|   | Fecha      | 1968               |
|   | Materiales | formica y madera   |
|   | Exposición | A plastic presence |

|   |            |   |
|---|------------|---|
|  | Autor      | Artswager, Richard  |
|   | Título     | <i>Book III (Laocoon)</i>   |
|   | Fecha      | 1981  |
|   | Materiales | formica, manillas metálicas y conjín de escay (Skai®= 88% PVC; 10% tejido PES de poliéster y 2% compuesto Nano-Hightec) |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle  |

|   |            |                          |
|---|------------|--------------------------|
|  | Autor      | Ballaine, Jerry          |
|   | Título     | <i>Air tight #11</i>     |
|   | Fecha      | 1969                     |
|   | Materiales | plástico y laca acrílica |
|   | Exposición | A plastic presence       |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Bartolani, Judith y Caillol, Claude                            |
|   | Título     | <i>Le visite des marchands aux artistas</i>                    |
|   | Fecha      | 1991   |
|   | Materiales | madera, espuan de poliuretano, vidrio y cromo                  |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |                                |
|---|------------|--------------------------------|
|  | Autor      | Bassler, Robert                |
|   | Título     | <i>Anatome Enclosure</i>       |
|   | Fecha      | 1968                           |
|   | Materiales | resina de poliéster y aluminio |
|   | Exposición | A plastic presence             |

|   |            |                     |
|---|------------|---------------------|
|  | Autor      | Baxter, Lain        |
|   | Título     | <i>Skyscape</i>     |
|   | Fecha      | 1968                |
|   | Materiales | plástico y aluminio |
|   | Exposición | A plastic presence  |

|   |            |                       |
|---|------------|-----------------------|
|  | Autor      | Bean, Bennett         |
|   | Título     | <i>3 President Ho</i> |
|   | Fecha      | 1967 - 1968           |
|   | Materiales | Fibra de vidrio       |
|   | Exposición | A plastic presence    |

|   |            |                             |
|---|------------|-----------------------------|
|  | Autor      | Beasley, Bruce              |
|   | Título     | <i>Stamper's Lighthouse</i> |
|   | Fecha      | 1967                        |
|   | Materiales | Lucite                      |
|   | Exposición | A plastic presence          |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Ben  |
|   | Título     | <i>Tête en mousse - Tu es partie en laissant ton empreinte</i> |
|   | Fecha      | 1993   |
|   | Materiales | cartón y espuma de poliuretano                                 |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Ben  |
|   | Título     | <i>Bienvenue dans la société de consommation</i>               |
|   | Fecha      | 1989   |
|   | Materiales | acero y muñecas de plástico                                    |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Ben  |
|   | Título     | <i>Composition plastique</i>                                   |
|   | Fecha      | 1996   |
|   | Materiales | plástico, madera y mortero                                     |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

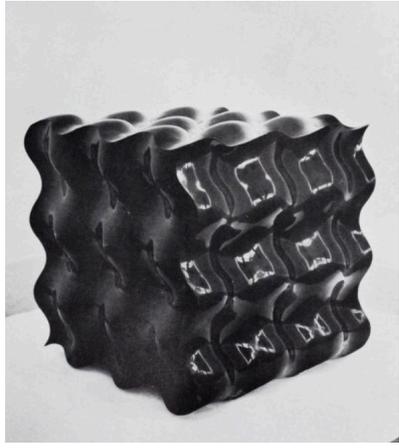
|   |            |   |
|---|------------|---|
|  | Autor      | Ben   |
|   | Título     | <i>A flux suicid fit</i>  |
|   | Fecha      | 1961-1970   |
|   | Materiales | metacrilato de metilo, cordón, papel japonés, pieza de vidrio, cerillas, hojas de afeitar y materiales diversos |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle  |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Ben  |
|   | Título     | <i>Fourre-tout n°2: contenu (dans aucun ordre)</i>             |
|   | Fecha      | 1967   |
|   | Materiales | plástico y materiales diversos                                 |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Ben  |
|   | Título     | <i>Pour la brocante à Ben</i>                                  |
|   | Fecha      | 1977   |
|   | Materiales | papel kraft, papel y plástico                                  |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

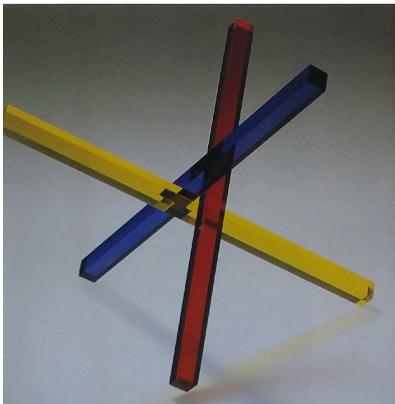
|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Ben  |
|   | Título     | <i>What about art?, Press</i>                                  |
|   | Fecha      | 1979   |
|   | Materiales | tinta negra, lienzo, cartón, plástico                          |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Benglis, Lynda   |
|   | Título     | <i>Contraband</i>  |
|   | Fecha      | 1969   |
|   | Materiales | látex pigmentado   |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

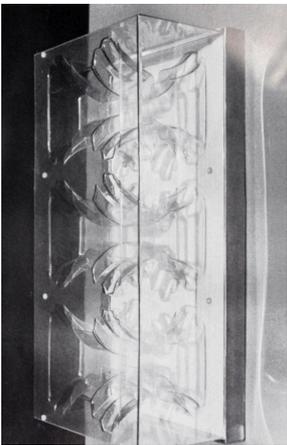
|   |            |                     |
|---|------------|---------------------|
|  | Autor      | Bennett, John       |
|   | Título     | <i>President Ho</i> |
|   | Fecha      | 1968                |
|   | Materiales | fibra de vidrio     |
|   | Exposición |                     |

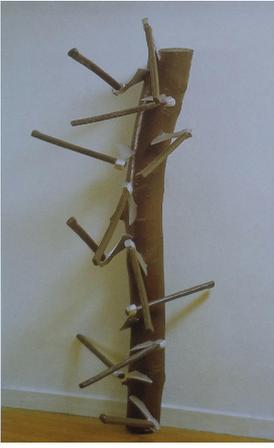
|  |            |  |
|--|------------|--|
|  | Autor      | Bickerton, Ashley  |
|  | Título     | <i>Self portrait: dessert island head</i>                      |
|  | Fecha      | 1993   |
|  | Materiales | caucho, pelo humano, acero, coco y piedras de río              |
|  | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Bieler, Ted                            |
|   | Título     | <i>Wave</i>                            |
|   | Fecha      | 1967                                   |
|   | Materiales | Fibra de vidrio reforzada con plástico |
|   | Exposición | A plastic presence                     |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Bill, Max  |
|   | Título     | <i>Einheit aus drei gleichen volumen</i>                       |
|   | Fecha      | 1968   |
|   | Materiales | metacrilato de metilo teñido                                   |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|  |            |  |
|--|------------|--|
|  | Autor      | Bill, Max  |
|  | Título     | <i>3-bis 8-3ck, farbig</i>                                     |
|  | Fecha      | 1935-1975  |
|  | Materiales | metacrilato de metilo con colores impresos                     |
|  | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |                           |
|---|------------|---------------------------|
|  | Autor      | Black, David              |
|   | Título     | <i>266 VAK</i>            |
|   | Fecha      | 1969                      |
|   | Materiales | Uvex, acrílico y aluminio |
|   | Exposición | A plastic presence        |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Bossut, Etienne  |
|   | Título     | <i>No future</i>   |
|   | Fecha      | 1983   |
|   | Materiales | poliestireno teñido y laca plateada                            |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

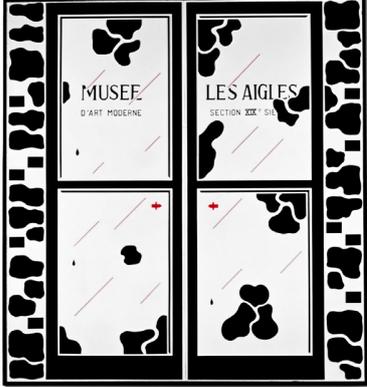
|  |            |  |
|--|------------|--|
|  | Autor      | Boto, Martha   |
|  | Título     | <i>Déplacements jaunes</i>                                     |
|  | Fecha      | 1969   |
|  | Materiales | caja cinética y metacrialto de metilo                          |
|  | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Bourgeois, Louise  |
|   | Título     | <i>Lair</i>  |
|   | Fecha      | 1986   |
|   | Materiales | caucho   |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

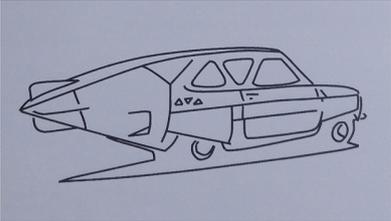
|   |            |   |
|---|------------|---|
|  | Autor      | BP  |
|   | Título     | <i>Sportsmen</i>  |
|   | Fecha      | 1993  |
|   | Materiales | acero, cascos integrados en plástico, bomba eléctrica y aceite de drenaje |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle            |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Brecht, George   |
|   | Título     | <i>Games and puzzles</i>                                       |
|   | Fecha      | 1965   |
|   | Materiales | plástico, papel y materiales diversos                          |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Brecht, George   |
|   | Título     | <i>Deck</i>  |
|   | Fecha      | 1966-1969  |
|   | Materiales | plástico, mapa y papel   |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Broodthaers, Marcel  |
|   | Título     | <i>Section XIXème siècle, Les portes</i>                       |
|   | Fecha      | 1969   |
|   | Materiales | placa de plástico estampada y pintada                          |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|  |            |  |
|--|------------|--|
|  | Autor      | Bruel, Jacques   |
|  | Título     | <i>Purpur Combo</i>  |
|  | Fecha      | 1987-1991  |
|  | Materiales | polietileno  |
|  | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Bublex, Alain  |
|   | Título     | <i>Fresque</i>   |
|   | Fecha      | 1996   |
|   | Materiales | cinta adhesiva y letraset                                      |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Burri, Alberto   |
|   | Título     | <i>Bianco</i>  |
|   | Fecha      | 1996   |
|   | Materiales | plástico quemado sobre tela                                    |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

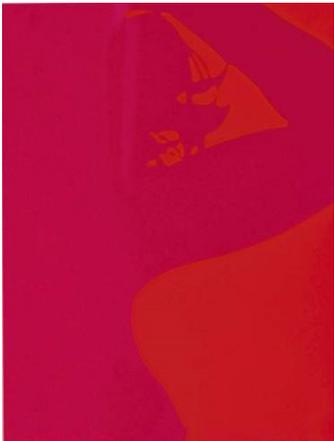
|  |            |  |
|--|------------|--|
|  | Autor      | Bury, Pol  |
|  | Título     | <i>Pontuaction 10145 points blancs</i>                         |
|  | Fecha      |  |
|  | Materiales | plástico   |
|  | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

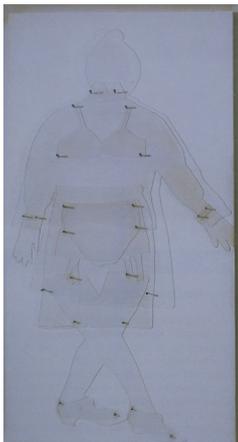
|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Cage, John   |
|   | Título     | <i>No wanting to say anything about Marcel</i>                 |
|   | Fecha      | 1965   |
|   | Materiales | vinilometilo   |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Cage, John   |
|   | Título     | <i>Nova Musica</i>   |
|   | Fecha      | 1947   |
|   | Materiales | vinilo   |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|  |            |   |
|--|------------|---|
|  | Autor      | Caminha, Helena   |
|  | Título     | <i>Translúcida</i>  |
|  | Fecha      | 1970  |
|  | Materiales | acrílico  |
|  | Exposición | Acervo em plástico da Pinacoteca: problemáticas de conservação e restauro |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Castellas, Denis   |
|   | Título     | <i>Sin título</i>  |
|   | Fecha      | 1993   |
|   | Materiales | fotocopia coloreada en plástico, madera y metales              |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Castro, Lourdes  |
|   | Título     | <i>Ombre portée rose et rose décallé</i>                       |
|   | Fecha      | 1966   |
|   | Materiales | PMMA   |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Castro, Lourdes  |
|   | Título     | <i>Ombre portée pour une garde-robe</i>                        |
|   | Fecha      | 1965   |
|   | Materiales | metacrilato de metilo  |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

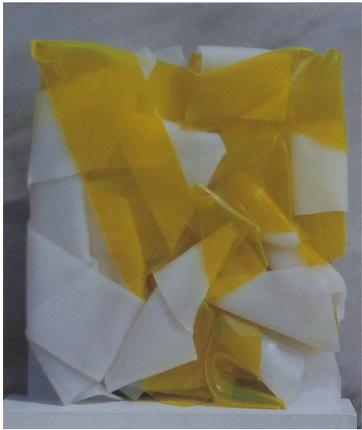
|   |            |   |
|---|------------|---|
|  | Autor      | Castro, Lourdes                                       |
|   | Título     | <i>Sombra de Dália</i>                                |
|   | Fecha      | 1970  |
|   | Materiales | Rodhoïd   |
|   | Exposición | Plasticidade - Uma História dos Plásticos em Portugal |

|   |            |   |
|---|------------|---|
|  | Autor      | Castro, Lourdes                                       |
|   | Título     | <i>Sombra proyectada de Arroyo</i>                    |
|   | Fecha      | 1971  |
|   | Materiales | Rodhoïd   |
|   | Exposición | Plasticidade - Uma História dos Plásticos em Portugal |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Cesar  |
|   | Título     | <i>Le Sein (rose)</i>  |
|   | Fecha      | 1973-1978  |
|   | Materiales | poliuretano  |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Cesar  |
|   | Título     | <i>Bouilloire avec coulées</i>                                 |
|   | Fecha      | 1970   |
|   | Materiales | metal y poliuretano  |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Cesar  |
|   | Título     | <i>Expansion colorée</i>                                       |
|   | Fecha      | 1970   |
|   | Materiales | plástico y poliuretano   |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|  |            |  |
|--|------------|--|
|  | Autor      | Cesar  |
|  | Título     | <i>Compression plexi murale</i>                                |
|  | Fecha      | 1968   |
|  | Materiales | PMMA   |
|  | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Cesar  |
|   | Título     | <i>Expansion n°17-18, Les Jumelles</i>                         |
|   | Fecha      | 1969   |
|   | Materiales | espuma de poliuretano expandido                                |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

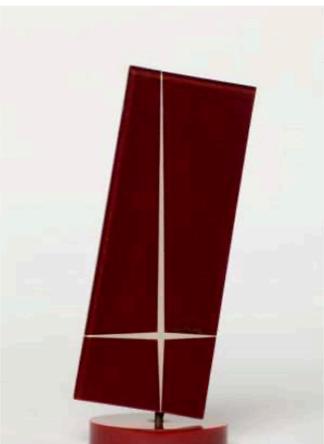
|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Cesar  |
|   | Título     | <i>Compression plastique</i>                                   |
|   | Fecha      | 1973   |
|   | Materiales | metacrilato de metilo  |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Cesar  |
|   | Título     | <i>Objet enveloppé</i>   |
|   | Fecha      | 1971   |
|   | Materiales | ventilador y metacrilato de metilo                             |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Chamberlain, John  |
|   | Título     | <i>Kootan</i>  |
|   | Fecha      | 1967   |
|   | Materiales | espuma de poliuretano y cuerda                                 |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

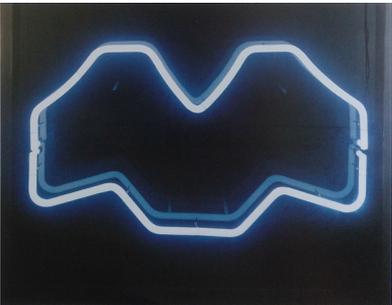
|   |            |   |
|---|------------|---|
|  | Autor      | Charoux, Lothar   |
|   | Título     | <i>Sin título</i>   |
|   | Fecha      | 1997  |
|   | Materiales | acrílico y papel  |
|   | Exposición | Acervo em plástico da Pinacoteca: problemáticas de conservação e restauro |

|   |            |   |
|---|------------|---|
|  | Autor      | Charoux, Lothar   |
|   | Título     | <i>Sin título</i>   |
|   | Fecha      | 1997  |
|   | Materiales | pintura acrílica y papel  |
|   | Exposición | Acervo em plástico da Pinacoteca: problemáticas de conservação e restauro |

|   |            |   |
|---|------------|---|
|  | Autor      | Charoux, Lothar   |
|   | Título     | <i>Composição</i>   |
|   | Fecha      | 2003  |
|   | Materiales | resina acrílica sobre papel   |
|   | Exposición | Acervo em plástico da Pinacoteca: problemáticas de conservação e restauro |

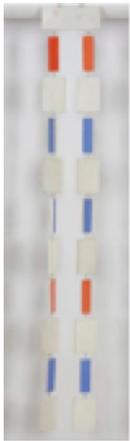
|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Charvolen, Max   |
|   | Título     | <i>Au Cannet - Palier, escalier, rampe</i>                     |
|   | Fecha      | 1993-1994  |
|   | Materiales | papel, resina acrílica y pigmentos                             |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Christo y Jeanne-Claude  |
|   | Título     | <i>Package on luggage rack</i>                                 |
|   | Fecha      | 1962   |
|   | Materiales | metal, papel, polietileno, cuerda y caucho                     |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Chryssa  |
|   | Título     | <i>Birds</i>   |
|   | Fecha      | 1969   |
|   | Materiales | caja de luz, neón y placas de metacrilato de metilo            |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Chubac, Albert   |
|   | Título     | <i>Modifiable mural</i>  |
|   | Fecha      | 1967   |
|   | Materiales | metacrilato de metilo y madera                                 |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|  |            |  |
|--|------------|--|
|  | Autor      | Chubac, Albert   |
|  | Título     | <i>Stèle modifiable</i>  |
|  | Fecha      | 1972   |
|  | Materiales | metacrilato de metilo  |
|  | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

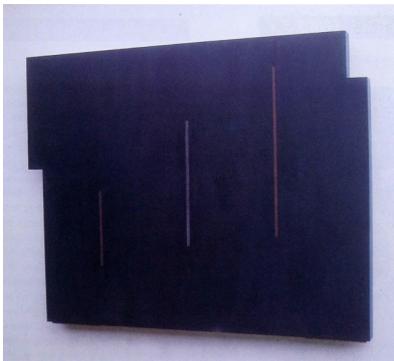
|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Chubac, Albert   |
|   | Título     | <i>Mobile à suspendre</i>                                      |
|   | Fecha      | 1980   |
|   | Materiales | metacrilato de metilo  |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Claisse, Geneviève   |
|   | Título     | <i>Relief</i>  |
|   | Fecha      | 1989   |
|   | Materiales | metacrilato de metilo  |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|  |            |  |
|--|------------|--|
|  | Autor      | Clancy, Tom  |
|  | Título     | <i>Gold Corner</i>   |
|  | Fecha      | 1969   |
|  | Materiales | fibra de vidrio reforzada con poliéster chapado en oro, poliuretano y acero oxidado en negro |
|  | Exposición | A plastic presence   |

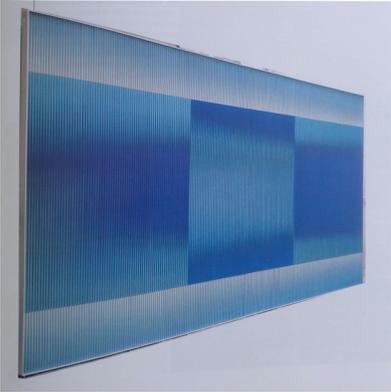
|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Colombo, Gianni  |
|   | Título     | <i>Strutturazione Acentrica</i>                                |
|   | Fecha      | 1962   |
|   | Materiales | metacrilato de metilo, metal y mortero                         |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|  |            |   |
|--|------------|---|
|  | Autor      | Combas, Robert  |
|  | Título     | <i>Ave César! (remplacer Jules par Auguste ou Antoine, au choix)/Ave César! Les légions de César quand elles attaquaient et s'étiraient comme des extensions éjaculatoires n'étaient pas des œuvres d'art/Avé César! Dis le centurion au sculpteur des légions romaines le grand chef militaire qui a passé l'Europe et le Nord de l'Afrique au rouleau compresseur. Alors César Baldaccini, c'était peut-être Jules César dans une autre drôle de vie. Et Jules, il était petit et raleur avec une grande barbe!</i> |
|  | Fecha      | 1995  |
|  | Materiales | resina pintada  |
|  | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle  |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Cousinier, Bernard   |
|   | Título     | <i>Passeplan</i>   |
|   | Fecha      |  |
|   | Materiales | látex, madera e incrustaciones                                 |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Cragg, Tony  |
|   | Título     | <i>La Lune Bleue</i>   |
|   | Fecha      | 1980   |
|   | Materiales | plástico   |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|  |            |   |
|--|------------|---|
|  | Autor      | Cravo Neto, Mário   |
|  | Título     | <i>Sin título</i>   |
|  | Fecha      | 1969  |
|  | Materiales | acrílico y arena  |
|  | Exposición | Acervo em plástico da Pinacoteca: problemáticas de conservação e restauro |

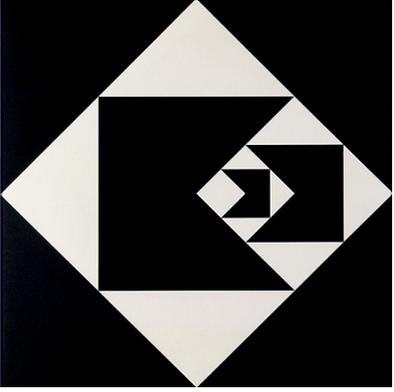
|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Cruz-Diez, Carlos  |
|   | Título     | <i>Physichrome n° 2222</i>                                     |
|   | Fecha      | 1988   |
|   | Materiales | PVC y aluminio   |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Cubert, Bill   |
|   | Título     | <i>Sin título</i>  |
|   | Fecha      | 1990   |
|   | Materiales | neón y plástico  |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |   |
|---|------------|---|
|  | Autor      | D'Amico, Tereza   |
|   | Título     | <i>Yemanjá, rainha do mar</i>   |
|   | Fecha      | 1958  |
|   | Materiales | pegamento, cuentas, lentejuelas, papel, plástico, purpurina y tinta sobre papel |
|   | Exposición | Acervo em plástico da Pinacoteca: problemáticas de conservação e restauro       |

|   |            |   |
|---|------------|---|
|  | Autor      | De Andrade, Farnese   |
|   | Título     | <i>O leite das crianças</i>   |
|   | Fecha      | 1978  |
|   | Materiales | madera, plástico y resina   |
|   | Exposición | Acervo em plástico da Pinacoteca: problemáticas de conservação e restauro |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | De Andrea, John  |
|   | Título     | <i>Fresheld Woman</i>  |
|   | Fecha      | 1974   |
|   | Materiales | resina de poliéster  |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |   |
|---|------------|---|
|  | Autor      | de Barros, Geraldo  |
|   | Título     | <i>Homenagem a Volpi</i>  |
|   | Fecha      | 1983  |
|   | Materiales | melamina, aglomerado y metal  |
|   | Exposición | Acervo em plástico da Pinacoteca: problemáticas de conservação e restauro |

|   |            |   |
|---|------------|---|
|  | Autor      | de Lamônica, Roberto  |
|   | Título     | <i>The trap</i>   |
|   | Fecha      | 1972  |
|   | Materiales | mixta sobre papel   |
|   | Exposición | Acervo em plástico da Pinacoteca: problemáticas de conservação e restauro |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | de Saint Phalle, Niki  |
|   | Título     | <i>Miroir</i>  |
|   | Fecha      | 1980   |
|   | Materiales | poliéster policromado  |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|  |            |  |
|--|------------|--|
|  | Autor      | de Saint Phalle, Niki  |
|  | Título     | <i>Lampe</i>   |
|  | Fecha      | 1994   |
|  | Materiales | plástico y hierro  |
|  | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | de Saint Phalle, Niki  |
|   | Título     | <i>Torsade rouge</i>   |
|   | Fecha      | 1964   |
|   | Materiales | hilos de colores, yeso y resina                                |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

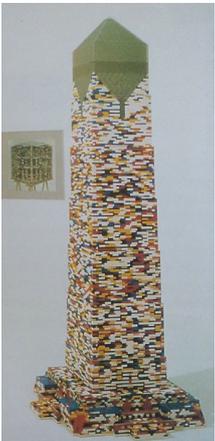
|   |            |   |
|---|------------|---|
|  | Autor      | de Saint Phalle, Niki   |
|   | Título     | <i>Fontaine aux quatre nanas (Fonte das quatro nanás)</i>                 |
|   | Fecha      | 1998  |
|   | Materiales | pintura sobre plástico  |
|   | Exposición | Acervo em plástico da Pinacoteca: problemáticas de conservação e restauro |

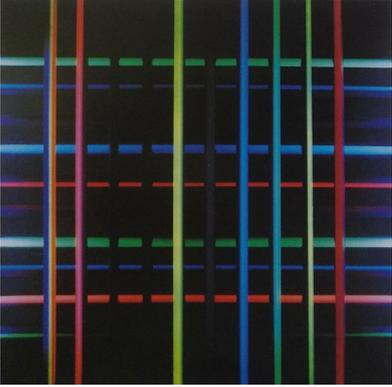
|   |            |   |
|---|------------|---|
|  | Autor      | de Saint Phalle, Niki   |
|   | Título     | <i>Nana</i>   |
|   | Fecha      | c.1990  |
|   | Materiales | tinta y plástico  |
|   | Exposición | Acervo em plástico da Pinacoteca: problemáticas de conservação e restauro |

|   |            |   |
|---|------------|---|
|  | Autor      | de Saint Phalle, Niki   |
|   | Título     | <i>Nana</i>   |
|   | Fecha      | c.1990  |
|   | Materiales | tinta y plástico  |
|   | Exposición | Acervo em plástico da Pinacoteca: problemáticas de conservação e restauro |

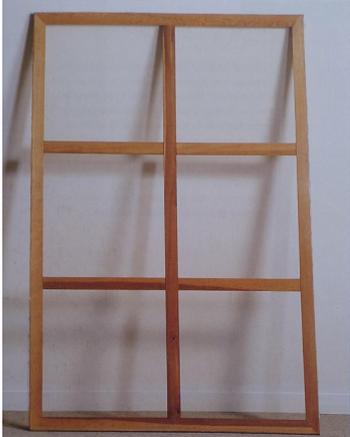
|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Degani, Eugenio  |
|   | Título     | <i>Il Cannelto</i>   |
|   | Fecha      | 1970   |
|   | Materiales | metacrilato acrílico   |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Degani, Eugenio  |
|   | Título     | <i>Cubo</i>  |
|   | Fecha      | 1965   |
|   | Materiales | metacrilato de metilo  |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Deleu, Luc   |
|   | Título     | <i>Obélisque</i>   |
|   | Fecha      | 1983   |
|   | Materiales | piezas de Lego   |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Demarco, Hugo  |
|   | Título     | <i>Mouvement horizontal et vertical</i>                        |
|   | Fecha      | 1968-1992  |
|   | Materiales | caja negra, amarilla, azul, rosa y plástico                    |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Dewasne, Jean  |
|   | Título     | <i>La voix lactée</i>  |
|   | Fecha      | 1966   |
|   | Materiales | aceite, esmalte y poliéster                                    |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Dezeuze, Daniel  |
|   | Título     | <i>Chassis plastique tendu</i>                                 |
|   | Fecha      | 1967   |
|   | Materiales | madera y plástico transparente                                 |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |   |
|---|------------|---|
|  | Autor      | Di Prete, Danilo  |
|   | Título     | <i>Estrela preta</i>  |
|   | Fecha      | 1971  |
|   | Materiales | acrílico, espuma de polímero, madera, plástico, resina y vidrio           |
|   | Exposición | Acervo em plástico da Pinacoteca: problemáticas de conservação e restauro |

|  |            |  |
|--|------------|--|
|  | Autor      | Di Rosa, Richard   |
|  | Título     | <i>Femme enceinte</i>  |
|  | Fecha      | 1991   |
|  | Materiales | resina de poliéster  |
|  | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Dietman, Erik  |
|   | Título     | <i>La Coiffeuse</i>  |
|   | Fecha      | 1963   |
|   | Materiales | madera y yeso  |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

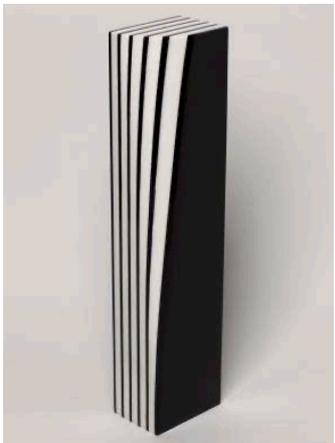
|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Domela, César  |
|   | Título     | <i>Relief, construction en brun et bleu n° 13 b</i>            |
|   | Fecha      | 1937   |
|   | Materiales | cobre, latón oxidado, metacrilato de metilo, madera            |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|  |            |  |
|--|------------|--|
|  | Autor      | Dubuffet, Jean   |
|  | Título     | <i>Tête Profilée</i>   |
|  | Fecha      | 1971   |
|  | Materiales | epoxi pintado con poliuretano                                  |
|  | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

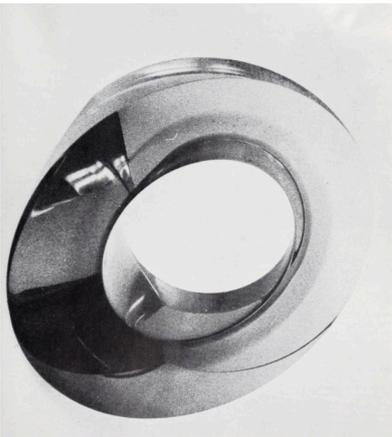
|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Duchamp, Marcel  |
|   | Título     | <i>Pliant de voyage</i>  |
|   | Fecha      | 1916-1964  |
|   | Materiales | underwood (PVC)  |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |   |
|---|------------|---|
|  | Autor      | Duchamp, Marcel   |
|   | Título     | <i>La Boîte valise</i>  |
|   | Fecha      | 1936-1968   |
|   | Materiales | cartón, papel, película de celuloide, reproducciones fotográficas, plástico y gouache |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle                        |

|   |            |   |
|---|------------|---|
|  | Autor      | Escada, José  |
|   | Título     | <i>L'homme écrasé par le cheval</i>                   |
|   | Fecha      | 1967  |
|   | Materiales | acetato de celulosa                                   |
|   | Exposición | Plasticidade - Uma História dos Plásticos em Portugal |

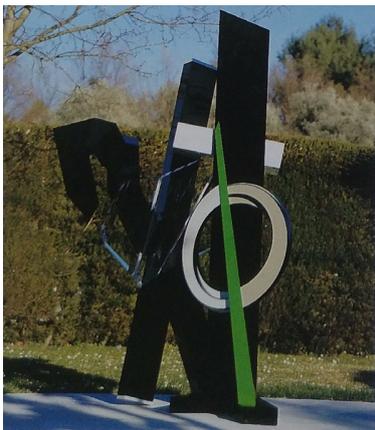
|   |            |   |
|---|------------|---|
|  | Autor      | Esmeraldo, Sérvulo  |
|   | Título     | <i>Sin título</i>   |
|   | Fecha      | 1974  |
|   | Materiales | acrílico  |
|   | Exposición | Acervo em plástico da Pinacoteca: problemáticas de conservação e restauro |

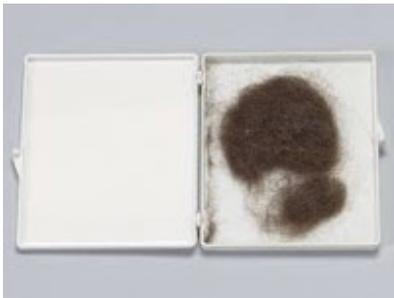
|   |            |   |
|---|------------|---|
|  | Autor      | Esmeraldo, Sérvulo  |
|   | Título     | <i>To spin, span, spun</i>  |
|   | Fecha      | 1971  |
|   | Materiales | madera, acrílico y metal  |
|   | Exposición | Acervo em plástico da Pinacoteca: problemáticas de conservação e restauro |

|  |            |                      |
|--|------------|----------------------|
|  | Autor      | Eversley, Fred       |
|  | Título     | <i>Oblique Prism</i> |
|  | Fecha      | 1969                 |
|  | Materiales | resina de poliéster  |
|  | Exposición | A plastic presence   |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Farhi, Jean-Claude   |
|   | Título     | <i>Division jaune fluo</i>                                     |
|   | Fecha      | 1969   |
|   | Materiales | polimetacrilato de metilo                                      |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Farhi, Jean-Claude   |
|   | Título     | <i>Maquette de la sculpture de l'Hotel Arenas</i>              |
|   | Fecha      | 1990   |
|   | Materiales | polimetacrilato de metilo                                      |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Farhi, Jean-Claude   |
|   | Título     | <i>Coco loco</i>   |
|   | Fecha      | 1996   |
|   | Materiales | polimetacrilato de metilo                                      |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Filliou, Robert  |
|   | Título     | <i>Fluxhair</i>  |
|   | Fecha      | 1968   |
|   | Materiales | cabello y bote   |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Fischli et Weiss   |
|   | Título     | <i>Marokkanisches sitzkissen</i>                               |
|   | Fecha      | 1987   |
|   | Materiales | caucho   |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|  |            |  |
|--|------------|--|
|  | Autor      | Fischli et Weiss   |
|  | Título     | <i>Wurzel</i>  |
|  | Fecha      | 1987   |
|  | Materiales | caucho   |
|  | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Fischli et Weiss   |
|   | Título     | <i>Hundenape</i>   |
|   | Fecha      | 1987   |
|   | Materiales | caucho   |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Fischli et Weiss   |
|   | Título     | <i>Uomo intimo</i>   |
|   | Fecha      | 1987   |
|   | Materiales | caucho   |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

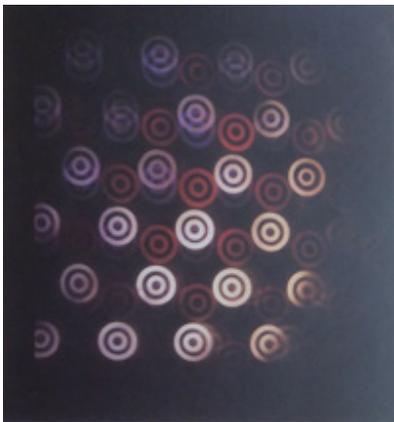
|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Fontana, Lucio   |
|   | Título     | <i>División de lona amarilla</i>                               |
|   | Fecha      |  |
|   | Materiales | PVC  |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Francken, Ruth   |
|   | Título     | <i>Homme</i>   |
|   | Fecha      | 1972   |
|   | Materiales | acero inoxidable pulido y poliéster                            |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Friedmann, Gloria  |
|   | Título     | <i>La rivière d'une nuit d'hiver</i>                           |
|   | Fecha      | 1983   |
|   | Materiales | madera contrachapada y plexiglas                               |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

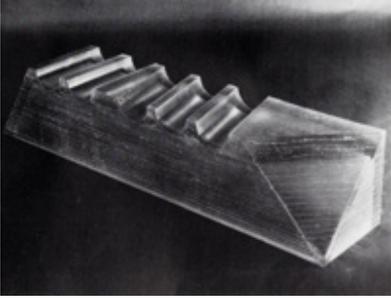
|  |            |  |
|--|------------|--|
|  | Autor      | Gabo, Naum   |
|  | Título     | <i>Construction on a plane</i>                                 |
|  | Fecha      | 1937   |
|  | Materiales | madera, perspex y celuloide                                    |
|  | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |                              |
|---|------------|------------------------------|
|  | Autor      | Gallo, Frank                 |
|   | Título     | <i>Seated Female, Figure</i> |
|   | Fecha      | 1969                         |
|   | Materiales | epoxy                        |
|   | Exposición | A plastic presence           |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | García Rossi, Horacio  |
|   | Título     | <i>Boîte Lumière / Couleurs / Motifs changeables</i>           |
|   | Fecha      | número 87  |
|   | Materiales | caja de luz y plástico   |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Gette, Paul-Armand   |
|   | Título     | <i>Tétraèdrite (cristal jaune)</i>                             |
|   | Fecha      | 1969   |
|   | Materiales | polimetacrilato de metilo                                      |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Gette, Paul-Armand   |
|   | Título     | <i>Ilvaïte (cristaux souples)</i>                              |
|   | Fecha      | 1971   |
|   | Materiales | polietileno  |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |                      |
|---|------------|----------------------|
|  | Autor      | Gianakos, Cristos    |
|   | Título     | <i>Sculpture #33</i> |
|   | Fecha      |                      |
|   | Materiales | resina de poliéster  |
|   | Exposición | A plastic presence   |

|   |            |                          |
|---|------------|--------------------------|
|  | Autor      | Gianakos, Stylianos      |
|   | Título     | <i>Sin título</i>        |
|   | Fecha      | 1969                     |
|   | Materiales | fibra de vidrio y madera |
|   | Exposición | A plastic presence       |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Gibrat, Danièle  |
|   | Título     | <i>Au fil de l'eau</i>   |
|   | Fecha      | 1994   |
|   | Materiales | pastel, películas, silicona y madera                           |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Gilardi, Piero   |
|   | Título     | <i>Désert</i>  |
|   | Fecha      | 1993   |
|   | Materiales | poliuretano expandido  |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|  |            |  |
|--|------------|--|
|  | Autor      | Gilli, Claude  |
|  | Título     | <i>Monument à ña bave</i>                                      |
|  | Fecha      | 1995   |
|  | Materiales | acrilonitrilo y poliéster                                      |
|  | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

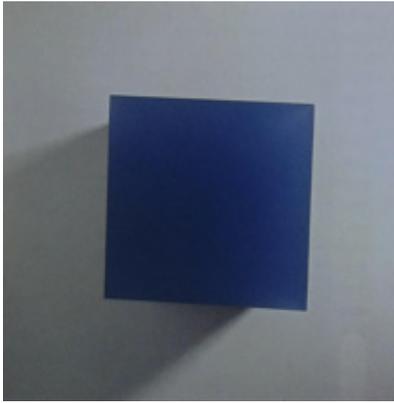
|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Gilli, Claude  |
|   | Título     | <i>Proposition pour remplacer l'ormeau de la place du village de Berre les Alpes</i> |
|   | Fecha      | 1994   |
|   | Materiales | maqueta, acrilonitrilo y poliéster   |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle                       |

|   |            |   |
|---|------------|---|
|  | Autor      | Goloborotko, Sheila   |
|   | Título     | <i>Pensamentos comuns XXII, da série "Pensamentos comuns"</i>             |
|   | Fecha      | 2004  |
|   | Materiales | acrílico y monotipia sobre acetato  |
|   | Exposición | Acervo em plástico da Pinacoteca: problemáticas de conservação e restauro |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Grand, Toni  |
|   | Título     | <i>Sin título</i>  |
|   | Fecha      | 1977   |
|   | Materiales | madera, alquitrán y poliéster                                  |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Haass, Terry   |
|   | Título     | <i>Sakkara III</i>   |
|   | Fecha      | 1994   |
|   | Materiales | polimetacrilato de metilo, acero y espejo                      |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Hains, Raymond   |
|   | Título     | <i>Sin título</i>  |
|   | Fecha      | 1990   |
|   | Materiales | metacrilato de metilo, acero y plástico                        |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Hamak, Herbert   |
|   | Título     | <i>O.T.</i>  |
|   | Fecha      | 1992   |
|   | Materiales | pigmento azul, aglutinante polimérico y lienzo                 |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Hanson, Duane  |
|   | Título     | <i>Old woman in a folding chair</i>                            |
|   | Fecha      | 1976   |
|   | Materiales | resina policromada, aceite y accesorios                        |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |                     |
|---|------------|---------------------|
|  | Autor      | Hesse, Eva          |
|   | Título     | <i>Right afeter</i> |
|   | Fecha      | 1969                |
|   | Materiales | fibra de vidrio     |
|   | Exposición | A plastic presence  |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Hesse, Eva   |
|   | Título     | <i>Enclosed</i>  |
|   | Fecha      | 1973   |
|   | Materiales | plástico   |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Hesse, Eva   |
|   | Título     | <i>Sin título</i>  |
|   | Fecha      | 1976   |
|   | Materiales | caucho, yeso, papel maché y metal                              |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Holt, Sara   |
|   | Título     | <i>Cône à couleurs</i>   |
|   | Fecha      | 1976   |
|   | Materiales | resina de poliéster  |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Holt, Sara   |
|   | Título     | <i>Sin título</i>  |
|   | Fecha      | 1970   |
|   | Materiales | resina de poliéster y plástico                                 |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Jaccard, Christian   |
|   | Título     | <i>Brûlis - BRN 08</i>   |
|   | Fecha      | 1990   |
|   | Materiales | neopreno, acrílico y madera                                    |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

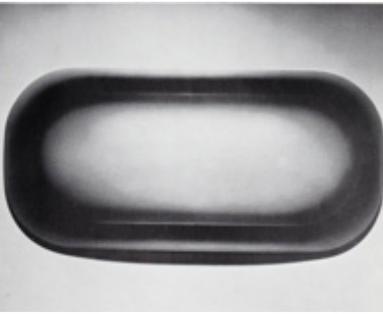
|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Jacquet, Alain   |
|   | Título     | <i>Bulldozer</i>   |
|   | Fecha      | 1968   |
|   | Materiales | serigrafía sobre metacrilato de metilo                         |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Jacquet, Alain   |
|   | Título     | <i>Bouée</i>   |
|   | Fecha      |  |
|   | Materiales | plástico   |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

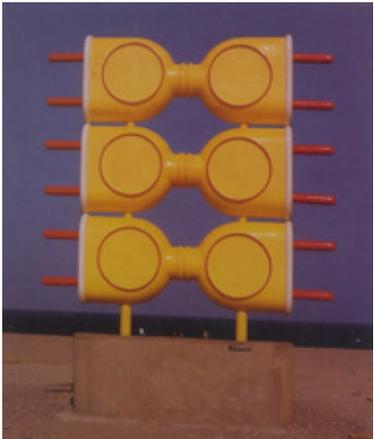
|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Jones, Allen   |
|   | Título     | <i>Girl on table</i>   |
|   | Fecha      | 1987 - 1989  |
|   | Materiales | resina de poliéster y fibra de vidrio                          |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |                               |
|---|------------|-------------------------------|
|  | Autor      | Jones, Williams F.            |
|   | Título     | <i>A collection of rocks</i>  |
|   | Fecha      |                               |
|   | Materiales | querry ore, gravet y plástico |
|   | Exposición | A plastic presence            |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Judd, Donald   |
|   | Título     | <i>Sin título</i>  |
|   | Fecha      | 1969   |
|   | Materiales | latón pulido y metacrilato de metilo                           |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |                    |
|---|------------|--------------------|
|  | Autor      | Kauffman, Craig    |
|   | Título     | <i>Sin título</i>  |
|   | Fecha      | 1968               |
|   | Materiales | plexiglas          |
|   | Exposición | A plastic presence |

|   |            |   |
|---|------------|---|
|  | Autor      | Kienholz, Edward  |
|   | Título     | <i>Endlessly through the glass looking</i>  |
|   | Fecha      | 1980 - 1981   |
|   | Materiales | madera, metal galvanizado, acero, pintura, resina, metacrilato de metilo, pájaro disecado, loza y tapiz |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle  |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Klasen, Peter  |
|   | Título     | <i>Prise électrique</i>  |
|   | Fecha      | 1971   |
|   | Materiales | prototipo de múltiples y enchufe de plástico gigante           |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Klein, Yves  |
|   | Título     | <i>Eponge</i>  |
|   | Fecha      |  |
|   | Materiales | pigmento puro, resina sintética, metal y piedra                |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Klein, Yves  |
|   | Título     | <i>Eponge bleue</i>  |
|   | Fecha      | 1959 - 1960  |
|   | Materiales | pigmento puro, resina sintética, metal y piedra                |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Klossowski, Pierre   |
|   | Título     | <i>Roberte aux barres parallèles</i>                           |
|   | Fecha      | 1990 - 1991  |
|   | Materiales | resina pintada y materiales diversos                           |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |                     |
|---|------------|---------------------|
|  | Autor      | Kolisnyk, Peter     |
|   | Título     | <i>Refractor #1</i> |
|   | Fecha      | 1969                |
|   | Materiales | plexiglas           |
|   | Exposición | A plastic presence  |

|   |            |   |
|---|------------|---|
|  | Autor      | Koons, Jeff   |
|   | Título     | <i>New Hoover Convertibles Green, Green, Red, New Hoover Deluxe Shampoo Polishers, New Shelton Wet/Dry 5 Gallon Displaced</i> |
|   | Fecha      | 1981 - 1987   |
|   | Materiales | electrodomésticos, objetos, neones y polimetacrilato de metilo  |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle  |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Kosice, Gyula  |
|   | Título     | <i>Demi-sphère giratoire</i>                                   |
|   | Fecha      | 1959   |
|   | Materiales | metacrilato de metilo y agua                                   |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

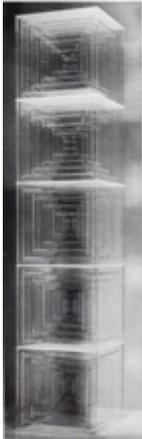
|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Kowalski, Piotr  |
|   | Título     | <i>Là-bas</i>  |
|   | Fecha      | 1968   |
|   | Materiales | poliéster y neón   |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |                    |
|---|------------|--------------------|
|  | Autor      | Krebs, Rockne      |
|   | Título     | <i>Popflower</i>   |
|   | Fecha      | 1968               |
|   | Materiales | plexiglas          |
|   | Exposición | A plastic presence |

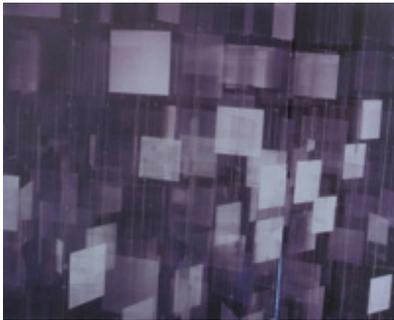
|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Kudo, Tetsumi  |
|   | Título     | <i>Votre portrait</i>  |
|   | Fecha      | 1972 - 1973  |
|   | Materiales | técnicas mixtas, polimetacrilato de metilo y neón              |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | kudo, Tetsumi  |
|   | Título     | <i>Pollution, cultivation, nouvelle écologie</i>               |
|   | Fecha      | 1971 - 1972  |
|   | Materiales | polimetacrilato de metilo y resina                             |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Lalanne, François-Xavier                                       |
|   | Título     | <i>Les Crapauds</i>  |
|   | Fecha      | 1969   |
|   | Materiales | poliéster  |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

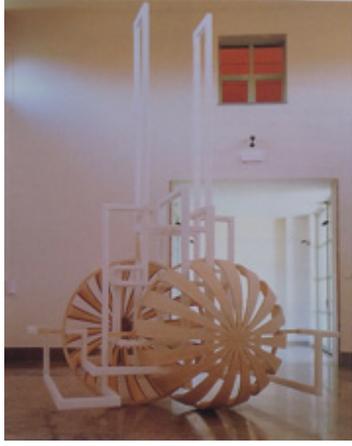
|  |            |                          |
|--|------------|--------------------------|
|  | Autor      | Lamis, Leroy             |
|  | Título     | <i>Construction #184</i> |
|  | Fecha      | 1969                     |
|  | Materiales | plexiglas                |
|  | Exposición | A plastic presence       |

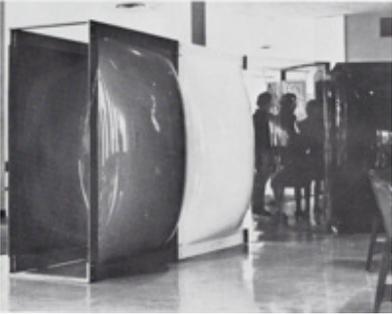
|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Lavier, Bertrand   |
|   | Título     | <i>Alba</i>  |
|   | Fecha      | 1994   |
|   | Materiales | acrílico, madera y vidrio                                      |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

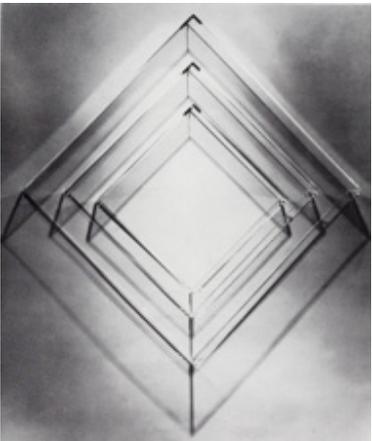
|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Le Parc, Julio   |
|   | Título     | <i>Mobile transparent</i>                                      |
|   | Fecha      | 1960 - 1971  |
|   | Materiales | metacrilato de metilo y madera                                 |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|  |            |  |
|--|------------|--|
|  | Autor      | Leirner, Jac   |
|  | Título     | <i>Sin título (Corpues Delicti)</i>                            |
|  | Fecha      | 1993   |
|  | Materiales | plástico y espuma de poliéster                                 |
|  | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Leirner, Jac   |
|   | Título     | <i>Lung</i>  |
|   | Fecha      | 1991   |
|   | Materiales | Perspex (PMMA) y celofán                                       |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Levine, Erik   |
|   | Título     | <i>Utilisation Cell</i>  |
|   | Fecha      | 1992   |
|   | Materiales | espuma de poliestireno, espuma de poliuretano y mader          |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |                    |
|---|------------|--------------------|
|  | Autor      | Levine, Les        |
|   | Título     | <i>Body colour</i> |
|   | Fecha      | 1969               |
|   | Materiales | plástico y metal   |
|   | Exposición | A plastic presence |

|   |            |                      |
|---|------------|----------------------|
|  | Autor      | Levinson, Mon        |
|   | Título     | <i>Henry's piece</i> |
|   | Fecha      | 1969                 |
|   | Materiales | acrílico             |
|   | Exposición | A plastic presence   |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Levy, Miller   |
|   | Título     | <i>Gumunication</i>  |
|   | Fecha      | 1994   |
|   | Materiales | pintura y chicle   |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

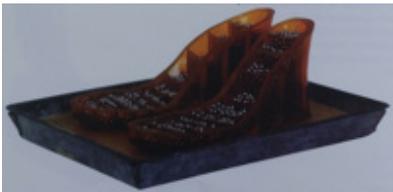
|  |            |  |
|--|------------|--|
|  | Autor      | Levy, Miller   |
|  | Título     | <i>Doux et malléable</i>                                       |
|  | Fecha      | 1994   |
|  | Materiales | pintura y chicle   |
|  | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Lewit, Sol   |
|   | Título     | <i>Styrofoam wall installation</i>                             |
|   | Fecha      | 1996   |
|   | Materiales | espuma de poliuretano  |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Lichtenstein, Roy  |
|   | Título     | <i>Pink sky</i>  |
|   | Fecha      | 1965   |
|   | Materiales | plástico, magna (resina acrílica) y cartón                     |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|  |            |  |
|--|------------|--|
|  | Autor      | Lichtenstein, Roy  |
|  | Título     | <i>Sin título (Landscape)</i>                                  |
|  | Fecha      | 1966   |
|  | Materiales | collage y técnica mixta  |
|  | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Lijn, Liliane  |
|   | Título     | <i>Liquid reflections</i>                                      |
|   | Fecha      | 1968   |
|   | Materiales | metacrilato de metilo, bandeja redonda, agua y luz             |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Lipski, Donald   |
|   | Título     | <i>Building Steam No. 341</i>                                  |
|   | Fecha      | 1982 - 1985  |
|   | Materiales | bandeja de disección, cera, caucho y acero                     |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|  |            |  |
|--|------------|--|
|  | Autor      | López, Paco  |
|  | Título     | <i>Le passé du présent</i>                                     |
|  | Fecha      | 1994   |
|  | Materiales | acero y plástico   |
|  | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Luque, Angel   |
|   | Título     | <i>Deux plans diagonaux aux angles</i>                         |
|   | Fecha      | 1994   |
|   | Materiales | metacrilato de metilo  |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

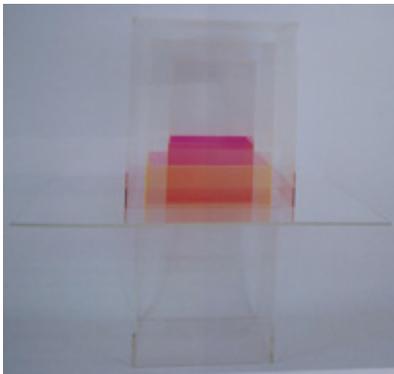
|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Luque, Angel   |
|   | Título     | <i>Géométriquement belle</i>                                   |
|   | Fecha      | 1995   |
|   | Materiales | metacrilato de metilo  |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Luquet, Baudoin  |
|   | Título     | <i>Suspens n° VII</i>  |
|   | Fecha      | 1986   |
|   | Materiales | acero, PVC, lienzo, vidrio y extensor                          |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Luquet, Baudoin  |
|   | Título     | <i>Suspens n° XLIII</i>  |
|   | Fecha      | 1989   |
|   | Materiales | materiales varios, piedra y Altuglas® (PMMA)                   |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |   |
|---|------------|---|
|  | Autor      | Macaparana  |
|   | Título     | <i>Sin título</i>   |
|   | Fecha      | 2000  |
|   | Materiales | poliestireno y papel  |
|   | Exposición | Acervo em plástico da Pinacoteca: problemáticas de conservação e restauro |

|  |            |  |
|--|------------|--|
|  | Autor      | Maccaferri, Serge  |
|  | Título     | <i>Sin título</i>  |
|  | Fecha      | 1988   |
|  | Materiales | plástico y acrílico  |
|  | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Mack, Heinz  |
|   | Título     | <i>Sin título</i>  |
|   | Fecha      | 1965   |
|   | Materiales | metacrilato de metilo  |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Mack, Heinz  |
|   | Título     | <i>La Dormeuse</i>   |
|   | Fecha      | 1965   |
|   | Materiales | resina y pigmento  |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Malaval, Robert  |
|   | Título     | <i>La Dormeuse</i>   |
|   | Fecha      | 1965   |
|   | Materiales | Resina y pigmento  |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Manzoni, Piero   |
|   | Título     | <i>Achrome</i>   |
|   | Fecha      | 1962   |
|   | Materiales | poliestireno y lienzo  |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Mc Carthy, Paul  |
|   | Título     | <i>Flesh arms, spaghetti, man tomato head</i>                  |
|   | Fecha      | 1993-1994  |
|   | Materiales | goma elastomérica, fibra de vidrio y aluminio                  |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Mc Craken, John  |
|   | Título     | <i>Red-Black Beam</i>  |
|   | Fecha      | 1987   |
|   | Materiales | madera, fibra de vidrio y resina                               |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

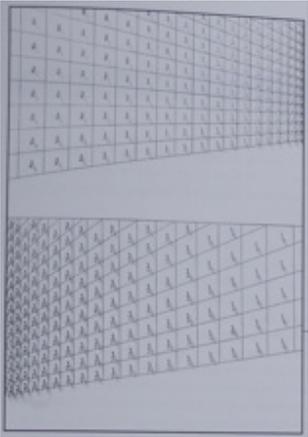
|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Mc Craken, John  |
|   | Título     | <i>Pink Cube</i>   |
|   | Fecha      | 1967   |
|   | Materiales | plástico   |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |                           |
|---|------------|---------------------------|
|  | Autor      | McGowin, Ed               |
|   | Título     | <i>Curtains</i>           |
|   | Fecha      | 1969                      |
|   | Materiales | vinilo y pintura acrílica |
|   | Exposición | A plastic presence        |

|   |            |   |
|---|------------|---|
|  | Autor      | Mendes De Souza, Aldir  |
|   | Título     | <i>Objeto</i>   |
|   | Fecha      | c. 1970   |
|   | Materiales | tinta acrílica, agua, resina y aluminio                                   |
|   | Exposición | Acervo em plástico da Pinacoteca: problemáticas de conservação e restauro |

|   |            |   |
|---|------------|---|
|  | Autor      | Menna Barreto, Jorge  |
|   | Título     | <i>Deusejo</i>  |
|   | Fecha      | 2011  |
|   | Materiales | plástico  |
|   | Exposición | Acervo em plástico da Pinacoteca: problemáticas de conservação e restauro |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Merz, Mario  |
|   | Título     | <i>Cera e gomma</i>  |
|   | Fecha      | 1968   |
|   | Materiales | metal, reja, caucho, cera y bombilla                           |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|  |            |  |
|--|------------|--|
|  | Autor      | Miralda, Antoni  |
|  | Título     | <i>Soldats soldés</i>  |
|  | Fecha      |  |
|  | Materiales | objetos, metacrilato de metilo, madera y poliestireno          |
|  | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Miro, Juan   |
|   | Título     | <i>Femme</i>   |
|   | Fecha      | 1972   |
|   | Materiales | resina pintada   |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Moholy-Nagy, Laszlo  |
|   | Título     | <i>Léda et le cygne</i>  |
|   | Fecha      | 1946   |
|   | Materiales | metacrilato de metilo  |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Monory, Jacques  |
|   | Título     | <i>Noir n°23</i>   |
|   | Fecha      | 1990   |
|   | Materiales | pintura, metacrilato de metilo y resina                        |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Moore, Henry   |
|   | Título     | <i>Two piece points: skull</i>                                 |
|   | Fecha      | 1969   |
|   | Materiales | fibra de vidrio  |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |   |
|---|------------|---|
|  | Autor      | Moraes, Nina  |
|   | Título     | <i>Puxadinho</i>  |
|   | Fecha      | 2005 - 2007   |
|   | Materiales | rotulador permanente, tinta, cinta adhesiva, papel, plástico y metal      |
|   | Exposición | Acervo em plástico da Pinacoteca: problemáticas de conservação e restauro |

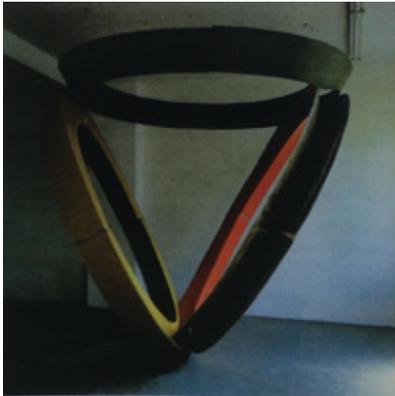
|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Morellet, François   |
|   | Título     | <i>Kakemono</i>  |
|   | Fecha      | 1971   |
|   | Materiales | serigrafía sobre Rhodoïd                                       |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

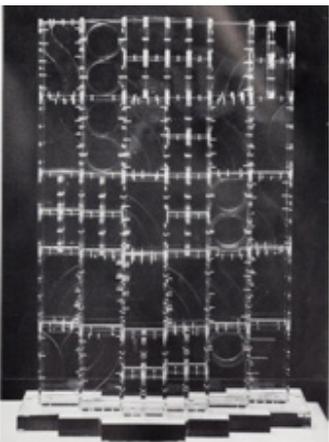
|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Morellet, François   |
|   | Título     | <i>Nul</i>   |
|   | Fecha      | 1971   |
|   | Materiales | banda adhesiva y Rhodoïd                                       |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

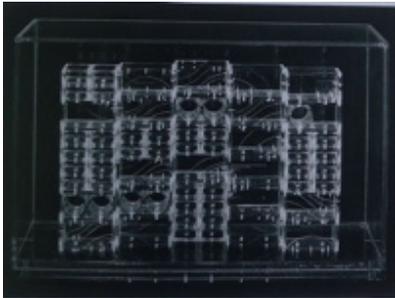
|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Morris, Robert   |
|   | Título     | <i>Nine fiberglass sleeves</i>                                 |
|   | Fecha      | 1967   |
|   | Materiales | fibra de vidrio  |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|  |            |   |
|--|------------|---|
|  | Autor      | Nam June Paik   |
|  | Título     | <i>Travelling Buddha</i>  |
|  | Fecha      | 1990  |
|  | Materiales | monitores, pantallas, lector de video-disco, metal, plástico, madera y caucho |
|  | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle                |

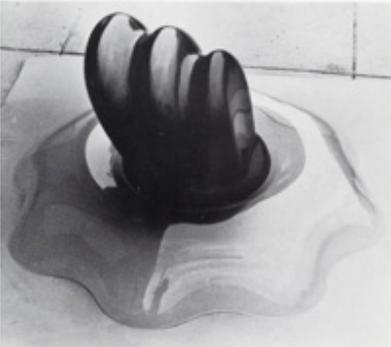
|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Nannucci, Maurizio   |
|   | Título     | <i>Oeuvre lumineuse</i>  |
|   | Fecha      | 1996   |
|   | Materiales | metacrilato de metilo y neón                                   |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

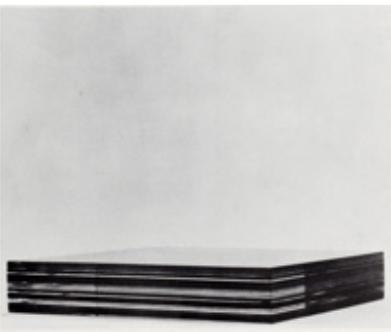
|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Nauman, Bruce  |
|   | Título     | <i>Sin título</i>  |
|   | Fecha      | 1978   |
|   | Materiales | fibra de vidrio  |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|  |            |                          |
|--|------------|--------------------------|
|  | Autor      | Nevelson, Louise         |
|  | Título     | <i>Canada series III</i> |
|  | Fecha      | 1968                     |
|  | Materiales | plexiglas                |
|  | Exposición | A plastic presence       |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Nevelson, Louise   |
|   | Título     | <i>Canada series IV</i>  |
|   | Fecha      | 1968   |
|   | Materiales | metacrilato de metilo  |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

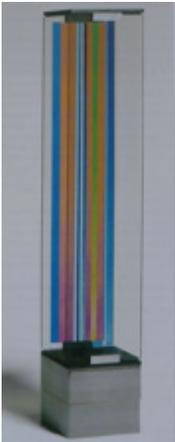
|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Nicola   |
|   | Título     | <i>Manteau</i>   |
|   | Fecha      |  |
|   | Materiales | plástico   |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |   |
|---|------------|---|
|  | Autor      | O'Neill, Pat                            |
|   | Título     | <i>Scenic series #1</i>                 |
|   | Fecha      |   |
|   | Materiales | plexiglas, espuma de poliuretano y laca |
|   | Exposición | A plastic presence                      |

|   |            |                     |
|---|------------|---------------------|
|  | Autor      | O'Shea, Terrence    |
|   | Título     | <i>Slab</i>         |
|   | Fecha      | 1969                |
|   | Materiales | resina de poliéster |
|   | Exposición | A plastic presence  |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  A sculpture titled 'Shrimps on Fork' by Claes Oldenburg. It features two pink plastic forks with pink, textured, shrimp-like forms attached to their tines, set against a dark blue background. | Autor      | Oldenburg, Claes   |
|   | Título     | <i>Shrimps on Fork</i>   |
|   | Fecha      | 1965   |
|   | Materiales | metacrilato de metilo, yeso, espuma de poliestireno y madera   |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  A sculpture titled 'Tea bag' by Claes Oldenburg. It depicts a brown paper tea bag with a white string and a circular metal fastener, surrounded by several brown, teardrop-shaped objects, all set against a light beige background. | Autor      | Oldenburg, Claes   |
|   | Título     | <i>Tea bag</i>   |
|   | Fecha      | 1966   |
|   | Materiales | metacrilato de metilo, papel y cuerda                          |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|  |            |  |
|--|------------|--|
|  A sculpture titled 'Optichromie M I' by Erik Olson. It consists of a vertical stack of colorful, translucent plastic rods in various colors (red, orange, yellow, green, blue, purple) held together by a metal frame, resting on a grey base. | Autor      | Olson, Erik  |
|  | Título     | <i>Optichromie M I</i>   |
|  | Fecha      | 1980   |
|  | Materiales | metacrilato de metilo, plástico y metal                        |
|  | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Oppenheim, Dennis  |
|   | Título     | <i>Circle Puppets</i>  |
|   | Fecha      | 1994   |
|   | Materiales | madera, aluminio, acrílico, caucho, magnetoscopio y monitores de vídeo |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle         |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Pages, Bernard   |
|   | Título     | <i>Assemblage jumelé</i>                                       |
|   | Fecha      | 1977   |
|   | Materiales | madera y caucho  |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Pages, Bernard   |
|   | Título     | <i>Dévers aux os II</i>  |
|   | Fecha      | 1994   |
|   | Materiales | hormigón, médula ósea, metacrilato de metilo y metal           |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Palatnik, Abraham  |
|   | Título     | <i>Séquence C-26</i>   |
|   | Fecha      | 1964   |
|   | Materiales | caja luz, plástico   |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

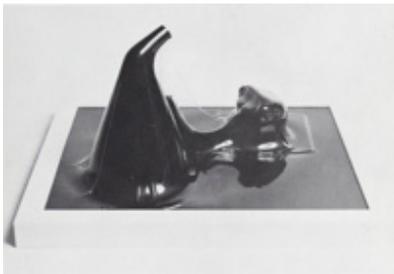
|  |            |  |
|--|------------|--|
|  | Autor      | Pan, Marta   |
|  | Título     | <i>Cylindre 300 - 580</i>                                      |
|  | Fecha      |  |
|  | Materiales | metacrilato de metilo  |
|  | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Panchounette, Presence   |
|   | Título     | <i>Re-make-up</i>  |
|   | Fecha      | 1986   |
|   | Materiales | plástico   |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

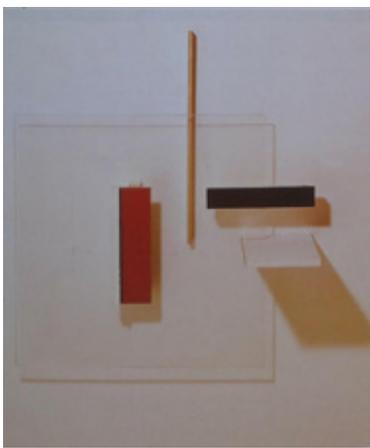
|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Paolini, Giulio  |
|   | Título     | <i>Aria</i>  |
|   | Fecha      | 1983 - 1984  |
|   | Materiales | papel, fotografía en blanco y negro, y metacrilato de metilo   |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Parant, Jean-Luc   |
|   | Título     | <i>Coffre</i>  |
|   | Fecha      | 1993   |
|   | Materiales | cera sintética y madera  |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Parant, Jean-Luc   |
|   | Título     | <i>Chaise</i>  |
|   | Fecha      | 1992   |
|   | Materiales | cera sintética y madera  |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

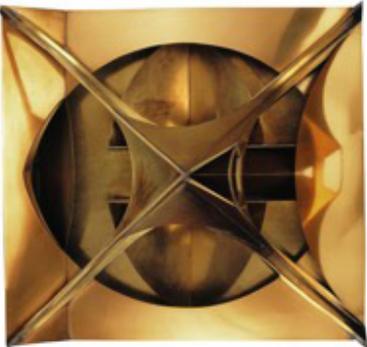
|   |            |                             |
|---|------------|-----------------------------|
|  | Autor      | Paris, Harold               |
|   | Título     | <i>Homage à Boccioni #2</i> |
|   | Fecha      | 1968-1969                   |
|   | Materiales | plástico                    |
|   | Exposición | A plastic presence          |

|   |            |                     |
|---|------------|---------------------|
|  | Autor      | Pashgian, Helen     |
|   | Título     | <i>Sin título</i>   |
|   | Fecha      | 1969                |
|   | Materiales | resina de poliéster |
|   | Exposición | A plastic presence  |

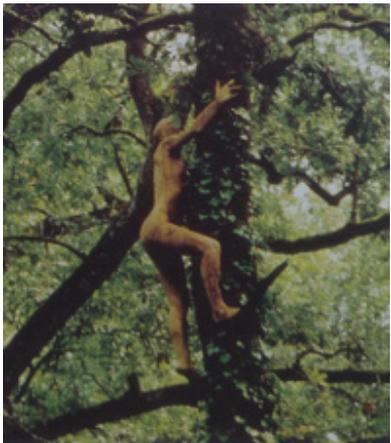
|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Pasmore, Victor  |
|   | Título     | <i>Abstract in White, Black and Indian Red</i>                 |
|   | Fecha      | 1962   |
|   | Materiales | madera y plástico  |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |                          |
|---|------------|--------------------------|
|  | Autor      | Pauley, Hal              |
|   | Título     | <i>Black as November</i> |
|   | Fecha      | 1969                     |
|   | Materiales | vinilo                   |
|   | Exposición | A plastic presence       |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Pavlos   |
|   | Título     | <i>Les vestes</i>  |
|   | Fecha      | 1991   |
|   | Materiales | papel y metacrilato de metilo                                  |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Pevsner, Antoine   |
|   | Título     | <i>Bas-relief</i>  |
|   | Fecha      | 1917   |
|   | Materiales | resina con carga, yeso y madera                                |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Pevsner, Antoine   |
|   | Título     | <i>Construction</i>  |
|   | Fecha      | 1935   |
|   | Materiales | cobre, plata, marfil y metacrilato de metilo                   |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|  |            |  |
|--|------------|--|
|  | Autor      | Pignon-Ernest, Ernest  |
|  | Título     | <i>Les arbrorigènes</i>  |
|  | Fecha      | 1984   |
|  | Materiales | documento fotográfico y materiales diversos                    |
|  | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

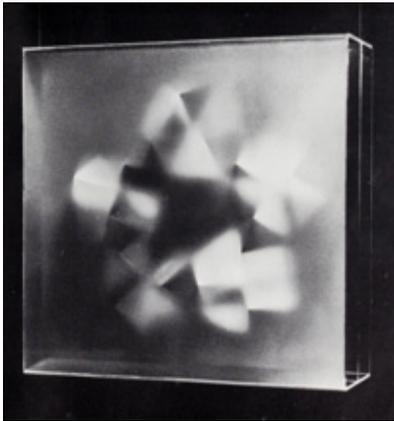
|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Pistoletto, Michelangelo                                       |
|   | Título     | <i>Trittico basso rilievo</i>                                  |
|   | Fecha      | 1985   |
|   | Materiales | poliuretano, lienzo, estuco y color                            |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

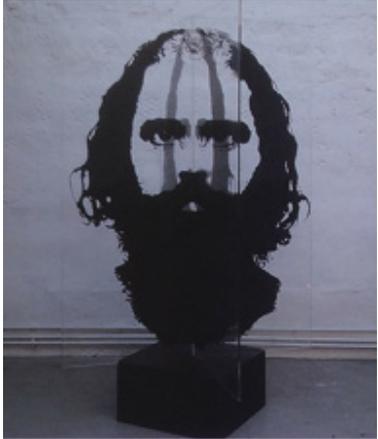
|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Plaza, Julio   |
|   | Título     | <i>I Ching Chance Change [I Ching acaso mudança]</i>                                 |
|   | Fecha      | 1938   |
|   | Materiales | cartón, plástico, zinc, pegamento, cuero, algodón, madera, papel lija, vidrio y tela |
|   | Exposición |  |

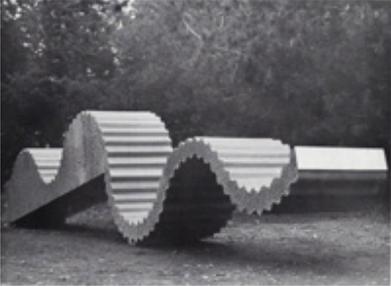
|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Plensa, Jaume  |
|   | Título     | <i>Cloudy Box XI</i>   |
|   | Fecha      | 1994   |
|   | Materiales | poliéster y acero  |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Pougny, Jean   |
|   | Título     | <i>Relief à la scie</i>  |
|   | Fecha      | 1920 - 1921  |
|   | Materiales | madera, hierro, cartón, gouache y sierra                       |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Pougny, Jean   |
|   | Título     | <i>D'après un dessin</i>                                       |
|   | Fecha      | 1916   |
|   | Materiales | madera, hierro, cartón, gouache y sierra                       |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|  |            |                        |
|--|------------|------------------------|
|  | Autor      | Rabkin, Leo            |
|  | Título     | <i>Shadow box 7-69</i> |
|  | Fecha      | 1969                   |
|  | Materiales | acrílico               |
|  | Exposición | A plastic presence     |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Rancillac, Bernard   |
|   | Título     | <i>Allen Ginsberg</i>  |
|   | Fecha      | 1968   |
|   | Materiales | serigrafía sobre metacrilato de metilo                         |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

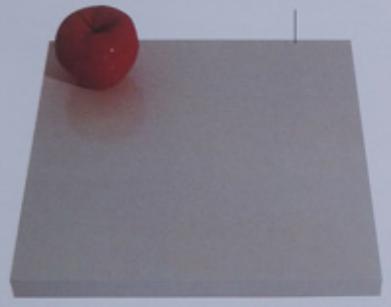
|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Rancillac, Bernard   |
|   | Título     | <i>Eléphant</i>  |
|   | Fecha      | 1966   |
|   | Materiales | resina de poliéster, fibra de vidrio y hierro                  |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |                                    |
|---|------------|------------------------------------|
|  | Autor      | Randell, Richard                   |
|   | Título     | <i>Blue Hog</i>                    |
|   | Fecha      | 1969                               |
|   | Materiales | fibra de vidrio, madera y aluminio |
|   | Exposición | A plastic presence                 |

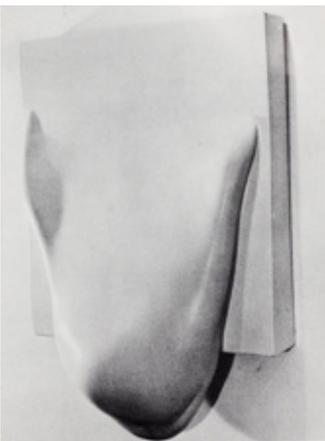
|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Rauschenberg, Robert   |
|   | Título     | <i>Opal Gospel</i>   |
|   | Fecha      | 1971   |
|   | Materiales | metacrilato de metilo  |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Ray, Man   |
|   | Título     | <i>La Japonaise</i>  |
|   | Fecha      | 1965   |
|   | Materiales | plástico y papel   |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

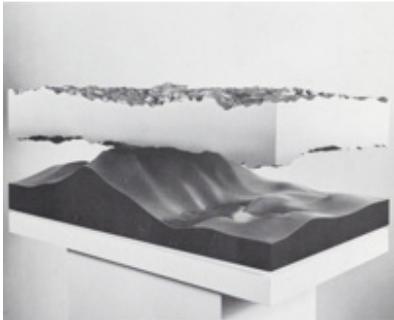
|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Ray, Man   |
|   | Título     | <i>Le pain peint</i>   |
|   | Fecha      | 1960   |
|   | Materiales | plástico   |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Raynaud, Jean-Pierre   |
|   | Título     | <i>Alphabet Pomme I</i>  |
|   | Fecha      | 1969   |
|   | Materiales | madera, manzana y poliéster                                    |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Raysse, Martial  |
|   | Título     | <i>Arbre</i>   |
|   | Fecha      | 1960   |
|   | Materiales | plástico y hierro  |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|  |            |                             |
|--|------------|-----------------------------|
|  | Autor      | Redinger, Walter            |
|  | Título     | <i>Sermatogenesis study</i> |
|  | Fecha      | 1968                        |
|  | Materiales | fibra de vidrio             |
|  | Exposición | A plastic presence          |

|   |            |   |
|---|------------|---|
|  | Autor      | Resende, José   |
|   | Título     | <i>Sin título</i>   |
|   | Fecha      | 2000  |
|   | Materiales | plástico y yeso   |
|   | Exposición | Acervo em plástico da Pinacoteca: problemáticas de conservação e restauro |

|   |            |   |
|---|------------|---|
|  | Autor      | Richardson, Sam   |
|   | Título     | <i>There's an extended cloud cover over that mountain</i> |
|   | Fecha      | 1969  |
|   | Materiales | polyfoam  |
|   | Exposición | A plastic presence  |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Ripps, Rodney  |
|   | Título     | <i>Fausse fleur en plastique</i>                               |
|   | Fecha      | 1976   |
|   | Materiales | plástico y madera  |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

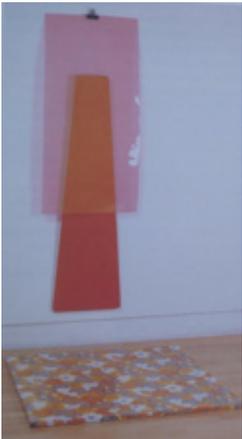
|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Rivers, Larry  |
|   | Título     | <i>Me and my shadow</i>  |
|   | Fecha      | 1970   |
|   | Materiales | lienzo de fotomontaje y plástico                               |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |   |
|---|------------|---|
|  | Autor      | Rosenquist, James   |
|   | Título     | <i>Rinse</i>  |
|   | Fecha      | 1975  |
|   | Materiales | acrílico, carbón de madera, cuerda, mylar (poliéster), plástico y botella |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle            |

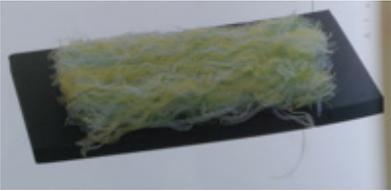
|  |            |  |
|--|------------|--|
|  | Autor      | Rosenquist, James  |
|  | Título     | <i>Slice Bologna</i>   |
|  | Fecha      | 1968   |
|  | Materiales | pintura y Mylar (poliéster)                                    |
|  | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

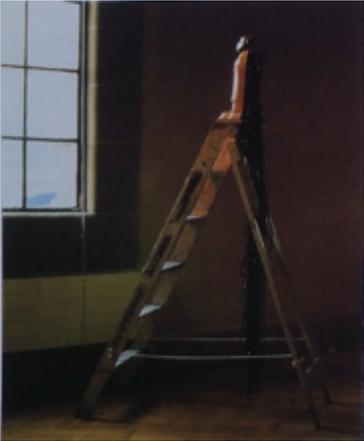
|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Sabatier, Roland   |
|   | Título     | <i>Peinture hypergraphique élastique</i>                       |
|   | Fecha      | 1968   |
|   | Materiales | caucho   |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |   |
|---|------------|---|
|  | Autor      | Salvador, Gilberto  |
|   | Título     | <i>Série rodantes</i>   |
|   | Fecha      | 2008  |
|   | Materiales | acero, plástico y poliestireno  |
|   | Exposición | Acervo em plástico da Pinacoteca: problemáticas de conservação e restauro |

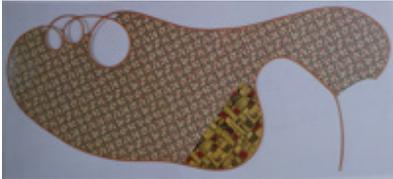
|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Sanejouand, Jean-Michel  |
|   | Título     | <i>Sin título</i>  |
|   | Fecha      | 1967   |
|   | Materiales | tabla de planchar y lona, plástico, cromo, marco con tela      |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Saret, Alan  |
|   | Título     | <i>Ozone dispersión</i>  |
|   | Fecha      | 1989   |
|   | Materiales | emulsión de plástico y cobre                                   |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Saret, Alan  |
|   | Título     | <i>Reprocessed nylon</i>                                       |
|   | Fecha      | 1973   |
|   | Materiales | nylon  |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|  |            |  |
|--|------------|--|
|  | Autor      | Sarkis   |
|  | Título     | <i>The Drama of the K</i>                                      |
|  | Fecha      | 1983   |
|  | Materiales | escalera de tijera y cintas magnéticas                         |
|  | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Satie, Alain   |
|   | Título     | <i>Lettres</i>   |
|   | Fecha      | 1986   |
|   | Materiales | metacrilato de metilo  |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

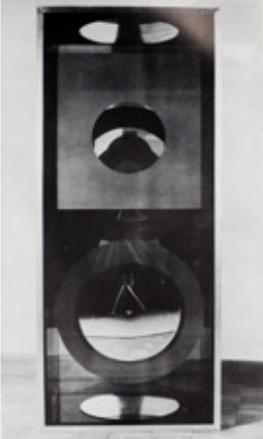
|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Saytour, Patrick   |
|   | Título     | <i>Hall n°5</i>  |
|   | Fecha      | 1982   |
|   | Materiales | caucho, hierro forjado y tubo fluorescente                     |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|  |            |  |
|--|------------|--|
|  | Autor      | Schöffer, Nicolas  |
|  | Título     | <i>Sec Lux</i>   |
|  | Fecha      | 1973   |
|  | Materiales | plástico   |
|  | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Sechas, Alain  |
|   | Título     | <i>Le Mannequin</i>  |
|   | Fecha      | 1984   |
|   | Materiales | plástico, yeso, espuma de caucho y ropa                        |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

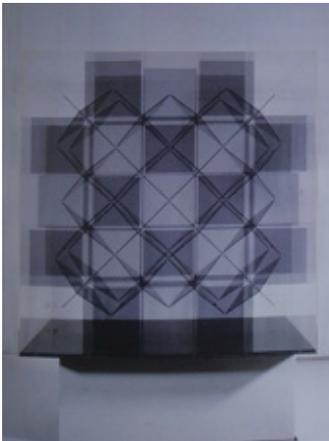
|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Segal, George  |
|   | Título     | <i>Girl for the Whitney Museum</i>                             |
|   | Fecha      | 1979   |
|   | Materiales | fibra de vidrio  |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|  |            |  |
|--|------------|--|
|  | Autor      | Serra, Richard   |
|  | Título     | <i>Slant step folded</i>                                       |
|  | Fecha      | 1967   |
|  | Materiales | caucho y metal   |
|  | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

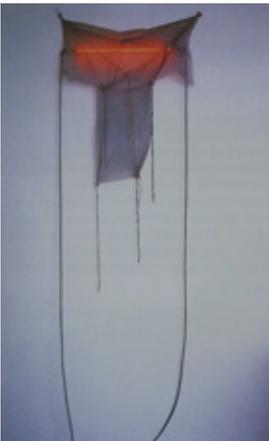
|   |            |                                      |
|---|------------|--------------------------------------|
|  | Autor      | Shipley, Roger                       |
|   | Título     | <i>Pictorial participation No.15</i> |
|   | Fecha      | 1968                                 |
|   | Materiales | plástico, madera, aluminio           |
|   | Exposición | A plastic presence                   |

|   |            |                    |
|---|------------|--------------------|
|  | Autor      | Simons, Vera       |
|   | Título     | <i>Phornon</i>     |
|   | Fecha      | 1969               |
|   | Materiales | plástico laminado  |
|   | Exposición | A plastic presence |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Singer, Gérard   |
|   | Título     | <i>Maquette d'Evry</i>   |
|   | Fecha      | 1975   |
|   | Materiales | epoxy  |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Sobrino, Francisco   |
|   | Título     | <i>Transformación inestable yuxtaposición-superposición</i>    |
|   | Fecha      | 1962 - 1970  |
|   | Materiales | metacrilato de metilo  |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Sommerhalter, Philippe   |
|   | Título     | <i>Sin título</i>  |
|   | Fecha      | 1990   |
|   | Materiales | caucho y metal   |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

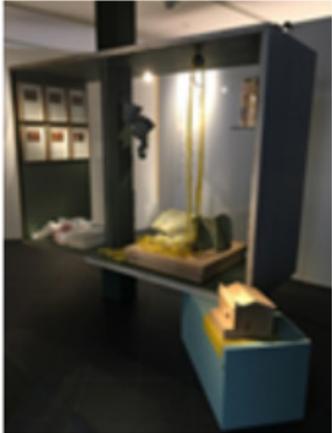
|  |            |  |
|--|------------|--|
|  | Autor      | Sonnier, Keith   |
|  | Título     | <i>Hôtel Richelieu</i>   |
|  | Fecha      | 1968   |
|  | Materiales | neón, papel y plástico   |
|  | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Sonnier, Keith   |
|   | Título     | <i>Tisket-a-tasket (Tiderwater series)</i>                     |
|   | Fecha      | 1994   |
|   | Materiales | neón, ropa y plástico  |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Soto, Jesus-Raphael  |
|   | Título     | <i>Vibration</i>   |
|   | Fecha      | 1967   |
|   | Materiales | metacrilato de metilo y serigrafía                             |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Soto, Jesus-Raphael  |
|   | Título     | <i>Tige transparente</i>                                       |
|   | Fecha      | 1968   |
|   | Materiales | metacrilato de metilo y duraluminio                            |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Soto, Jesus-Raphael  |
|   | Título     | <i>Pénétrable</i>  |
|   | Fecha      | 1992   |
|   | Materiales | metal, madera y plástico                                       |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

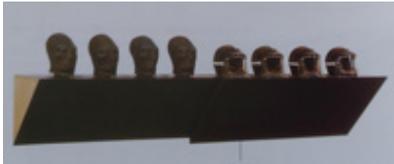
|   |            |   |
|---|------------|---|
|  | Autor      | Sousa Vieira, Nuno                                    |
|   | Título     | <i>Migração</i>                                       |
|   | Fecha      | 2019  |
|   | Materiales | madera laminada, PVC, acílico, espejo y otros         |
|   | Exposición | Plasticidade - Uma História dos Plásticos em Portugal |

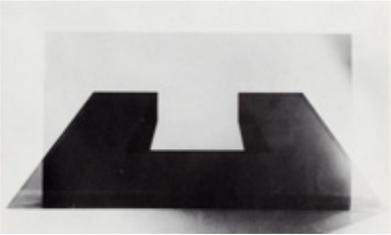
|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Spoerri, Daniel  |
|   | Título     | <i>Tondre un oeuf</i>  |
|   | Fecha      | 1964   |
|   | Materiales | metal, madera y plástico                                       |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

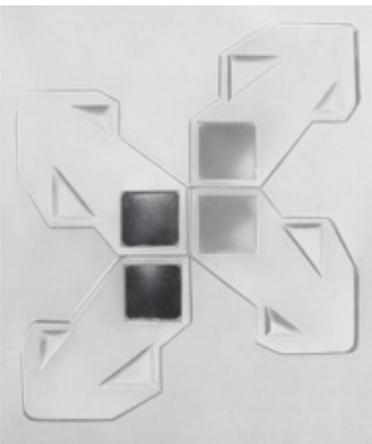
|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Spoerri, Daniel  |
|   | Título     | <i>Nimm die Pfeife aus dem Mund; Duttn</i>                     |
|   | Fecha      | 1993   |
|   | Materiales | plástico y madera  |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

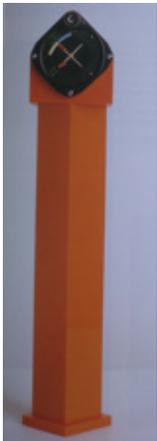
|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Stämpfli, Peter  |
|   | Título     | <i>Empreinte de pneu S 155</i>                                 |
|   | Fecha      | 1985   |
|   | Materiales | resina de poliéster  |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Starn, Mike et Doug  |
|   | Título     | <i>Cuto ut Picasso Head details</i>                            |
|   | Fecha      | 1989   |
|   | Materiales | foto coloreada, pintura plateada y plástico                    |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Steinbach, Haïm  |
|   | Título     | <i>Sin título n°1</i>  |
|   | Fecha      | 1991   |
|   | Materiales | plástico, madera y cascos                                      |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |                    |
|---|------------|--------------------|
|  | Autor      | Stone, Sylvia      |
|   | Título     | <i>Jericho</i>     |
|   | Fecha      | 1969               |
|   | Materiales | plexiglas          |
|   | Exposición | A plastic presence |

|  |            |                            |
|--|------------|----------------------------|
|  | Autor      | Strick, Racelle            |
|  | Título     | <i>Two green, two blue</i> |
|  | Fecha      | 1969                       |
|  | Materiales | vinilo                     |
|  | Exposición | A plastic presence         |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Takis  |
|   | Título     | <i>Indicateur</i>  |
|   | Fecha      | 1967   |
|   | Materiales | metacrilato de metilo  |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Tapies, Antonio  |
|   | Título     | <i>Jhana</i>   |
|   | Fecha      | 1992   |
|   | Materiales | pintura, plástico y madera                                     |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

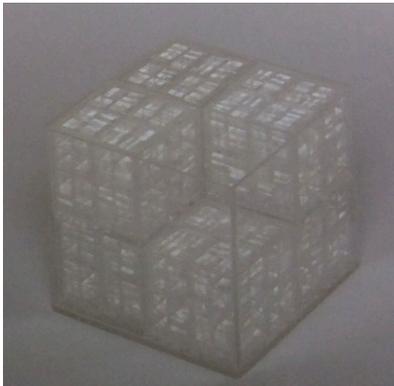
|  |            |  |
|--|------------|--|
|  | Autor      | Tatline, Vladimir  |
|  | Título     | <i>Monument à la Internationale, Maquette</i>                  |
|  | Fecha      | 1996   |
|  | Materiales | madera y plástico  |
|  | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |                    |
|---|------------|--------------------|
|  | Autor      | Taylor, Wayne      |
|   | Título     | <i>Lemon ice</i>   |
|   | Fecha      | 1969               |
|   | Materiales | vinilo             |
|   | Exposición | A plastic presence |

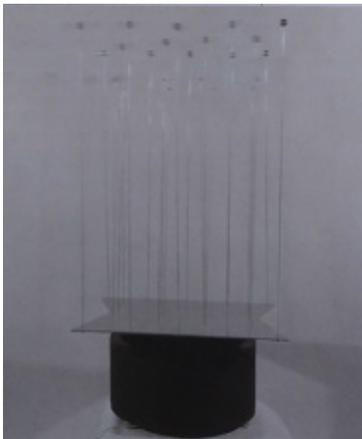
|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Tinguely, Jean   |
|   | Título     | <i>Radio V</i>   |
|   | Fecha      | 1962   |
|   | Materiales | baquelita y metal  |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |   |
|---|------------|---|
|  | Autor      | Toledo, Amelia  |
|   | Título     | <i>Caixinha do sem-fim (situação tendendo ao infinito)</i>                |
|   | Fecha      | 1971  |
|   | Materiales | plástico  |
|   | Exposición | Acervo em plástico da Pinacoteca: problemáticas de conservação e restauro |

|   |            |   |
|---|------------|---|
|  | Autor      | Toledo, Amelia  |
|   | Título     | <i>Divino maravilhoso, para Caetano Veloso</i>                            |
|   | Fecha      | 1971  |
|   | Materiales | offset y tinta sobre papel y plástico, y gelatina y plata sobre papel     |
|   | Exposición | Acervo em plástico da Pinacoteca: problemáticas de conservação e restauro |

|   |            |   |
|---|------------|---|
|  | Autor      | Toledo, Amelia  |
|   | Título     | <i>Caixinha do sem-fim (situação tendendo ao infinito)</i>                |
|   | Fecha      | 2004  |
|   | Materiales | plástico  |
|   | Exposición | Acervo em plástico da Pinacoteca: problemáticas de conservação e restauro |

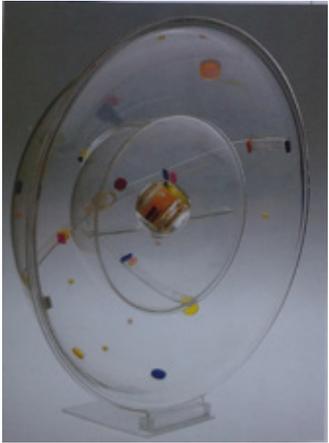
|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Tozzi, Claudio   |
|   | Título     | <i>O retrato</i>   |
|   | Fecha      | 1973   |
|   | Materiales | acrílico, lienzo, espejo, aglomerado, plástico, algodón, cabelo, tejidos y pigmentos |
|   | Exposición | Acervo em plástico da Pinacoteca: problemáticas de conservação e restauro            |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Tsai, Wen-Ying   |
|   | Título     | <i>Double level - Multi chromies</i>                           |
|   | Fecha      |  |
|   | Materiales | plástico y metal   |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Tuttle, Richard  |
|   | Título     | <i>Sculpture for drawing space n°2</i>                         |
|   | Fecha      | 1984   |
|   | Materiales | madera, contrachapado, fieltro, papel, cartón y plástico       |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

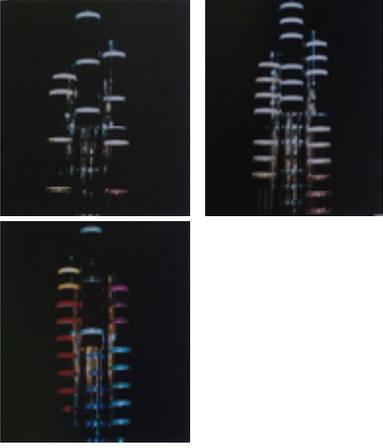
|  |            |  |
|--|------------|--|
|  | Autor      | Valentine, DeWain  |
|  | Título     | <i>Ring</i>  |
|  | Fecha      | 1970   |
|  | Materiales | metacrilato de metilo  |
|  | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |                    |
|---|------------|--------------------|
|  | Autor      | Van Buren, Richard |
|   | Título     | <i>Sin título</i>  |
|   | Fecha      | 1969               |
|   | Materiales | fibra de vidrio    |
|   | Exposición | A plastic presence |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Vantongerloo, Georges  |
|   | Título     | <i>Anneau et elliptique</i>                                    |
|   | Fecha      | 1950   |
|   | Materiales | metacrilato de metilo y óleo                                   |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

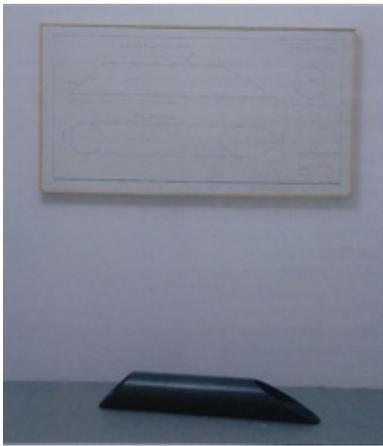
|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Vantongerloo, Georges  |
|   | Título     | <i>Le Dôme</i>   |
|   | Fecha      | 1959   |
|   | Materiales | metacrilato de metilo  |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Vantongerloo, Georges  |
|   | Título     | <i>Systèm planétaire</i>                                       |
|   | Fecha      | 1961   |
|   | Materiales | metacrilato de metilo  |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Vardanega, Gregorio  |
|   | Título     | <i>Couleurs sonores N°3</i>                                    |
|   | Fecha      | 1963 - 1966  |
|   | Materiales | metacrilato de metilo, luces y sonido                          |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Vasarely, Victor   |
|   | Título     | <i>Alfa 041</i>  |
|   | Fecha      | c.1965   |
|   | Materiales | metacrilato de metilo serigrafiado                             |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |                                     |
|---|------------|-------------------------------------|
|  | Autor      | Velentine, DeWain                   |
|   | Título     | <i>Sin título (Círculo concavo)</i> |
|   | Fecha      | 1969                                |
|   | Materiales | resina de poliéster                 |
|   | Exposición | A plastic presence                  |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Venet, Bernar  |
|   | Título     | <i>Tube n° 150/45/60/1000</i>                                  |
|   | Fecha      | 1966   |
|   | Materiales | papel calco y baquelita  |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Verdet, André  |
|   | Título     | <i>Lumières plastiques: résilles stellaires</i>                |
|   | Fecha      | 1973   |
|   | Materiales | hojas y cuerdas de plástico                                    |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

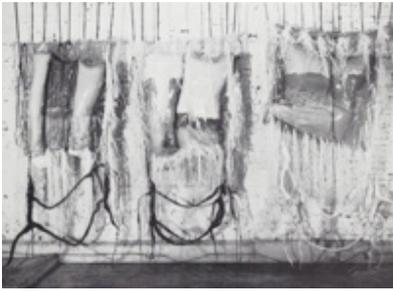
|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Vernassa, Edmond   |
|   | Título     | <i>Contrainte</i>  |
|   | Fecha      | 1974   |
|   | Materiales | resina acrílica, latón y aluminio                              |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |   |
|---|------------|---|
|  | Autor      | Vieira, João  |
|   | Título     | <i>Rombo</i>  |
|   | Fecha      | 1978  |
|   | Materiales | tinta y poliéster                                     |
|   | Exposición | Plasticidade - Uma História dos Plásticos em Portugal |

|  |            |   |
|--|------------|---|
|  | Autor      | Vieira, João  |
|  | Título     | <i>Vermelho</i>                                       |
|  | Fecha      | 1978  |
|  | Materiales | tinta y poliéster                                     |
|  | Exposición | Plasticidade - Uma História dos Plásticos em Portugal |

|   |            |   |
|---|------------|---|
|  | Autor      | Vieira, João  |
|   | Título     | <i>Elo (Assemblage)</i>                               |
|   | Fecha      | 1971  |
|   | Materiales | madera y vidrio acrílico                              |
|   | Exposición | Plasticidade - Uma História dos Plásticos em Portugal |

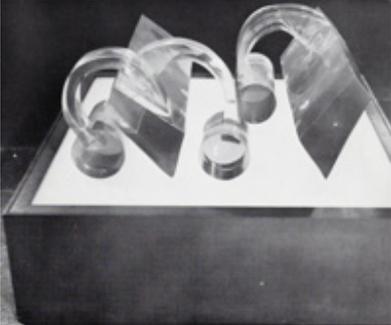
|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Vilmouth, Jean-Luc   |
|   | Título     | <i>Odyssée</i>   |
|   | Fecha      | 1983   |
|   | Materiales | poliestireno y papel maché                                     |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |   |
|---|------------|---|
|  | Autor      | Viner, Frank Lincoln                                    |
|   | Título     | <i>Peepul-yl (basis)</i>                                |
|   | Fecha      | 1969  |
|   | Materiales | vinilo, ojales, cuerda de plástico, cinta y poliuretano |
|   | Exposición | A plastic presence                                      |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Warhol, Andy   |
|   | Título     | <i>Portrai des 10</i>  |
|   | Fecha      | 1967   |
|   | Materiales | serigrafía sobre estireno                                      |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Warhol, Andy   |
|   | Título     | <i>Kiss</i>  |
|   | Fecha      | 1966   |
|   | Materiales | impresión sobre metacrilato de metilo                          |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Warhol, Andy y Arman   |
|   | Título     | <i>What happening to the flowers?</i>                          |
|   | Fecha      | 1970   |
|   | Materiales | plástico serigrafiado  |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |                     |
|---|------------|---------------------|
|  | Autor      | Weinrib, David      |
|   | Título     | <i>Statium</i>      |
|   | Fecha      | 1966                |
|   | Materiales | resina de poliéster |
|   | Exposición | A plastic presence  |

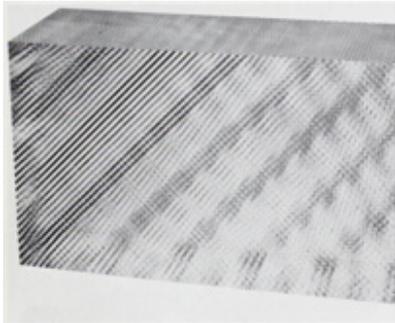
|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Wesselmann, Tom  |
|   | Título     | <i>Pied</i>  |
|   | Fecha      | 1967   |
|   | Materiales | plástico   |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Wesselmann, Tom  |
|   | Título     | <i>Sin título</i>  |
|   | Fecha      | 1964   |
|   | Materiales | lienzo, plástico, madera y gouache                             |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |  |
|---|------------|--|
|  | Autor      | Wesselmann, Tom  |
|   | Título     | <i>Plastic nude (charcoal)</i>                                 |
|   | Fecha      | 1989 - 1996  |
|   | Materiales | carbón y plástico pintado                                      |
|   | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |                       |
|---|------------|-----------------------|
|  | Autor      | Williams, Susan Lewis |
|   | Título     | <i>Cylinder Room</i>  |
|   | Fecha      | 1968                  |
|   | Materiales | vinilo                |
|   | Exposición | A plastic presence    |

|  |            |  |
|--|------------|--|
|  | Autor      | Wolman, Gil J.   |
|  | Título     | <i>10 adhésifs</i>   |
|  | Fecha      |  |
|  | Materiales | imágenes, textos y cinta adhesiva plástica                     |
|  | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

|   |            |   |
|---|------------|---|
|  | Autor      | Zammitt, Norman                                   |
|   | Título     | <i>Sin título (Construcción en estado sólido)</i> |
|   | Fecha      | 1969  |
|   | Materiales | acrílico  |
|   | Exposición | A plastic presence                                |

|   |            |                    |
|---|------------|--------------------|
|  | Autor      | Zelenak, Edward    |
|   | Título     | <i>Casing 1</i>    |
|   | Fecha      | 1969               |
|   | Materiales | fibra de vidrio    |
|   | Exposición | A plastic presence |

|  |            |  |
|--|------------|--|
|  | Autor      | Zorio, Gilberto  |
|  | Título     | <i>Sin título</i>  |
|  | Fecha      | 1966   |
|  | Materiales | espuma de poliuretano y metal                                  |
|  | Exposición | Chimeriques polymeres: Le plastique dans l'Art du XXeme siecle |

## **ANEXO II**

### **Encuestas**

## ESPAÑA

### ARTIUM (Vitoria, País Vasco)

Emilio Ruiz de Arcaute Martínez – Servicio de Restauración Diputación Foral de Álava

¿Se utilizan los mismo parámetros para obras en buen estado de conservación que para aquellas que presentan algún tipo de deterioro?

Las condiciones de almacenamiento y exposición de todas las obras del museo ARTIUM son semejantes, salvo en casos muy específicos.

En general, no tenemos obras realizadas con plástico en muy mal estado.

¿Se almacenan y exhiben las obras deterioradas y las que se encuentran en buen estado juntas?

Cómo ya he comentado, por el momento, no tenemos obras en tan mal estado que necesiten separarse del resto de las piezas. Además igual que otros museos tenemos problemas de espacio en almacenes, por lo que no hay muchas opciones de separar obras por materiales.

¿Se realiza algún tipo de mantenimiento como medida de prevención?

En algunos casos sí que se establecen protocolos de mantenimiento y limpieza, especialmente durante exhibición, para materiales especiales, como el plástico.

Hacemos especial seguimiento de algunas obras que sabemos pueden dar problemas de conservación.

Llegando el caso de que la obra se encuentre en riesgo de desaparición, se opta por ¿la conservación preventiva, la intervención, la réplica o la documentación?, ¿La toma de estas decisiones se realiza de forma individualizada o se siguen directrices propias o de algún organismo como el IIC?

En nuestro caso intentamos empezar por cuestiones como buena manipulación o conservación preventiva, pero si hace falta estamos abiertos a todas las posibilidades de intervención, incluidas la reedición o la réplica.

¿La toma de estas decisiones se realiza de forma individualizada o se siguen directrices propias o de algún organismo como el IIC?

Hoy en día, y especialmente en conservación de Arte Contemporáneo, todos trabajamos con criterios semejantes.

En nuestro caso hemos participado en proyectos del INCCA y colaboramos frecuentemente con especialistas de otros organismos y museos.

### **Centro Andaluz de Arte Contemporáneo (Sevilla, Andalucía)**

José Carlos Roldán Saborido – Departamento de Restauración

**¿Se utilizan los mismo parámetros para obras en buen estado de conservación que para aquellas que presentan algún tipo de deterioro?**

Bueno creo que ya habrás leído que son dos los factores que condicionan la estabilidad en los plásticos, de un lado la temperatura tanto la disminución brusca como la elevada (rompiendo las estructuras de los polímeros y provocando un gran repertorio de deterioro, descamaciones en superficie, micro-roturas, roturas en zonas de tensión o moldeo etc. ) y por otro lado la incidencia del espectro luminosos sobre todo los UV por la incidencia sobre todo en superficie , decoloraciones y alteraciones superficiales, pérdida de cohesión, etc.

**¿Se almacenan y exhiben las obras deterioradas y las que se encuentran en buen estado juntas?**

En la mayoría de los casos juntas o por decisión curatorial o del artista se han producido elementos o piezas nuevos

**¿Se realiza algún tipo de mantenimiento como medida de prevención?**

Tratamos de evitar contacto directo con material ácido en el caso de las protecciones en los almacenes, no limpiar el entorno con producto que emitan gases que puedan provocar, procesos químicos en los soportes, tratar de no almacenar en embalajes cerrados etc.

**¿Se realiza algún control de emisiones de gases contaminantes?**

No

Llegando el caso de que la obra se encuentre en riesgo de desaparición, se opta por

¿la conservación preventiva, la intervención, la réplica o la documentación?

Primero se trata de atenuar los elementos de deterioro, se documenta exhaustivamente, se interviene y si no se produce elemento nuevo.

¿La toma de estas decisiones se realiza de forma individualizada o se siguen directrices propias o de algún organismo como el IIC?

Solo la bibliografía generalista, los criterios de conservación preventiva en contemporáneo y buscando casos similares en trabajos de otros compañeros.

### **Centro Atlántico de Arte Moderno (Las Palmas, Canarias)**

Cristina Rodríguez Court – Laboratorio de Investigación

¿Se utilizan los mismo parámetros para obras en buen estado de conservación que para aquellas que presentan algún tipo de deterioro?

Los niveles de iluminación, temperatura y humedad se establecen según la naturaleza del material no de su estado de conservación.

¿Se almacenan y exhiben las obras deterioradas y las que se encuentran en buen estado juntas?

Se almacenan juntas. No exhibimos obras degradadas. Prevemos con antelación si van a ser expuesta para que sean restauradas.

¿Se realiza algún tipo de mantenimiento como medida de prevención?

Se hace un seguimiento de la obra en los depósitos, se controla la humedad y la temperatura y se elimina periódicamente el polvo superficial acumulado.

¿Se realiza algún control de emisiones de gases contaminantes?

No, sólo con examen organoléptico periódico

Llegando el caso de que la obra se encuentre en riesgo de desaparición, se opta por ¿la conservación preventiva, la intervención, la réplica o la documentación?, ¿La toma de estas decisiones se realiza de forma individualizada o se siguen directrices propias o de algún organismo como el IIC?

No se nos ha dado el caso, pero dependerá de la obra y de la opinión del artista, en el caso que esté vivo. Algunos teniendo conocimiento de la degradación lo aceptan, mientras que, otros prefieren la sustitución parcial de la obra, porque priman la idea que nos han querido transmitir a la originalidad de los materiales que la componen.

Estas decisiones vienen dadas por el seguimiento que se realiza de la evolución de las investigaciones en materia de conservación y prevención.

### **Fundación Gala-Dalí (Figueres, Cataluña)**

Josep M<sup>a</sup> Guillamet – Conservador-Restaurador

**¿Se utilizan los mismo parámetros para obras en buen estado de conservación que para aquellas que presentan algún tipo de deterioro?**

Las obras con algún tipo de deterioro se intenta no exponerlas a los elementos y en su caso se hacen respetar los márgenes de seguridad de las mismas, ajustando más si cabe los parámetros de luz y temperatura. Asimismo, se descarta o limita su exposición en las galerías.

**¿Se almacenan y exhiben las obras deterioradas y las que se encuentran en buen estado juntas?**

Las obras degradadas tienen un protocolo de trato pormenorizado que comporta su almacenamiento en un entorno específico y controlado, aislándolo en la medida de lo posible de la obra en buen estado.

**¿Se realiza algún tipo de mantenimiento como medida de prevención?**

Existe un programa anual de intervención que contempla la documentación, el control del estado de las obras, su mantenimiento y limpieza a lo largo de 8 meses consecutivos, recorriendo todos los espacios y obras en exposición.

**¿Se realiza algún control de emisiones de gases contaminantes?**

La problemática de la conservación de los materiales plásticos ha sido reconocida en nuestra institución desde hace más de 25 años, ha implicado el estudio de las piezas, el entorno y su interacción, así como el encontrar las soluciones más adecuadas en cada momento. Actualmente se dedican más tiempo, más recursos y hemos ampliado el conocimiento y la experiencia aplicando siempre una metodología y rigor científicos. El análisis científico lo

aplicamos más comúnmente para la identificación de plásticos o compuestos afines en las pinturas. Referente a los procesos de deterioro, conocemos bien los mecanismos y por ello aplicamos exámenes organolépticos, documentación y controles ambientales. En caso de duda, acudimos al laboratorio o a un especialista como en el caso de materiales mixtos, por ejemplo, plástico-hueso, plástico-metal etc.

Llegando el caso de que la obra se encuentre en riesgo de desaparición, se opta por ¿la conservación preventiva, la intervención, la réplica o la documentación?, ¿La toma de estas decisiones se realiza de forma individualizada o se siguen directrices propias o de algún organismo como el IIC?

El criterio sería evitar llegar al punto crítico del "riesgo de desaparición". De todos modos, habría diferentes aspectos para valorar y ello incluye la decisión del artista sobre el destino de su obra o la del responsable artístico de la institución. El criterio por orden de mínima intervención, sería: documentación, conservación preventiva, intervención, y/o réplica. La réplica puede cumplir con una función pedagógica, pero puede aportar dudas en el discurso estético, legal, o económico.

¿La toma de estas decisiones se realiza de forma individualizada o se siguen directrices propias o de algún organismo como el IIC?

Principalmente el conocimiento proviene de la experiencia y del estudio. El estudio comporta estar al corriente de los avances científicos en el sector de la Conservación Preventiva, de la Restauración y de la colaboración con Instituciones Universitarias, Museos, laboratorios o Institutos de investigación, así como de seguir los canales de difusión y foros como el ICC o INCCA que hacen una gran labor y son una buena fuente de debate y conocimiento.

### **Guggenheim Bilbao (Bilbao, País Vasco)**

Aitziber Velasco Delgado – Técnico en Conservación y Restauración

¿Se utilizan los mismo parámetros para obras en buen estado de conservación que para aquellas que presentan algún tipo de deterioro?

¿Se almacenan y exhiben las obras deterioradas y las que se encuentran en buen estado juntas?

¿Se realiza algún tipo de mantenimiento como medida de prevención?

¿Se realiza algún control de emisiones de gases contaminantes?

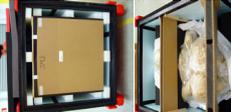
Llegando el caso de que la obra se encuentre en riesgo de desaparición, se opta por ¿la conservación preventiva, la intervención, la réplica o la documentación?, ¿La toma de estas decisiones se realiza de forma individualizada o se siguen directrices propias o de algún organismo como el IIC?

He preparado una hoja Excel que resume las obras con componentes plásticos que tenemos en la colección.

En general no tenemos un protocolo especializado para las obras con plástico, a excepción de la revisión de los embalajes, que se realiza con más asiduidad que otro tipo de obras, momento en el cual realizamos las mediciones que también aparecen descritas en la Excel. También las características de los embalajes son específicas: los materiales utilizados difieren de los empleados en obras compuestas de otro tipo de materiales, y las bolsas individualizadas, las espumas o los cartones, se sustituyen cuando conviene.

Las condiciones de HR y t<sup>a</sup> no son diferentes de las del resto de las obras, porque tenemos unos rangos standard tanto en galerías como en almacenes. Lo que sí es más específico es el límite de luxes. Lo verás en la tabla que te comento.

En los casos en que la obra presenta deterioros muy notables, el contacto con los artistas es clave para decidir el tipo de intervención en la parte de componentes que sufren una modificación sustancial de sus características, o bien si procede o no la sustitución de los mismos. Las decisiones, como te comento, vienen más basadas en los diálogos con los artistas que en las instituciones que mencionas, aunque a la hora de presentarles propuestas a los artistas, revisamos documentación publicada al respecto, y bibliografía sobre casuística similar. En concreto sobre plásticos tenemos variada bibliografía, que me imagino que ya conoces (Plastics in Art, Friederike Waenting 2008; Conservation of Plastics, Yvonne Shashoua 2008; Plastics Materials, John Brydson 2000).

| AUTOR             | OBRA                      | TÉCNICA  | IMAGEN DE LA OBRA   | IMÁGENES DE DETALLE   | EMBALAJE  | IMÁGENES DEL EMBALAJE  | LUXES   | % HR   | Temperatura | Observaciones   |
|-------------------|---------------------------|--|---|---|---|--|---|--------|-------------|---|
| ARAMBERI, Ibon    | Horizontes                | 499 banderolas serigrafadas sobre lona de plástico |    |    | ARTEA ACP-D. Caja madera 65,5 H x 122,5 L x 113 W cm / 5 cajas interiores de cartón libre de ácido de 14 H x 86 L x 56 W cm. Caja de madera pintada forrada con materiales aislantes para evitar fluctuaciones de temperatura y humedad relativa. Colocación de lámina de glassine entre las banderolas para evitar la posible transferencia de la tinta de unas a otras.   |    | 80 LUXES - por las tintas   | 45-55% | 19-23 °C    |   |
| MORAZA, Juan Luis | Éxtasis, status, estatua  | Resina sintética                                   |    |    | ARTEA ACP-B. 2 cajas rojas 1/2 128x145x85cm. 2/2 116x145x85cm. Tacones en bolsas de polietileno individuales //ARTEA ACP-B armario extras. PROPUESTA DE MEJORA DE EMBALAJE: Sustituir el cartón pluma por cartón corrugado o policarbonato y forrar los cajones de marseal. Colocar AD strips en el interior de las bolsas y en el exterior de las mismas, dentro de un cajón y comprobar la diferencia así como constatar la presencia de ácidos orgánicos volátiles. Hacer lo mismo para los tacones de repuesto. | <br> | 70 LUXES  | 45-55% | 19-23 °C    | Controlar el amañillamiento de la resina mediante mediciones con el espectrofotómetro   |
| MUNOZ, Juan       | Sombra y boca             | Las figuras humanas son de resina de políester     |    |   | ARTEA ACP-B. 3 cajas rojas. Jmi #: h.120 x 126 x 210cm. Jm2#: 66 x 89 x 174,5. Jm3#: 111, 5 x 131 x 96,6 cm / Armario 6-1 y 2- cabeza en caja roja y caja color madera (el latex de las cabezas instalado, SIN CERRAR). Sillas embaldasadas con ceplias.  |    | 80 LUXES - las propias características de la obra requieren una iluminación tenue | 45-55% | 19-23 °C    | Controlar el amañillamiento de la silicona mediante mediciones con el espectrofotómetro   |
| SOLANO, Susana    | Jaosolor                  | Las pajaitas de la barca son de PVC                |  |  | ARTEA ACP-B. 1998.4-a-b caja roja: 72 x 458 x 79 cm. (barcaza envuelta en celofán). 2 soportes. Y caja de madera 1998.4.b 36 x 63 x 11 cm para fotografía enmarcada // planero Balda 1 fotografía en caja de cartón gris  |    | 50 LUXES - por la fotografía Y 100-150 LUXES para la barca                        | 45-55% | 19-23 °C    | Las pajaitas de PVC presentan pérdida de flexibilidad debido al paso del tiempo. Principalmente donde el cordel las oprime para fijarlas a la estructura presentan áreas quebrazadas. Valorar con la artista si pueden sustituirse por nuevas. Existe polvo superficial en el interior de las pajaitas y oxidación que afecta tanto al metal como al PVC. |
| TORRES, Francisco | Demasiado tarde para Goya | El mono es de fibra de vidrio                      |   |  | ARTEA ACP-C.4 cajas madera: #1/11 79 x 155 x 96,5 cm. #2/11 h.67 x 265 x 101,5 cm. #3/11 50,5 x 158 x 76 cm. #4/11 73 x 124,5 x 59,5 cm). Armario. Audiovisual del A 155: 6/11, 7/11, 8/11, 9/11, 10/11, 11/11 (proyector + amplificadores). 5/11 (Monitor 5  |    | Las propias características de la obra requieren una iluminación muy tenue        | 45-55% | 19-23 °C    | Mantenimiento: limpieza del polvo superficial en el mono con brocha suave   |

**Vostell Malpartida (Cáceres, Extremadura)**

Alberto Flores – Técnico de arte

¿Se utilizan los mismo parámetros para obras en buen estado de conservación que para aquellas que presentan algún tipo de deterioro?

Los niveles de iluminación, temperatura y humedad son generalmente los mismos para todas las obras. Por otra parte, si alguna pieza manifiesta algún tipo de deterioro no se exhibe.

¿Se almacenan y exhiben las obras deterioradas y las que se encuentran en buen estado juntas?

No se almacenan juntas. Tratamos de no exhibir obras degradadas.

¿Se realiza algún tipo de mantenimiento como medida de prevención?

Sí, fundamentalmente limpieza preventiva.

¿Se realiza algún control de emisiones de gases contaminantes?

No, hasta ahora.

Llegando el caso de que la obra se encuentre en riesgo de desaparición, se opta por ¿la conservación preventiva, la intervención, la réplica o la documentación?, ¿La toma de estas decisiones se realiza de forma individualizada o se siguen directrices propias o de algún organismo como el IIC?

Siempre es preferible para nosotros, en estos casos, optar por la conservación preventiva. Llegado el caso, sería preferible la intervención a la realización de una réplica.

Estas decisiones están apoyadas en directrices proporcionadas desde el Centro de Conservación y Restauración de Bienes Muebles de la Consejería de Educación y Cultura del Gobierno de Extremadura, de la que dependemos.

**EUROPA****Die neue sammlung -The international design museum (Munich, Alemania)**

Tim Bechthold – Head of Conservation

Are the same parameters used in deteriorated and in good condition artworks?  
Are damage and artworks in good condition stored and exhibited together?

Is there any preservation process made as a preventive measure?

Are polluting gases somehow controlled?

In the event that the artwork is at risk of disappearing, the best option is the preventive conservation, the intervention, the replication or the documentation? Is this decision-making process made in an individualized way or are there any guidelines owned by organisms such as the IIC?

We don't have separated areas, so decisions belong to the space conditions available. Storages are dark, the conditions are around 18°C+- and the humidity is about 48%. It's like common storage conditions we have everywhere, we don't have the possibility to put things in a colder area or something like that. What we do is when we have rubber objects and we have the possibility to separate them, just the rubber, we use the laminated foil which is impermeable to oxygen. We put the objects in plastic bags and we introduce scavengers into the bag to make sure that the rubber objects are stored without oxygen. Just in case, we may also include absorbers. The big challenge in large collections is for example that we have a radio which has a lot of different materials so it is not always possible to separate the rubber from the rest of the radio components or to put the PVC table away or in a different location, because they are close connected to the rest of the objects.

From a theoretical point of view, cold storage is perfect because if you lower the temperature, you slow down the chemical processes, but on the other hand you have to think that if you cool down the storage, you will always have to recondition the object. Also, you must keep in mind when you will need the object. So you have to consider the condition of the object because it will be subjected to additional stress and there is also the possibility of crazes and cracks just because of the speed. When you are sure that you want to store them for 3 years, that you can't touch them, and that you won't need them for exhibitions, it is perfect to have something like a cold storage. But if you are not sure about it, because next week collectors might need it, then it could be harmful for the object.

Another aspect is the influence of the atmosphere: lightning, oxygen, temperature... But also avoiding mechanical stress in the object. Most rubber objects are very elastic and if you don't store them in a proper position, the material will suffer from too much stress, which will also accelerate the degradation.

There is something that we are working on. It is a 1950s TV with a screen made of

cellulose acetate and we have many problems with crystallization products on the surface of the screen. Industrial design –say televisions, radios, electrical devices and things like that– is kept in a big storage. It's an open room, just close in this room but an open show. We identified the crystallization problems soon, we decided to take it out of the storage to treat it, and now we plan to separate it from the storage because in this case we have problems with gases forming around the object that will definitely cause problems to other objects.

We don't have the possibility to store the rubber the PVC or other materials together, but actually, this is due to space problems. As I told you before, we also find many materials in one object

When something is really ruined, it is always made case by case. We take it out of the storage, put it in the lab, and then in the studio. We try to develop a strategy for the right treatment and in most cases we try to document the object whenever it's possible, to save the material. When objects made of rubber, for example, are unrecoverable, they are kept in the warehouse as documentation. And in some cases we make a reconstruction of the object if there is no other possibility. We can't really say what we do exactly, every decision is individualized.. We take it out of the storage and we try to minimize the chemical stress, to reduce any other influence and to document as much as possible. Besides, we normally think about the possibility of a reconstruction, Making a reconstruction is not possible sometimes because you change the object too much. It is no easy to describe what we do accurately.

There isn't any kind of institution ethics, we try to follow the same ethics than with any other kind of conservation or materials. So, as long as possible, we always try to do reversible treatments, to document what we do and to use materials from the conservation section, which are stable enough and reversible. It works exactly as the conservation treatment for other materials, the difference is that if you have plastics with an advanced chemical degradation such as polyurethane soft foam and you have to consolidate it, it is impossible to reverse the treatment to the initial point. In this case, you have two options: either accepting the deterioration of the material to its disappearance or consolidating the foam and accepting that it is not reversible. And that is the difference between the conservation of normal paintings and the conservation of plastics. In this kind of aspects it is different because the chemical reactions are not reversible.

**Kunststoff-Museums-Verein e. V. (Düsseldorf, Alemania)**

Uta Scholten - Curator

Are the same parameters used in deteriorated and in good condition artworks?

Are damage and artworks in good condition stored and exhibited together?

Is there any preservation process made as a preventive measure?

Are polluting gases somehow controlled?

In the event that the artwork is at risk of disappearing, the best option is the preventive conservation, the intervention, the replication or the documentation? Is this decision-making process made in an individualized way or are there any guidelines owned by organisms such as the IIC?

Thank you for interest in the German Plastics Museum and its work.

Before answering your questions in detail I will give you some general information about this institution because they are important to understand our acting. The German Plastics Museum is run by a non-profit organization, the Plastics Museum Society. We finance our activities from the payment of our members and donations. That's why it was not yet possible to give our collection of nearly 15,000 historical plastic objects a permanent home. I am the only permanent employee with a contingent of 20 hours the week. Besides the collection I care about the communication, preparation of exhibitions and other administrative tasks. You see the possibilities of the museum are very restricted - financially and concerning manpower.

Until June 7th 2016 the complete collection was stored in a part of an industrial store house belonging to the Düsseldorf Trade Fair Company (Messe Düsseldorf GmbH). It was built in the year 1998 and a special part (300 qm) was prepared for the museum's collection with special precautions against fire. Although it had no air condition the temperature changes took place very slowly between 20°C in summer and 5°C in winter, there was no daylight, that means no damages caused by the impact of UV-lighting.

I am the museum's curator since 2002 and one of my tasks the conservation and to watch after beginning degradations. Fortunately Prof. Friederike Waentig from the Cologne University of Applied Sciences is member of the board and

gives us advice concerning the conservation of the collection. She is the leading expert of Plastics' conservation and restoration in Germany.

Problematic materials in our collection are above all objects made of cellulose nitrate (CN) and Cellulose Acetate (CA). They were stored in open PE-Boxes and paper without acids to guaranty a permanent change of air. As soon as I noticed first signs of degradations (intensive smell of soap or vinegar, sweating of the surface) the objects were immediately separated from the others and stored at a special place. In unique cases we took special precautions. We own the production archive with more than 2000 samples of Cellulose nitrate. To protect these unique samples they were packed in special museum boxes and paper that can absorb acidity.

Since June 2016 the situation is a bit complicated. The store house was destroyed by a fire and we had to evacuate the collection at once. Even the collection was protected against the fire we had damages caused by moisture and dirt. After drying, cleaning and documentation of their condition the objects are now stored provisional in a building not really apted for museal purposes. A permanent surveillance of every object is not possible there. But we hope to bring the collection to a new depot until summer 2017. The problematic materials like CN and CA are stored in a dark room without windows.

### **Museum of Design in Plastics (Poole, Inglaterra)**

**Pam Langdown – Collections manager**

**Are the same parameters used in deteriorated and in good condition artworks?**

When deterioration is found the pieces in question are physically removed from their storage location and put in a holding bay away from good pieces. Currently we have very limited resources so we are only able to make a physical removal within the same store so temperature and humidity remain the same as for all pieces. Light levels are always very low or nil in the storage areas so this too remains the same.

**Are damage and pieces in good condition stored and exhibited together?**

See above for storage. We never exhibit deteriorating pieces, so the answer

would be no, we would not exhibit damaged and good pieces together.

### **Are polluting gases somehow controlled?**

We unfortunately do not have the resources to undertake this kind of work.

**In the event that the artwork is at risk of disappearing, the best option is the preventive conservation, the intervention, the replication or the documentation? Is this decision-making process made in an individualized way or are there any guidelines owned by organisms such as the IIC?**

When pieces are found to have deteriorated we aim to document any further deterioration by means of photography and more frequent condition checking. We do not follow any externally set guidelines.

**Statens Munseum for Kunts (København, Dinamarca),  
Kathrine Segel – Conservator of Contemporary Art and Sculpture**

### **Are the same parameters used in deteriorated and in good condition artworks?**

When exhibiting plastic objects – damaged or not damaged – we try to be strict about lighting, temperature and humidity. In the past we have had a few bad experiences at the museum so now even the curators are very aware of this – especially lighting. It does not really matter if an object is damaged or in good condition, as degradation can happen pretty quickly.

When that is said we do some objects which the curators would like to have on display all the time, but which we will not allow. In these cases we put them up for exhibition for a short period and then give them a break in that dark.

### **Are damage and pieces in good condition stored and exhibited together?**

Yes, unfortunately. Our storage facilities – especially for large scale contemporary artworks are not ideal. At the moment we have three different locations where we store art works. One is climatized (20oC and 45% RH) but can only contain smaller objects. One is climatized (5oC and 45%RH) and can small and mid-size objects. The last one is not climatized, but can contain very large objects.

Whenever possible I recommend that our plastic objects are stored at the

climatized location (5oC and 45%RH) – both damaged and objects in good condition.

Unfortunately some of our larger works are too big for this location, and at the moment there is nothing I can do about that.

I should say that some of our damaged works are also impossible to treat as damage is irreversible. They are more kept as documentation. Our main concern is to store objects in good conditions under the best facilities we can offer.

#### **Are polluting gases somehow controlled?**

Unfortunately we do not have the right equipment at SMK to do scientific analysis on plastics. Whenever needed we do collaborate with the laboratory at The Danish National Museum, but it is a service that we pay extra for, so it is really only used in rare cases. Scientific analysis is only done when we have a serious conservation problem and need to know the specific type of plastic the object is made of either:

- a) because we what to know why it is deteriorating
- b) to find a proper conservation treatment

Generally I would say that visual control of damaged plastic objects in the only method used on a daily bases.

**In the event that the artwork is at risk of disappearing, the best option is the preventive conservation, the intervention, the replication or the documentation? Is this decision-making process made in an individualized way or are there any guidelines owned by organisms such as the IIC?**

That depends from case to case. If damage is irreversible we try to contact the artist if he/ she is still alive. Actually, we try to do an interview with the artist already when we acquire the work.

The majority of the art works in our modern and contemporary collection is of mixed media. If the plastic part is degraded on such object it does not mean that the artwork is 100% destroyed. Sometimes we do intervene (but only if it is strictly needed for the meaning of the artwork) – change the plastic to new or repair the plastic, but only if agreed on by the artist/ heirs. In case of change the original will always be kept as documentation. I do not think we have done any entire copy of a plastic art work ever.

All treatments are always done according to the rules of INCCA.

**Tampere Museum (Tampere, Finlandia)**

Arja Koskinen - MA, Conservator

Are the same parameters used in deteriorated and in good condition artworks?

Are damage and artworks in good condition stored and exhibited together?

Is there any preservation process made as a preventive measure?

Are polluting gases somehow controlled?

In the event that the artwork is at risk of disappearing, the best option is the preventive conservation, the intervention, the replication or the documentation? Is this decision-making process made in an individualized way or are there any guidelines owned by organisms such as the IIC?

In the collection of Tampere museum, there are no contemporary works of art. However, there are plastic objects in the collections. There are no specific guidelines for storing them.

The museum also has a quite large collection of rubber (elastomer) objects. The collection consists of mass-produced rubber objects, such as rubber boots, rubber toys, car tyres etc. That collection has specific guidelines for storing.

They are stored in a storage room, which has temperature of +15 C and RH% of 40. VOCs are measured in real-time. Only general level of VOCs are measured, as the equipment has its limitations.

The main focus is on preventive conservation.

Some answers to your questions.

Lighting levels, when objects are exhibited, are about 200 lux (no UV) or lower depending on the object. When the exhibition is closed there are no lights on.

We rarely exhibit damaged rubber objects.

In case of unrecoverable deterioration we do intervention, documentation and preventive conservation.

**Victoria & Albert (Londres, Inglaterra)**

Brenda Keneghan – PhD FRSC Polymer Scientist

Are the same parameters used in deteriorated and in good condition artworks?

We have no defined levels of temperature, RH & light for damaged vs. good condition.

Are damage and artworks in good condition stored and exhibited together?

Generally damaged pieces are removed from general store if the damage is chemical rather than physical.

Are polluting gases somehow controlled?

We do not follow any kind of control.

In the event that the artwork is at risk of disappearing, the best option is the preventive conservation, the intervention, the replication or the documentation? Is this decision-making process made in an individualized way or are there any guidelines owned by organisms such as the IIC?

Unrecoverable degradation results in deaccession of the object from the collection.

**AMÉRICA****Denver Art Museum (Denver, Estados Unidos)**

Sarah E. Melching - Silber Director of Conservation

We are in the process of developing protocols for storing plastics at the Denver Art Museum.

Are the same parameters used in deteriorated and in good condition artworks?

All of our plastics are currently stored at 70 degrees Fahrenheit, plus or minus

2 degrees and 45% relative humidity, plus or minus 5%. Light levels are at 5 f.c. or 50 lux.

**Are damage and artworks in good condition stored and exhibited together?**

Currently all plastics are stored together

**Are polluting gases somehow controlled?**

Visual assessment and detection of odor are the current means of evaluation

**In the event that the artwork is at risk of disappearing, the best option is the preventive conservation, the intervention, the replication or the documentation? Is this decision-making process made in an individualized way or are there any guidelines owned by organisms such as the IIC?**

We respond to damages and deterioration in accordance with the AIC Code of Ethics and AAM.

### **Museum of Modern Art (Nueva York, Estados Unidos)**

Ellen Moody – Projects Assistant Conservator

**Are the same parameters used in deteriorated and in good condition artworks?**

**Are damage and artworks in good condition stored and exhibited together?**

**Is there any preservation process made as a preventive measure?**

**Are polluting gases somehow controlled?**

**In the event that the artwork is at risk of disappearing, the best option is the preventive conservation, the intervention, the replication or the documentation? Is this decision-making process made in an individualized way or are there any guidelines owned by organisms such as the IIC?**

We do not have a protocol for volatile plastic objects, but take it on a case-by-case basis. For objects that have completely degraded we de-accession, but keep them in Conservation (in closed containers) for study purposes. They are mostly cellulose nitrate and cellulose acetate objects. None receive special temperature/humidity as our museum and storage conditions are fairly stable at 50%RH and 70 degrees F, though we typically require lower light levels when plastics are on display and store them in the dark.

**Pinacoteca do Estado de São Paulo (São Paulo, Brasil)**  
Camilla Vitti Mariano – Conservator

**Are the same parameters used in deteriorated and in good condition artworks?**

All the objects are kept in storage: no light, most of the time, 18°/19° and 55%. Only the pieces in good condition can be displayed and since we have already solved some issues all the objects in the collection can participate of any exhibition following the levels for each material.

**Are damage and artworks in good condition stored and exhibited together?**

We decided to keep materials that emit VOCs separated from other materials (including plastic materials), but in the same storage. For those made of cellulose nitrate and cellulose acetate, we built cases that have ventilation and add an indicator to measure if the process of degradation has started or in which level it is so far. Fortunately, all these objects are in good condition, which means that we can display them.

**Are polluting gases somehow controlled?**

We always work in partnership with scientists and Universities. For this specific analysis we don't have any project at this moment. However, we are constantly checking the objects and comparing any changes with the documentation and condition reports.

**In the event that the artwork is at risk of disappearing, the best option is the preventive conservation, the intervention, the replication or the documentation? Is this decision-making process made in an individualized way or are there any guidelines owned by organisms such as the IIC?**

Always following the ethical aspects involving the conservation and restoration profession we decide what is the best for each work of art depending on its issue. It could be any of those procedures or more than one. Pinacoteca is member of INCCA since 2005 and because of this artist interview plays a role in the final decision.





