

# Calidad del aire interior de las vitrinas en el nuevo Museo Arqueológico Nacional

**Benigno Sánchez Cabrero** (benigno.sanchez@ciemat.es)

**Olga Vilanova Anta** (olga.vilanova@ciemat.es)

Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT)

**María Cristina Canela** (mccanela@uenf.br)

Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF)

**Teresa Gómez Espinosa** (teresag.espinosa@meacd.es)

Museo Arqueológico Nacional

**Resumen:** El presente trabajo evalúa la eficiencia de filtros de carbón activado para el tratamiento del aire interior de las vitrinas herméticas de nueva generación instaladas en el Museo Arqueológico Nacional (MAN) reinaugurado en 2014. Dichas vitrinas, al ser de cierre próximo a la hermeticidad, garantizan la no entrada de polvo, pero tienden a acumular los Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) emitidos por los materiales que las conformen tras su construcción y/o por algunas de las piezas contenidas en ellas. Con objeto de minimizar la posible influencia perjudicial que tales compuestos puedan ocasionar en las obras expuestas, se han ensayado dos sistemas de tratamiento: Carbón activado incorporado en un sistema auxiliar de recirculación del que se dota a cada vitrina, y un sistema portable y autónomo que permite el tratamiento de diferentes vitrinas individualmente.

**Palabras clave:** Conservación Preventiva. Compuestos Orgánicos Volátiles. COV. Vitrinas.

**Abstract:** This paper evaluates the efficiency of activated carbon filters for indoor air treatment of airtight showcases of new generation installed in the National Archaeological Museum (MAN) reopened in 2014. These showcases, being next closure tightness guarantee the non-entry of dust but tend to accumulate Volatile Organic Compounds (VOCs) emitted by their building materials after construction. Two treatment systems have been tested to minimize the potential detrimental impact that such compounds may cause in the heritage. Activated charcoal incorporated in an auxiliary recirculation system inside the showcase, and a portable and autonomous system that allows different treatment showcases individualized.

**Keywords:** Preventive Conservation. Volatile Organic Compounds. VOCs. Showcases.

El Museo Arqueológico Nacional (en adelante MAN) ha sido objeto de diferentes reformas a lo largo de su historia desde que se fundó por Real Decreto en 1867. La última, llevada a cabo entre los años 2008 y 2013, ha sido la de mayor alcance y ha convertido a este centenario Museo en uno de los más modernos del país. El inmueble ha ganado nuevos espacios hasta alcanzar los 27 000 m<sup>2</sup>, de los cuales la superficie expositiva ocupa alrededor de 16 000 m<sup>2</sup>.

El MAN es uno de los museos estatales más destacados por la riqueza y variedad de sus colecciones. Cuenta con alrededor de 1 250 000 bienes, compuestos por materiales orgánicos e inorgánicos de toda índole, correspondientes a diferentes etapas culturales desde los primeros homínidos hasta el siglo XIX. Estas colecciones representan la evolución cultural de la Península Ibérica desde la Prehistoria hasta la Edad Moderna y también nos muestran otras culturas foráneas, como las primeras civilizaciones del Próximo Oriente, Egipto, Grecia y Roma.

Para poder conservar de la forma más idónea los bienes culturales resulta necesario conocer su historia, sus materiales constitutivos, las técnicas de fabricación, así como los tratamientos de restauración de que han sido objeto. Sólo con el conocimiento integral de cada bien se podrá actuar adecuadamente en su conservación. A esto hay que sumar los riesgos a que están expuestos, entre los que las condiciones climáticas, la iluminación y la contaminación ambiental son factores determinantes.

En las últimas décadas se ha ido consolidando una nueva disciplina en el terreno de la conservación y la restauración de bienes culturales: la Conservación Preventiva. En este sentido se ha trabajado notablemente con las condiciones ambientales, sobre todo en lo referente a temperatura, humedad relativa e iluminación. Sin embargo son muy escasos los trabajos de investigación relacionados con los contaminantes químicos en contacto con las piezas (Grywacz, 2006; Nazaroff, Cass, 1991).

El principal recurso de los museos para la conservación y exposición de piezas históricas son las vitrinas. Además de las ventajas estéticas, representan una clara protección física inmediata contra posibles daños directos ocasionados por los visitantes. Sin embargo, en función del diseño de la vitrina, los materiales de los cuales está compuesta, la obra que preserva en su interior, la iluminación, las condiciones de humedad y temperatura, y los Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) pueden, finalmente, generar diversos problemas que afecten negativamente a la obra (Camuffo, Sturaro, Valentino, 2000). Entre los contaminantes químicos encontramos un buen número de COV, partículas, SO<sub>2</sub> y O<sub>3</sub>. Las vitrinas de cierre hermético, por ejemplo, garantizan la no entrada de polvo, pero tienden a acumular COV emitidos tras su construcción y/o por algunas de las piezas contenidas en ellas. Si la concentración es alta y susceptible de producir daño, una solución para su eliminación es filtrar el aire interior de la vitrina mediante diferentes adsorbentes, fundamentalmente carbón activado.

En la mayoría de los casos, las llamadas de atención sobre la presencia de posibles contaminantes han venido señaladas por alteraciones ya visibles en algunas obras, o bien por la detección de malos olores y síntomas de mareo o náuseas ocasionados al abrir vitrinas. Es de resaltar que no todos los compuestos regulados por salud ocupacional representan un riesgo para las obras de arte. Así por ejemplo, el benceno, un compuesto cancerígeno para humanos no representa ningún posible daño conocido para aquellas. Igualmente ocurre con el CO<sub>2</sub>, de manera que no resulta convincente asumir las regulaciones para humanos como directamente aplicables para la conservación de obras de arte.

Mientras que para muchos contaminantes la normativa para la salud humana se establece en partes por millón (ppm:  $10^6$ ), diferentes autores consideran segura la protección de las obras únicamente a niveles de partes por billón (ppb:  $10^9$ ). De manera que al necesario control de contaminantes en concentraciones dañinas para el ser humano aunque no lo sean para las obras de arte, es necesario añadir compuestos y concentraciones perjudiciales para éstas. Por lo tanto, en relación con la conservación, nos encontramos con la paradoja apoyada por diferentes investigadores de que en muchos casos los límites establecidos en partes por millón (ppm) deben ser rebajados a partes por billón (ppb) (Grywacz, 2006; Nazaroff, Cass, 1991).

Este trabajo se concreta en caracterizar los ambientes interior y exterior de las vitrinas de nueva generación instaladas en el MAN y evaluar la eficiencia de eliminación de COV mediante dos sistemas de filtración basados en carbón activado.

## Material y métodos

### Muestreos y zonas de muestreos

Los muestreos se han realizado en tres salas del MAN en las que se exponen obras realizadas con una amplia diversidad de materiales: madera, metal, cerámica y materiales orgánicos. La figura 1 muestra las distintas zonas de muestreo.

Las salas escogidas se localizan entre las dedicadas a Egipto ( $165 \text{ m}^2$ ), a Protohistoria ( $337 \text{ m}^2$ ) y a Antigüedades Medievales ( $543 \text{ m}^2$ ). Además, se tomaron muestras en el exterior del museo como referencia. Cada sala posee distintas medidas y distribución pero contiene el mismo tipo de vitrinas en su interior. Para este trabajo se han dividido las vitrinas en los siguientes tipos: con filtración y sin filtración. Dentro de las vitrinas con filtración encontramos dos tipos: filtración interna y filtración externa.

Las muestras se tomaron una vez por semana en un periodo de 12 meses. Cada semana se llevaron a cabo tanto muestreos activos como pasivos.

### Muestreo Activo

Se realizaron tomas de muestras de 1h en cuatro zonas diferentes (Egipto, Protohistoria, Medieval y exterior del museo). Se emplearon bombas de muestreo Gilian con un caudal de 200 ml/min. Los COV se recogieron en tubos de acero inoxidable rellenos con 250 mg de Tenax® TA (óxido de 2,6-difenilfenileno). Tras la toma de muestras, los tubos de Tenax® TA se almacenaron en congelador a  $-20^\circ \text{C}$  hasta su análisis. Los tubos se analizaron siguiendo el método TO-17 de la EPA (1999).

### Muestreo Pasivo

Se realizaron muestreos pasivos de 7 días en tres zonas diferentes (Egipto, Protohistoria y Medieval) empleando los mismos materiales y métodos descritos anteriormente. Los muestreos se realizaron en el interior y en el exterior de las vitrinas, siempre en el mismo sitio y con su réplica correspondiente.

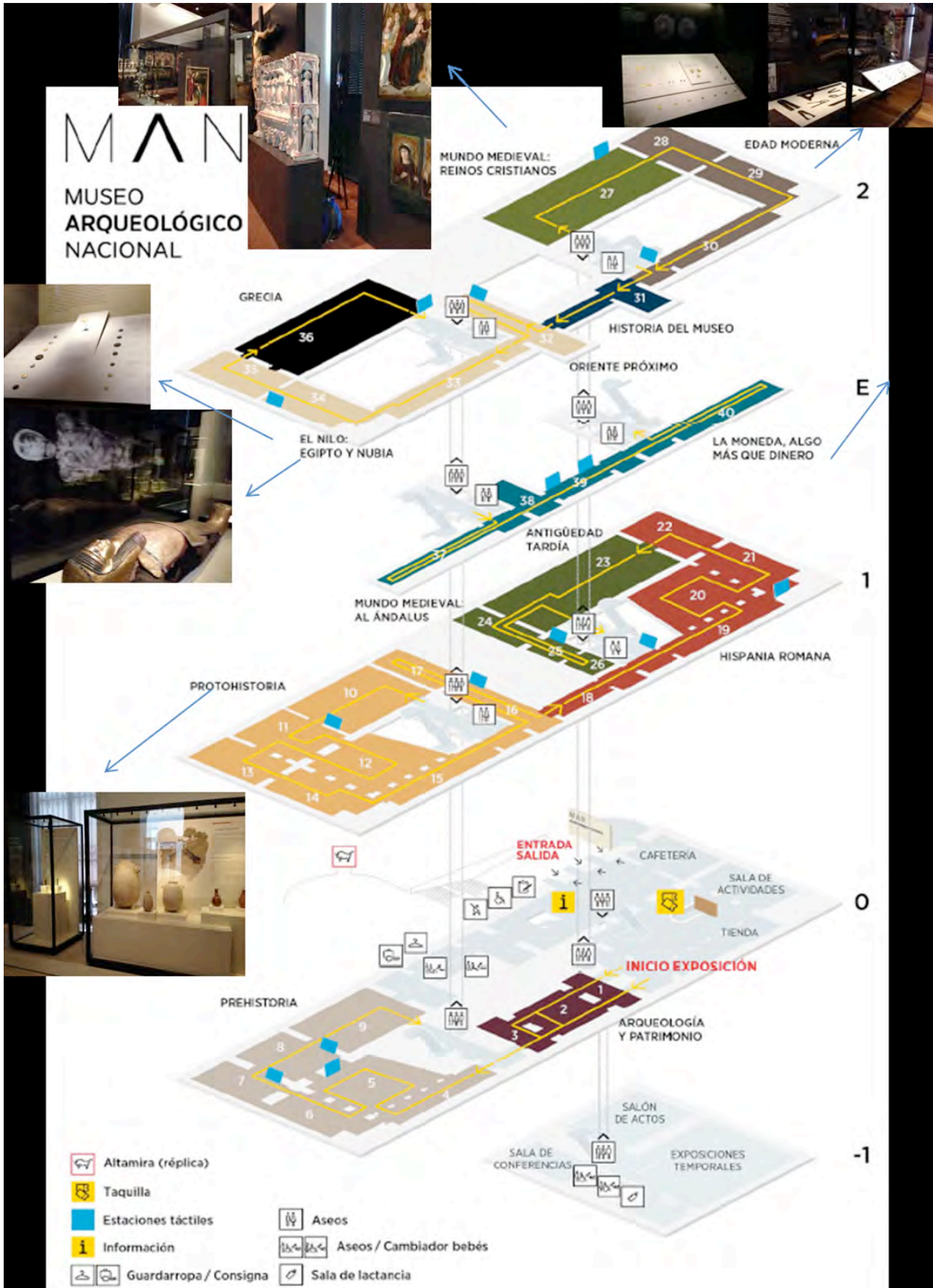


Fig. 1. Representación gráfica de la situación de los diferentes ambientes muestreados.





Fig. 2. Sistema de filtración portable.

## Tipos de vitrinas

Las vitrinas de este nuevo proyecto museográfico son en su mayoría herméticas, aunque, en menor porcentaje, hay también algunas que no lo son. En esta ocasión nos referimos sólo a las vitrinas herméticas y dentro de éstas podemos encontrar dos tipos:

### **Vitrinas sin filtración**

Se trata de vitrinas herméticas de distintas medidas. En el interior encontramos siliconas, tintas, el material soporte (plinto) sobre el que se depositan las piezas, etc.

### **Vitrinas con filtración**

#### **Externa**

Vitrinas construidas con los mismos materiales a las que se les ha dotado de dos llaves de cierre que permiten el cambio del aire interior al conectarlas a un sistema externo de filtración portable. Como se observa en la figura 2, este sistema consta de una caja de acero inoxidable



Fig. 3. Sistema de filtración integrado..

de dimensiones: 1100 mm × 400 mm × 400 mm y 39 kg de peso en cuyo interior se encuentra una turbina centrífuga con motor EC (regulable de 0-10 V) y un sistema de filtración (EN779/2012) con un prefiltro de clasificación F9, un filtro de gases de carbón activado granular y permanganato potásico y un filtro de partículas absoluto HEPA H14 99.999 % de 3 micras.

### Interna

A otro número del mismo tipo de vitrinas se las dotó de un sistema de recirculación y filtración individualizado y con funcionamiento en continuo. Como se observa en la figura 3 este sistema consta de una caja metálica de acero inoxidable en cuyo interior se integran un monolito de carbón activado, un filtro de partículas absolutas y 8 mini-ventiladores incorporados en línea.

### Análisis instrumental

Las muestras se analizaron usando un equipo de desorción térmica acoplado a un cromatógrafo de gases con espectrometría de masas (ATD-GC/MS) según el sistema ya descrito (Sánchez *et al.*, 2012).

## DetECCIÓN Y CUANTIFICACIÓN

Los análisis cualitativos se basan en la base de datos NIST MS Search 2.0 library. Se realizaron curvas de calibrado para cada compuesto de interés. Los compuestos cuantificados fueron: 17 aromáticos, 7 hidrocarburos alifáticos, 2 alcoholes, 4 siloxanos, 3 aldehídos, 3 terpenos, 2 ácidos, 1 cetona y 1 oxima.

Los análisis cuantitativos se realizaron a partir de disoluciones de los patrones comerciales en metanol (Fluka). Las curvas de calibrado se crearon agrupando distintos compuestos en función de sus grupos funcionales, preparando disoluciones patrón de distintas concentraciones e inyectando 5  $\mu$ L de cada disolución con una microjeringa (Hamilton, Reno, NV, USA) como indica el método TO-17 EPA (1999) en un tubo de Tenax® TA.

Los límites de detección (LD) se definieron como la menor cantidad de compuesto capaz de generar una señal en el análisis cromatográfico y los límites de cuantificación (LC) corresponden a tres veces el LD. Los valores obtenidos se muestran en la tabla 1.

## Resultados y discusión

La caracterización de los distintos ambientes (aire exterior e interior del museo) se realizó mediante muestreos activos de una hora de duración en ausencia de visitantes. La tabla 2 muestra la estadística de las concentraciones estudiadas para los distintos puntos de muestreo.

Los niveles de COV encontrados en el aire interior varían ampliamente entre las tres zonas de muestreo estudiadas (Egipto, Protohistoria y Medieval). En general se observan mayores valores en la sala de Egipto, que es la de menor tamaño entre las tres.

El I/O ratio se define como la relación entre la concentración de los COV en el interior del museo (indoor, I) y exterior del museo (outdoor, O). Es una herramienta importante para indicar la fuente de contaminación en ambientes interiores (Parra et alii, 2008). Cuando la relación I/O ratio es mayor a 1, indica que la fuente de contaminantes en el interior es significativa. De esta forma el I/O ratio se puede emplear como indicador de la contaminación interior. La figura 4 muestra los I/O ratios de los COV determinados.

En todas las salas, los contaminantes presentes en aire interior poseen mayor concentración que en aire exterior (I/O ratios > 1). El 77 % de los compuestos cuantificados en la sala de Egipto poseen un I/O ratio > 1, mientras que en el caso de Medieval y Protohistoria alcanzan el 65 %.

Estos valores muestran una influencia predominante del aire interior en los niveles de concentración de los COV. Los materiales y las actividades que se llevan a cabo en el museo incrementan de forma significativa la contaminación en el interior. A diferencia de los contaminantes típicos de aire exterior, muchos de los contaminantes hallados pueden surgir de fuentes de emisión propias de contaminantes de aire interior como productos de limpieza, materiales de construcción, mobiliario, etc. Un ejemplo de esto lo observamos en el Hexamethylcyclsiloxane. Este compuesto se encuentra a altos niveles en todas las salas

COV	LD (ng)	LC (ng)	Tr (min)	N.º (*)	COV	LD (ng)	LC (ng)	Tr (min)	N.º (*)
<b>BTX-Aromáticos</b>					<b>Aldehidos y Terpenos</b>				
Benzene	3.58	10.74	2.289	1	Hexanal	5.51	16.53	3.674	5
Toluene	0.91	2.73	3.186	3	$\alpha$ -Pinene	0.36	1.08	6.746	15
Ethylbenzene	0.90	2.70	4.886	9	Benzaldehyde	4.35	13.05	7.915	18
o-Xylene	0.92	2.76	5.032	10	Limonene	0.35	1.05	10.391	25
m,p-Xylene	0.90	2.70	5.627	12	Acetophenone	21.4	64.2	12.121	27
Cumene	0.90	2.70	6.50	14	Nonanal	6.88	20.64	13.87	32
Propylbenzene	0.90	2.70	7.553	16	Decanal	17.1	51.3	18.466	37
Ethyltoluene	0.90	2.70	7.838	17	<b>Hidrocarburos Alifáticos</b>				
Mesitylene	0.90	2.70	8.069	19	Heptane	1.42	4.26	2.474	2
1, 2, 4 Trimethylbenzene	0.91	2.73	8.986	20	Octane	0.59	1.77	3.542	4
1,2,3 Trimethylbenzene	0.93	2.79	10.093	23	Nonane	0.60	1.80	5.76	13
p-Cymene	0.90	2.70	10.213	24	Camphor	0.36	1.08	15.508	33
n-Butylbenzene	0.90	2.70	11.523	26	Decane	0.61	1.83	9.113	21
4-Ethyl-m-Xylene	0.91	2.73	12.366	28	Undecane	0.62	1.86	13.317	30
4-Ethyl-o-Xylene	0.91	2.73	12.655	29	<b>Alcoholes</b>				
<b>Siloxanos</b>					$\beta$ -Terpineol	23.35	70.05	17.465	35
Hexamethylcyclo trisiloxane	8.91	26.73	4.037	8	$\alpha$ -Terpineol	23.35	70.05	17.696	36
Octamethylcyclo tetrasiloxane	1.56	4.68	9.429	22	<b>Acetatos</b>				
Decamethylcyclo pentasiloxane	3.83	11.49	16.323	34	1-Methoxy- 2-propylacetate	0.70	2.10	5.147	11
Dodecamethylcy clopentasiloxane	1.57	4.71	22.934	39	2-Butoxyethylacetate	0.36	1.08	13.4	31
<b>Ácidos y Amidas</b>					Isobornylacetate	0.91	2.73	21.658	38
2-Phenylbutyramide	0.45	1.35	26.533	41	<b>Oximas y Alquenos</b>				
Undecanoic Acid	2.79	8.37	27.509	42	2-Butanone-Oxime	3.53	10.59	3.792	6
Diisobutylphthalate	2.60	7.80	31.007	44	Tetrachloroethylene	0.66	1.98	3.818	7

(\*): Localización en los cromatogramas.

▲ **Tabla 1.** Límites de detección y cuantificación obtenidos para los compuestos evaluados.

**Tabla 2.** Concentración (en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) de los COV analizados en aire interior del museo y exterior. ►



COV ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Medieval		Protohistoria		Egipto		Exterior	
	Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.
Benzene	2,739	3,683	4,479	8,191	3,568	4,566	0,490	0,589
Heptane	1,945	2,504	2,755	5,193	4,411	3,657	0,116	0,077
Toluene	4,852	2,688	4,593	2,768	8,033	4,942	3,571	1,472
Octane	0,171	0,343	0,163	0,160	0,594	1,204	0,058	0,130
Hexanal	3,359	3,375	2,478	2,643	10,209	10,394	5,594	3,990
2-Butanone-Oxime	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Tetrachloroethylene	0,359	0,465	0,327	0,437	0,443	0,575	0,737	1,391
Hexamethylcyclsiloxane	5,190	3,617	3,848	2,646	4,951	3,711	6,857	2,647
Ethylbenzene	1,200	0,804	1,216	0,577	1,504	0,880	1,754	1,008
o-Xylene	1,199	0,556	1,377	0,542	1,534	0,685	1,880	1,056
1-Methoxy-2-propylacetate	3,462	3,499	1,280	1,395	1,786	1,820	2,773	2,103
m-Xylene	4,478	3,087	2,290	0,832	3,497	1,984	3,031	2,552
Nonane	0,118	0,147	0,853	1,047	1,030	1,290	1,806	3,464
Cumene	0,838	1,153	0,209	0,270	0,269	0,380	0,417	0,932
Alpha-pinene	3,636	1,052	1,719	0,642	2,622	1,005	2,094	1,454
Propylbenzene	0,200	0,340	0,149	0,238	0,492	0,649	0,368	0,355
Ethyltoluene	0,462	0,297	0,405	0,276	0,581	0,406	0,318	0,533
Benzaldehyde	-0,017	0,162	0,063	0,458	0,198	0,370	0,732	0,891
Mesitylene	1,889	1,882	0,989	0,819	1,285	1,154	1,979	2,760
1,2,4-trimethyl-benzene	1,535	0,694	1,234	0,357	1,835	0,809	1,412	0,939
Decane	1,824	1,934	1,436	0,983	1,948	1,469	2,183	3,306
Octamethylcyclotetrasiloxane	0,672	0,354	0,626	0,364	0,681	0,313	1,173	0,625
1,2,3-Trimethylbenzene	0,651	0,500	0,463	0,256	1,203	0,951	0,698	0,176
Cymene	0,647	0,886	0,337	0,495	0,550	0,809	0,731	1,443
Limonene	0,842	0,865	0,637	0,570	0,891	0,841	0,936	1,502
n-Butylbenzene	0,074	0,303	0,096	0,184	-0,014	0,220	0,152	0,340
Acetophenone	0,918	1,182	0,836	0,766	0,791	1,220	0,481	0,645
4-Ethyl-m-Xylene	0,003	0,006	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
4-Ethyl-o-Xylene	0,011	0,025	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Undecane	0,791	0,669	0,559	0,257	0,663	0,369	0,667	0,831
2-Butoxyethylacetate	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Nonanal	1,614	0,610	1,289	0,636	1,608	0,659	1,139	0,555
Camphor	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Decamethylcyclopentasiloxane	1,924	0,887	2,234	0,996	2,760	1,829	3,163	1,119
$\beta$ -Terpineol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$\alpha$ -Terpineol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Decanal	0,585	0,546	0,780	0,996	0,695	0,610	0,262	0,147
Isobornylacetale	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Dodecamethylcyclopentasiloxane	0,827	0,487	1,227	0,586	1,251	0,819	1,988	1,091
2-Phenylbutyramide	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Undecanoic Acid	1,620	2,055	1,301	1,324	4,001	4,001	2,104	1,260
Diisobutylphthlate	0,009	0,021	0,000	0,000	0,099	0,136	0,013	0,030

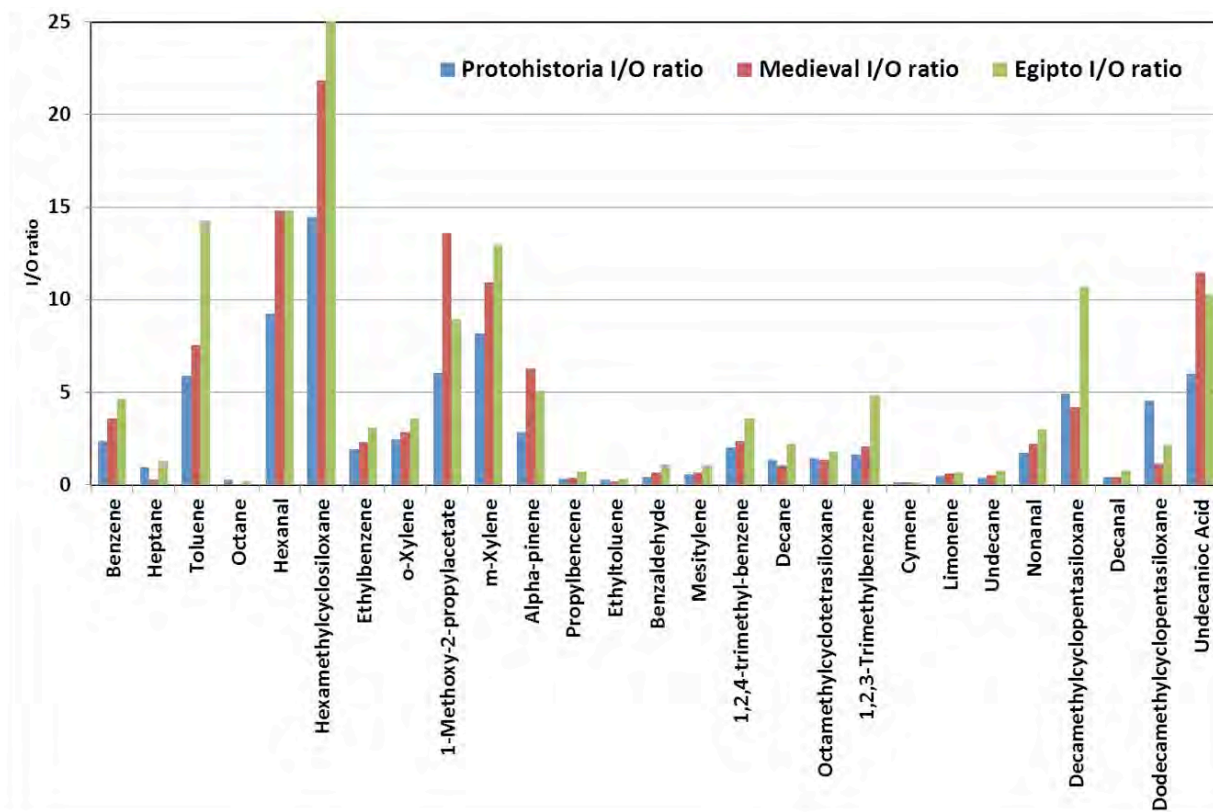


Fig. 4. Valores de I/O ratio de los COV determinados en los distintos ambientes analizados.

objeto de estudio. El Hexamethylcyclsiloxane se asocia a productos de limpieza, siliconas, sellantes, productos de perfumería y cosméticos.

### Caracterización del aire exterior e interior de las vitrinas

Los primeros resultados de la caracterización del exterior e interior de las vitrinas se realizaron antes de la apertura del museo y antes de introducir las obras en las vitrinas. Como muestra la figura 5, a través de los cromatogramas realizados en el año 2013. Estos resultados muestran que hay una gran cantidad de COV emitidos por los soportes y los materiales empleados para el montaje de las vitrinas. Los niveles de COV decrecen con el tiempo y tras una mayor filtración y secado de tintas, siliconas y otros productos implicados en el montaje. Por otro lado, los COV no desaparecen por completo ya que comienzan a emitirse otros nuevos en el momento en el que se introducen las piezas y la carga general de COV en el interior del museo cambia tras su apertura al público.

Algunos de los COV aparecen tanto antes como después de introducir las piezas en el interior de la vitrina y antes y después de la apertura del museo, mostrando que no todos los COV son emitidos por los materiales de construcción o los bienes culturales. Un ejemplo de ello lo obtenemos mediante el Decamethylcyclopentasiloxane, tetradecamethylcycloheptasiloxane y el 1,2,3 Trimehylbenzene (1,2,3-TMB), compuestos más relacionados con la presencia de visitantes cuyos valores se incrementan coincidiendo con la reapertura en abril del 2014.

Por otro lado y tal y como se puede observar en la figura 6, los valores de I/O ratio

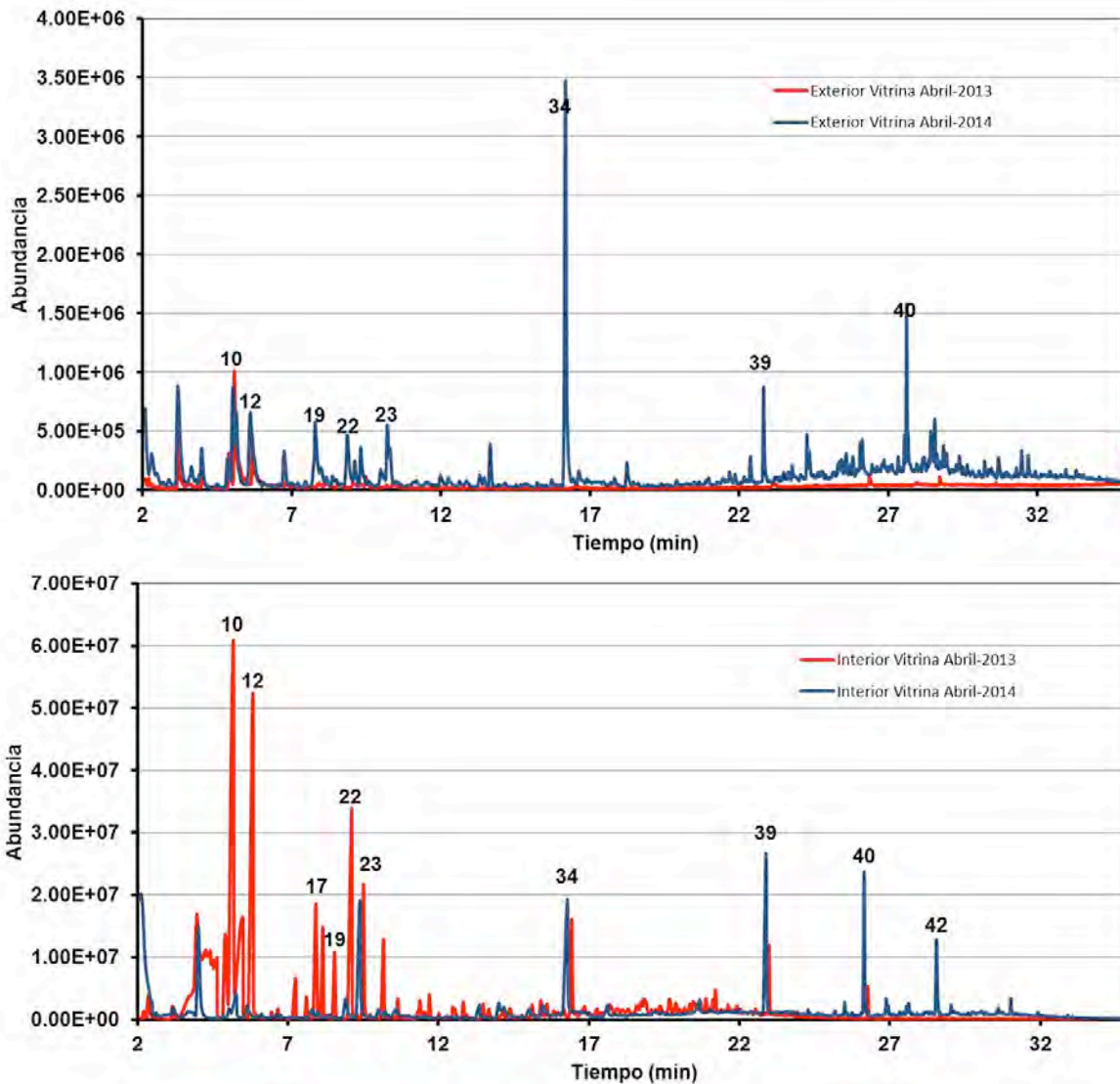


Fig.5. Diferencias entre contaminantes determinados en el exterior de vitrinas (arriba) y el interior de vitrinas (abajo) antes y después de introducir las obras.

para los COV hallados en el interior de las vitrinas son mayores a 1. Claro indicativo de que la hermeticidad de las vitrinas hace que la concentración de COV en su interior sea mayor que en las salas de exposición.

La mayoría de las vitrinas presentes en el MAN no poseen un sistema de filtración y son de alta hermeticidad, sin embargo, durante la remodelación del museo la dirección del mismo decidió instalar en determinadas vitrinas tanto la posibilidad de aplicarles un sistema de filtración portable, como un sistema de filtración incorporado para aumentar, de esta forma, la seguridad de las piezas más sensibles de la exposición. El filtrado del aire interior de las vitrinas reduce drásticamente la concentración de los COV existentes en su interior tal y como queda representado en la figura 7.

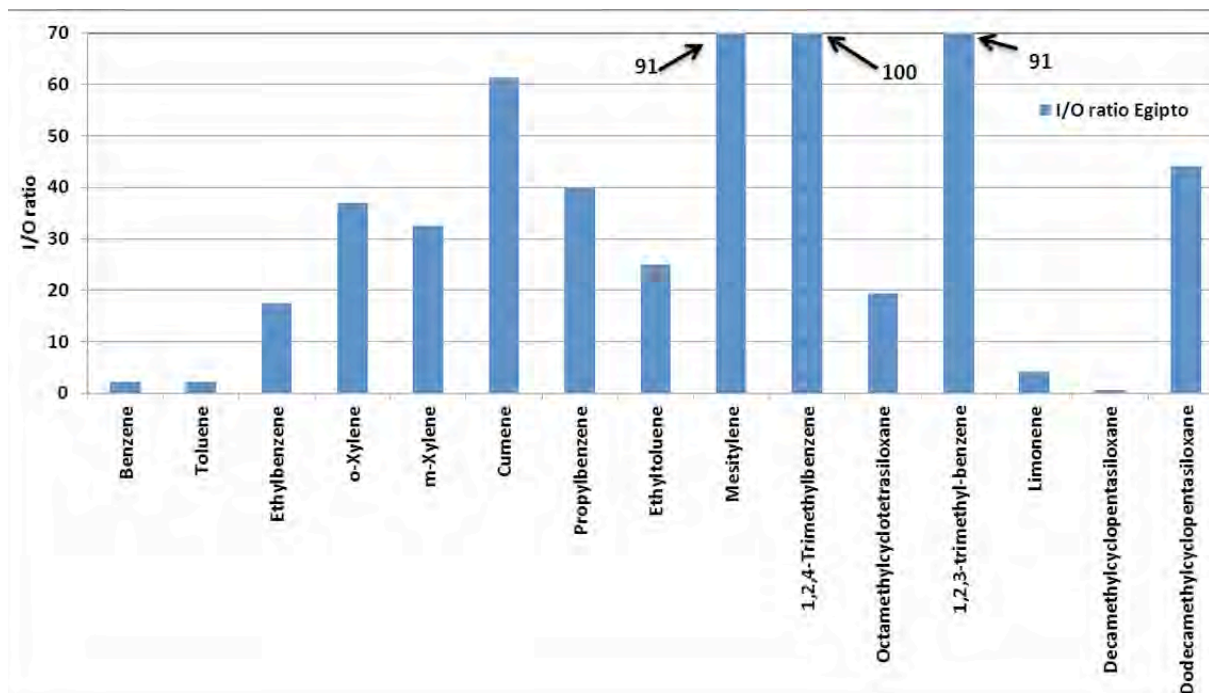


Fig. 6. I/O ratio entre el interior y el exterior de las vitrinas.

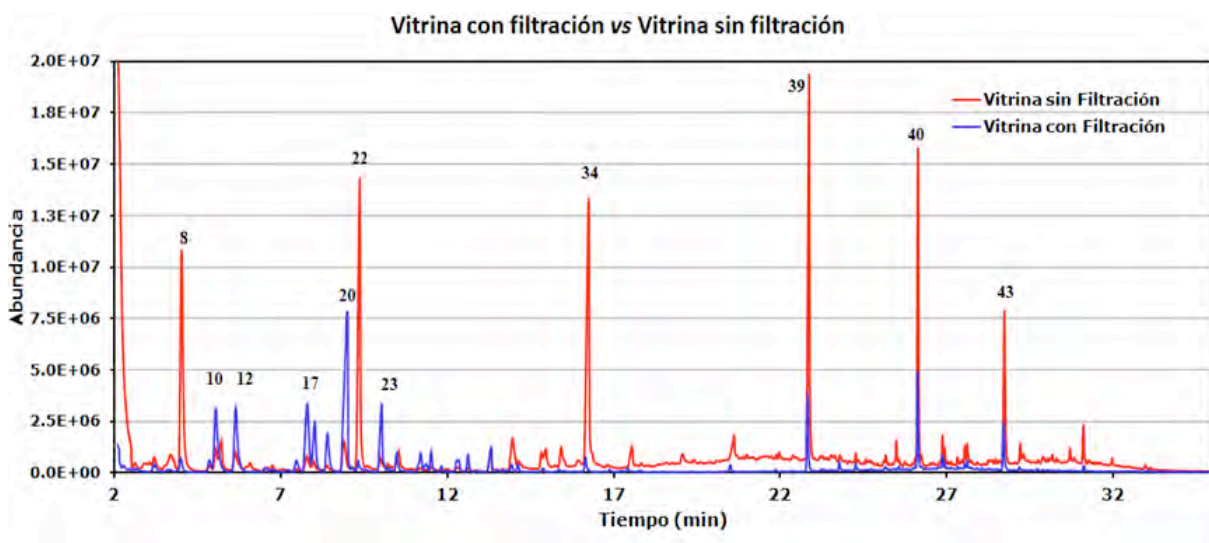


Fig. 7. Comparativa entre vitrina con filtración (línea azul) versus vitrina sin filtración (línea roja).

### Estudio del sistema de filtración exterior (Sistema portable)

La figura 8 muestra la caracterización de una vitrina antes y después de aplicar el sistema de filtración de carbón activado portable. Como se puede observar tanto en el cromatograma como en la masa de los compuestos determinados, inicialmente se encuentran altos valores que decrecen rápidamente tras aplicar el sistema de filtración externo. Los resultados indican que aplicar quincenalmente durante 20 minutos el sistema de filtración portable es una medida efectiva para reducir los niveles de contaminación en el interior de las vitrinas. Los



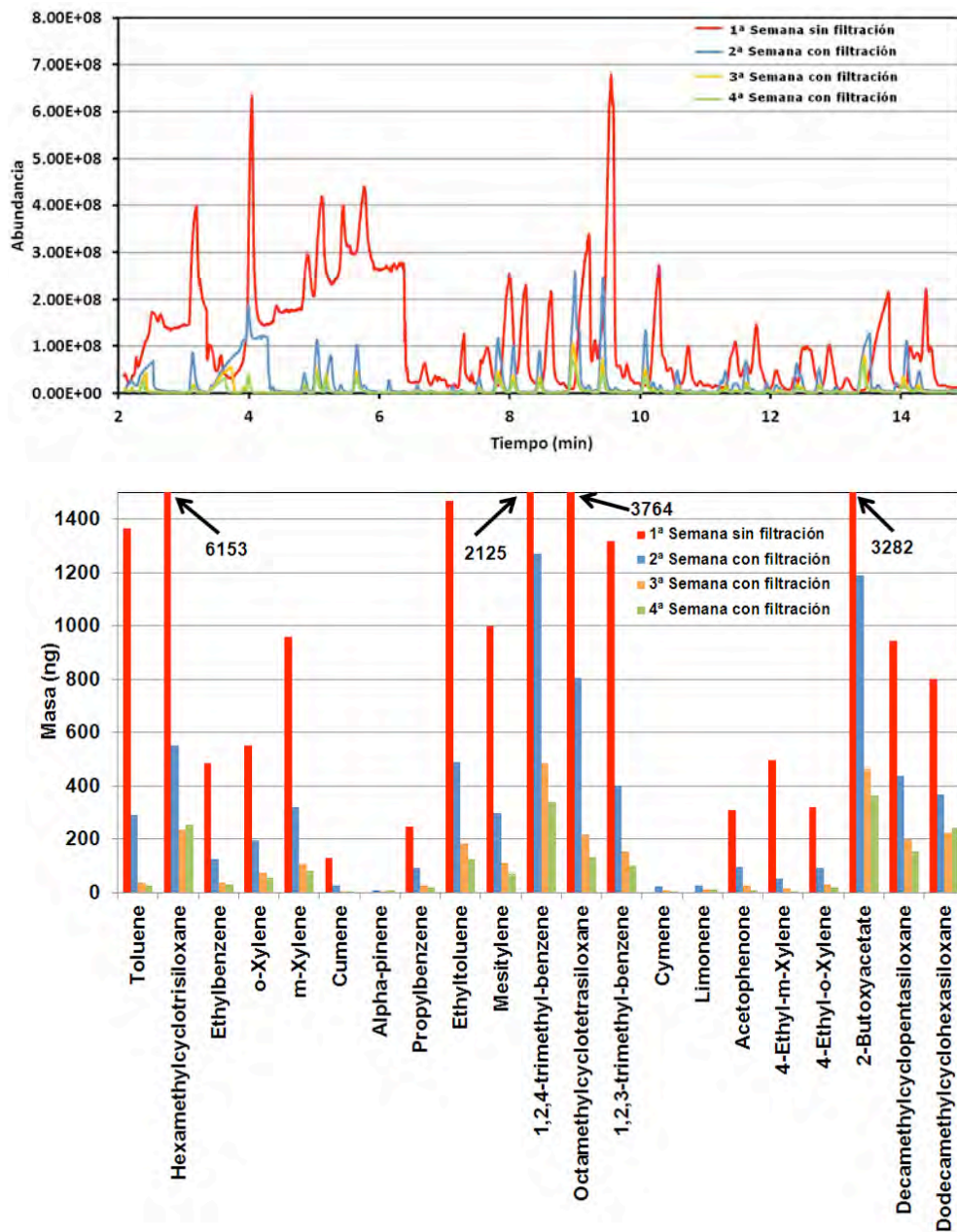


Fig. 8. Evaluación de la eficiencia del sistema de filtración portable.

filtros de carbón activado adsorben los COV lo que permite la introducción de aire limpio en el interior de la vitrina.

**Estudio del sistema de filtración interior (Sistema incorporado)**

En este caso podemos comprobar que el sistema de filtración incorporado en la vitrina, si bien reduce los COV presentes en la misma lo hace con una menor eficacia si lo comparamos con el sistema de filtración portable. Esto es coherente con los datos de potencia de ambos sistemas. Sin embargo, podemos concluir que este sistema de filtración es eficaz para mantener los niveles de COV en valores bajos y así evitar que una alta concentración deteriore las piezas (Fig. 9).

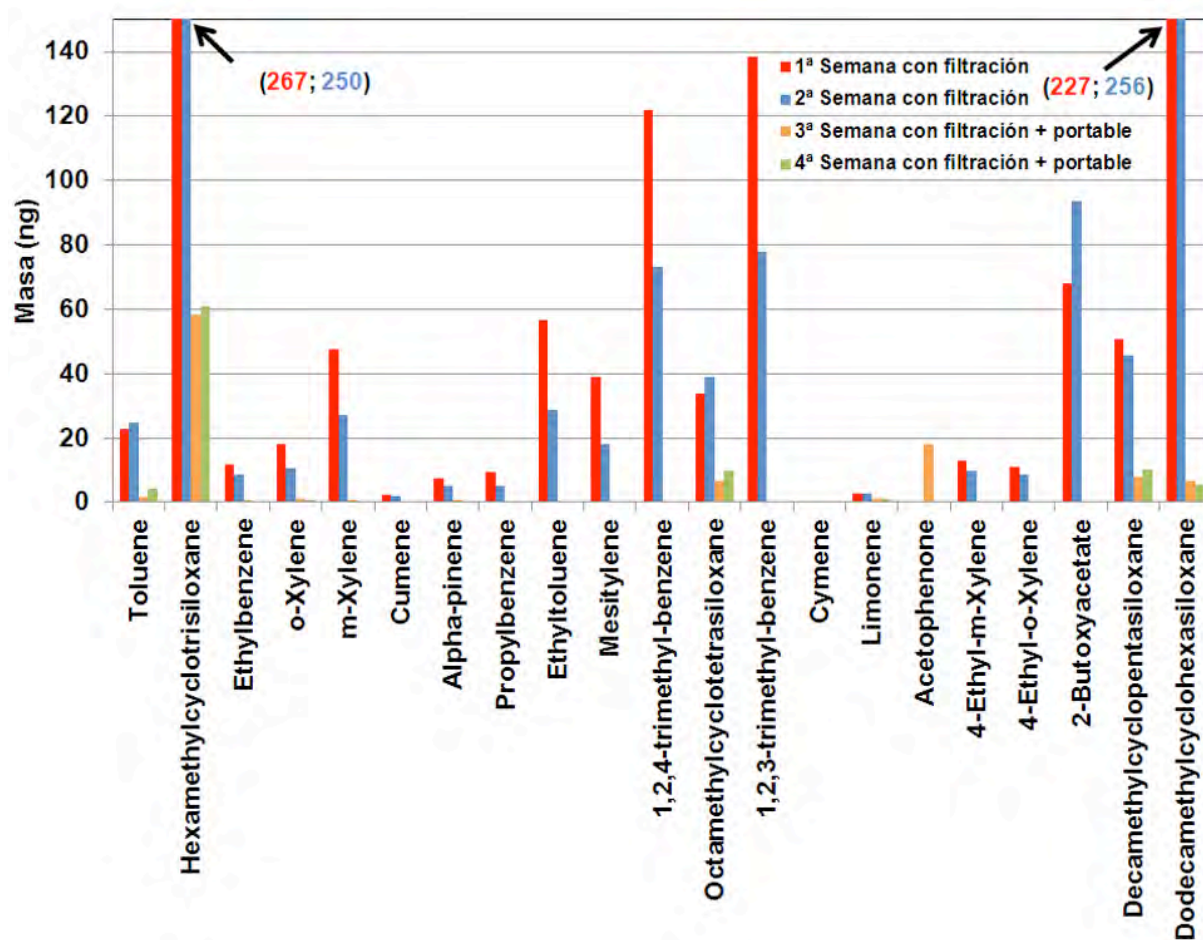


Fig. 9. Evaluación de la eficiencia del sistema de filtración integrado..

## Conclusiones

Los niveles de COV aumentan en ambientes confinados alcanzando valores máximos en el interior de las vitrinas. Con objeto de subsanar este problema, se han ensayado dos sistemas de filtración: incorporado y portable. Ambos permiten reducir con un margen de seguridad aceptable las concentraciones determinadas en su interior. El problema de espacio inherente al hecho de tener que albergar el sistema filtrante en la parte baja de la vitrina (incorporado), ha obligado al fabricante a optar por dimensiones reducidas, lo que se traduce en un sistema que precisa de más tiempo para aminorar la carga contaminante y de cambios del carbón activado más frecuentes, lo que incrementa el coste de fungibles. Como ventaja este sistema funciona de forma continua. Por el contrario el sistema portable, más accesible, permite incrementar la cantidad de carbón activado sin interferir en la dimensión o forma de la vitrina. El sistema resulta más eficiente, controlable y manipulable por técnicos de mantenimiento del propio museo. Ambos sistemas implican necesidad de personal para atenderlos.

La optimización de un sistema externo está siendo realizada actualmente por el equipo investigador.

## Agradecimientos

El equipo investigador agradece la financiación prestada por parte del CNPq y CAPES, así como MINECO RTC-2015-4269-6.

## Bibliografía

- CAMUFFO, D., *et al.* (2001): «Environmental monitoring in four European museums», *Atmospheric Environment*, vol. 35, pp. 127-140.
- PARRA, M. A.; ELUSTONDO, D., BERMEJO, R., y SANTAMARÍA, J. M. (2008): «Quantification of indoor and outdoor volatile organic compounds (VOCs) in pubs and cafés in Pamplona, Spain», *Atmospheric Environment*, vol. 42, pp. 6647-6654.
- RAS-MALLORQUÍ, M. R.; MARCÉ-RESACASENS, R. M., y BORRULL-BALLARÍN, F. (2007): «Determination of volatiles organic compounds in urban and industrial air from Tarragona by thermal desorption and gas chromatography-mass spectrometry», *Talanta*, vol. 72, pp. 941-950.
- CAMUFFO, D.; STURARO, G., y VALENTIVO, A. (2000): «Showcases: a really effective mean for protecting artworks?». *Thermochimica Acta*, vol. 365, pp. 65-77.
- GRZYWACZ, C. M. (2006): «The effects of Gaseous Pollutants on Objects» (Ed. 1) en *Monitoring for Gaseous Pollutants in Museum Environments*, Los Angeles: Getty Publications, pp. 1-21.
- NAZAROFF, W. W., y CASS, G. R. (1991): «Protecting museum collection from soiling due to the deposition of air particles». *Atmospheric Environment*, vol. 25, n.ºs 5-6, pp. 841-852.
- U. S. EPA. (1999): «Compendium method TO-17 determination of volatile organic compounds in ambient air using active sampling onto sorbent tubes». *Compendium of Methods for the Determination of Toxic Organic Compounds in Ambient Air*. Second edition, Cincinnati, U. S. Environmental Protection Agency. EPA/625/R-96/010b, pp. 17.1-17-49.
- SÁNCHEZ, B., *et al.* (2012): «Photocatalytic elimination of indoor air biological and chemical pollution in realistic conditions». *Chemosphere*, vol. 87, pp. 625-630.