

Caracterización química y biológica del ambiente en el que se conserva la momia guanche del Museo Arqueológico Nacional

Chemical and biological characterization of the environment in which the Guanche mummy of the Museo Arqueológico Nacional is preserved

Olga Vilanova Anta (olgavilanova16@gmail.com)

Juan Gilaranz Sigüenza (gilsig@hotmail.es)

Sara Parrondo Manrique (olgavilanova16@gmail.com)

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

CIEMAT. Grupo FOTOAIR. Madrid

M.^a Cristina Canela (mccanela@uenf.br)

Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. RJ. Brasil

Resumen: Se identifican los Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) mayoritarios y sus concentraciones, así como las Unidades Formadoras de Colonias (UFC) de bacterias y hongos existentes en el ambiente circundante de la momia guanche conservada en el Museo Arqueológico Nacional (MAN). Se describen los datos obtenidos en los últimos días de su estancia en el Museo Nacional de Antropología, así como los obtenidos durante un año desde su llegada al nuevo Museo. Las abundancias determinadas para cada uno de los compuestos mayoritarios han estado en todos los análisis efectuados por debajo de los límites de exposición profesional para agentes químicos en España. Sin embargo, estos límites no son garantía de que exposiciones continuadas durante años y las concentraciones existentes y mantenidas por las vitrinas, no puedan alterar la preservación de obras únicas de nuestro patrimonio artístico. Una nueva línea de investigación que evalúe la relación existente entre las concentraciones de volátiles y materiales tan diversos como pigmentos, aglomerantes, telas, orgánicos, etc. en las condiciones de temperatura y humedad existentes en las vitrinas de los diferentes museos está en marcha.

Palabras clave: Compuestos Orgánicos Volátiles. COV. Bioaerosoles. Vitrinas. Contaminantes del aire interior. Proyecto AirArte.

Abstract: Main Volatile Organic Compounds (VOCs) and their concentrations are identified, as well as the Colony Forming Units (CFU) of bacteria and fungi existing in the surrounding environment of the Guanche mummy. The data obtained in the last days of his stay at the Museo Nacional de Antropología (MNA) are described, as well as those obtained during a year since his arrival at the Museo Arqueológico Nacional (MAN). The abundances determined for each of the major compounds have been in all the analyzes carried out, below the professional exposure limits for chemical agents in Spain. However, these limits are not a guarantee that exhibitions continued for years of the existing concentrations and maintained by the showcases can not alter the preservation of our artistic heritage

unique. A new line of research that assesses the relationship between VOCs concentrations and materials as diverse as pigments, binders, clothes, organic, etc. in the conditions of temperature and humidity existing in the showcases of the different museums is underway.

Keywords: Volatile Organic Compounds. VOCs. Bioaerosols. Showcases. Indoor Air pollutants. AirArte Project.

Un año antes de la reinauguración del Museo Arqueológico Nacional en abril de 2014, la conservadora jefe de su Departamento de Conservación, Teresa Gómez Espinosa, contactó con el grupo FotoAir del CIEMAT para estudiar los olores que se percibían en las vitrinas de nueva adquisición que comenzaban a ser montadas. Desde entonces y tras la aprobación del proyecto AirArte por parte del MINECO, se comenzó un muestreo sistemático de contaminantes químicos y biológicos que finalizó en diciembre de 2017. De esta manera, el Museo Arqueológico Nacional (MAN) cuenta ya con datos anuales que permiten visualizar el estado y la evolución de la contaminación ambiental en diferentes vitrinas y salas en comparación con el exterior del Museo (Sánchez *et alii*, 2015). Un estudio sistemático de estas características es la primera vez que se realiza en el mundo del arte.

Una de las salas estudiadas desde su creación ha sido la sala Canarias, ya que el CIEMAT participó en la elaboración de las recomendaciones necesarias para la construcción de una nueva vitrina que alojara en las mejores condiciones posibles la mejor de las momias guanches conocida hasta la fecha, como nos describe Teresa Gómez en otras páginas de este mismo *Boletín*.

Con objeto de caracterizar química y biológicamente las condiciones en las que se encontraba la momia guanche en el Museo Nacional de Antropología (MNA) y las de su nueva vitrina en el Museo Arqueológico Nacional (MAN), dos meses antes de su traslado se procedió a muestrear tanto en la sala como en la vitrina del MNA. Y desde su llegada al MAN, el 14 de diciembre de 2015, se han realizado muestreos sistemáticos mensuales en diferentes salas representativas del Museo con periodicidad mensual, inicialmente también en vitrinas hasta determinar su estado y espaciando posteriormente los muestreos activos a trimestrales hasta diciembre de 2017.

Materiales y métodos

Caracterización química

Las muestras de Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) se han recogido en tubos de acero inoxidable rellenos con 250 mg de Tenax[®] TA (óxido de 2,6-difenilfenileno), realizándose tomas de muestras activas de una hora mediante bombas de muestreo Gilian con un caudal de 200 ml/min. Estos tubos se han almacenado en congelador a -20° C hasta ser analizados siguiendo el método TO-17 de la EPA (1999).

Las muestras se han analizado usando un equipo de desorción térmica acoplado a un cromatógrafo de gases con detector espectrómetro de masas (ATD-GC-MS), según el sistema descrito por Sánchez *et alii* (2012) y Sánchez *et alii* (2015). En esta última referencia se describen también los límites de detección y cuantificación de los COV mayoritarios referidos en este trabajo.

Caracterización biológica

Para la toma de muestras de los bioaerosoles presentes en las atmósferas de estudio, se han utilizado 4 muestreadores IUL, trabajando a un caudal de 100 l/min hasta obtener un volumen total de 500 l.



Fig. 1. Muestreo por duplicata de bacterias y hongos en el interior de la vitrina del MAN. Foto: B. Sánchez.

Tras los muestreos, las placas se sellaron con parafilm y se llevaron a laboratorio para su incubación en estufas (bacterias 37° C, hongos 25° C) realizándose un recuento de Unidades Formadoras de Colonias (UFC) cada 24 h a partir de las primeras 48 h. Informaciones detalladas de la caracterización biológica pueden consultarse en Sánchez-Muñoz *et alii* (2012).

Tras los primeros estudios de definición de los medios idóneos para bacterias y hongos (Sánchez *et alii*, 2016), se seleccionaron los medios de agar nutritivo (AN) para bacterias y extracto de malta (EM) para hongos. Con ellos, sobre placas Petri de 90 cm de diámetro se realizaron todos los muestreos posteriores de bioaerosoles tanto en vitrinas como en salas y exterior del Museo, siempre por duplicata (fig. 1).

Resultados y discusión

Caracterización de COV y bioaerosoles en el ambiente próximo a la momia en el Museo Nacional de Antropología (MNA)

Con anterioridad al traslado de la momia guanche al MAN, se programó la caracterización de los COV y las concentraciones de los compuestos mayoritarios y bioaerosoles existentes en el espacio próximo a la momia en el MNA. Se realizaron muestreos en el interior de la vitrina junto a la momia y en la sala situando los muestreadores sobre la misma vitrina. La figura 2 muestra los picos cromatográficos identificados.

Los compuestos mayoritarios identificados durante la caracterización han sido los siloxanos, el p-diclorobenceno y el naftaleno. Los siloxanos, ampliamente usados en la actualidad, son propios de recubrimientos, pinturas, barnices, sellantes como las siliconas y otros, además de cosméticos de los que los visitantes son portadores y que resultan muy persistentes en el tiempo. Su infiltración en el interior de la vitrina ha impedido que el aire acondicionado situado en la parte superior de

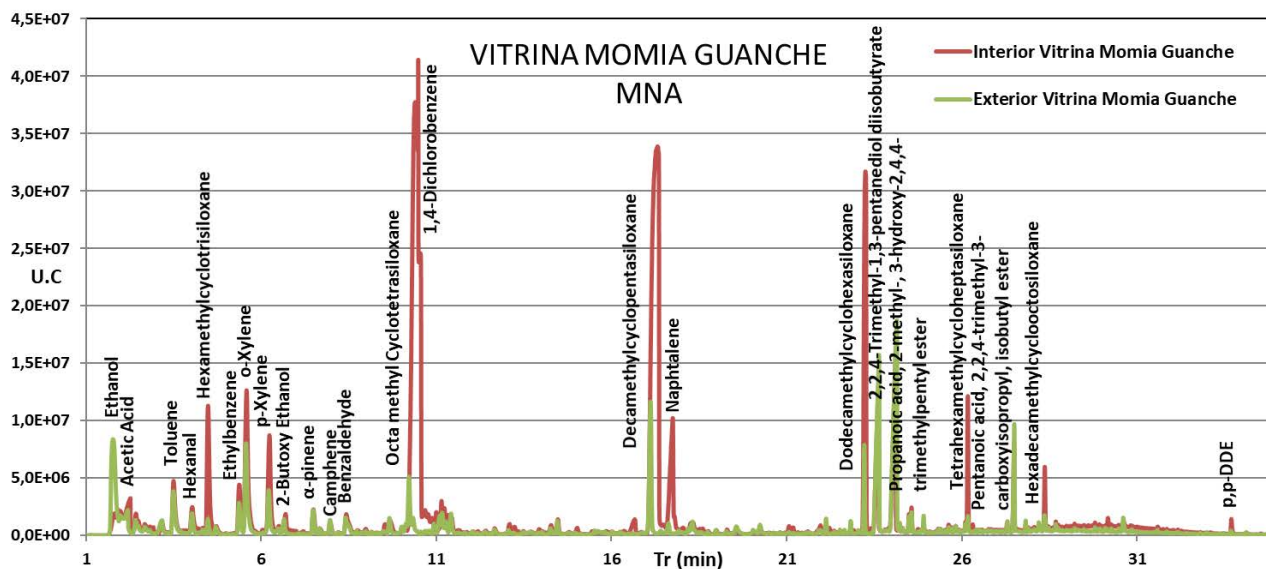


Fig. 2. COV identificados en el MNA en el interior (color oscuro —) y exterior (color claro —) de la vitrina de vidrio en la que se alojaba la momia guanche. Fecha de muestreo: 5 de octubre de 2015, dos meses antes de su traslado al MAN.

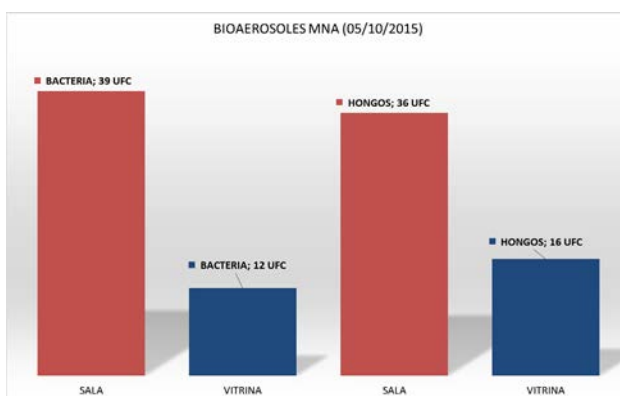


Fig. 3. Número de UFC de bacterias y hongos identificados tanto en el interior de la vitrina como en el exterior (sala).

la sala los removiera, por lo que su concentración resulta claramente más alta que en el exterior. Los segundos, tanto el p-diclorobenceno como el naftaleno, se emplearon en el siglo pasado en procesos de conservación de obras arqueológicas y artísticas de naturaleza orgánica, como repelentes e inhibidores de insectos y microorganismos (Makos, y Hawks, 2014).

Estos materiales habían sido ya removidos del interior de la momia, pero su confinamiento mantuvo sus niveles en concentraciones significativas e identificables.

En relación con la presencia de bacterias y hongos se determinó una mayor abundancia parcial en el exterior para ambos bioaerosoles frente a los determinados en el interior (fig. 3).

La afluencia de visitantes y condiciones de humedad determinan que las concentraciones en el exterior de la vitrina resulten más elevadas que en el interior. Por otra parte, la persistencia de p-diclorobenceno y naftaleno, por su acción germicida, han continuado inhibiendo el crecimiento de estos microorganismos.



Fig. 4. En la parte superior, imágenes de la vitrina del MNA con la momia guanche en su interior (A y B). Junto a su cabeza y pies se observan las bombas de muestreo de COV. En las imágenes inferiores se visualiza la nueva vitrina del MAN con el sistema de filtración integrado (C) y a su derecha la vitrina ya cerrada con la momia guanche en su interior (D). Fotos: B. Sánchez.

Caracterización de COV en la nueva vitrina de la momia guanche antes y después de su traslado al MAN

Como paso previo al traslado de la momia desde la vitrina del MNA (figs. 4 A y B) a su nueva vitrina del MAN (figs. 4 C y D), se muestreó el conjunto de COV existentes en el interior de la misma, antes y después de activar el sistema de filtración y, con él activado, antes y después de alojar la momia en su interior. Con ello se identificaban las condiciones de partida que los materiales componentes de la nueva vitrina fabricada expresamente para alojar la momia guanche en el MAN pudieran generar, así como la eficiencia del sistema de filtración incorporado.

La nueva vitrina estanca (figs. 4 C y D) está dotada de un sistema de doble filtración de carbón activado que funciona en recirculación y retiene los distintos compuestos orgánicos volátiles y bioaerosoles. Mantiene las velocidades de aire y renovaciones en valores de diseño (0,1 m/s, 2 ren/h). Este sistema ha sido implementado por la empresa Aire Limpio, S. L.

Los muestreos de COV realizados en la nueva vitrina sin filtración indican valores ligeramente inferiores, pero elevados, de diferentes siloxanos, además de disolventes como tolueno y xilenos en concentraciones algo más altas que en el MNA, propias de un museo de nueva construcción. Una vez activado el sistema de filtración, las concentraciones de la mayoría de COV desaparecen o han resultado ampliamente reducidas (fig. 5).

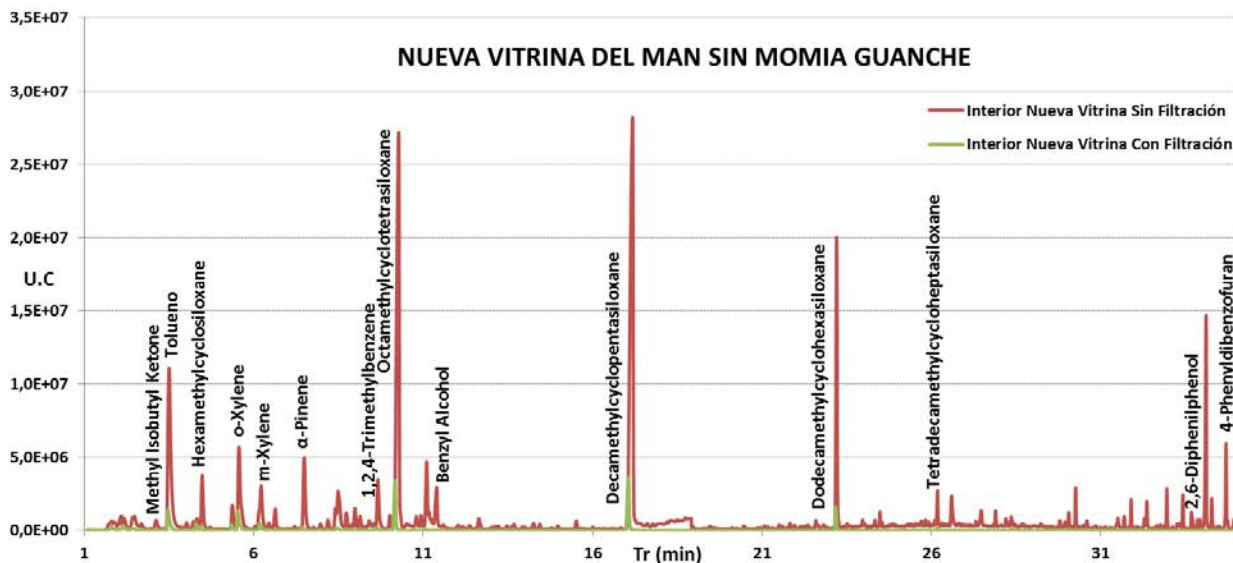


Fig. 5. Cromatogramas superpuestos de COV identificados en la nueva vitrina del MAN antes del traslado de la momia guanche. En color rojo sin sistema de filtración (desactivado) y en color verde con el sistema de filtración (activado). Se observa una clara diferencia en las concentraciones indicativas de la eficiencia del filtrado.

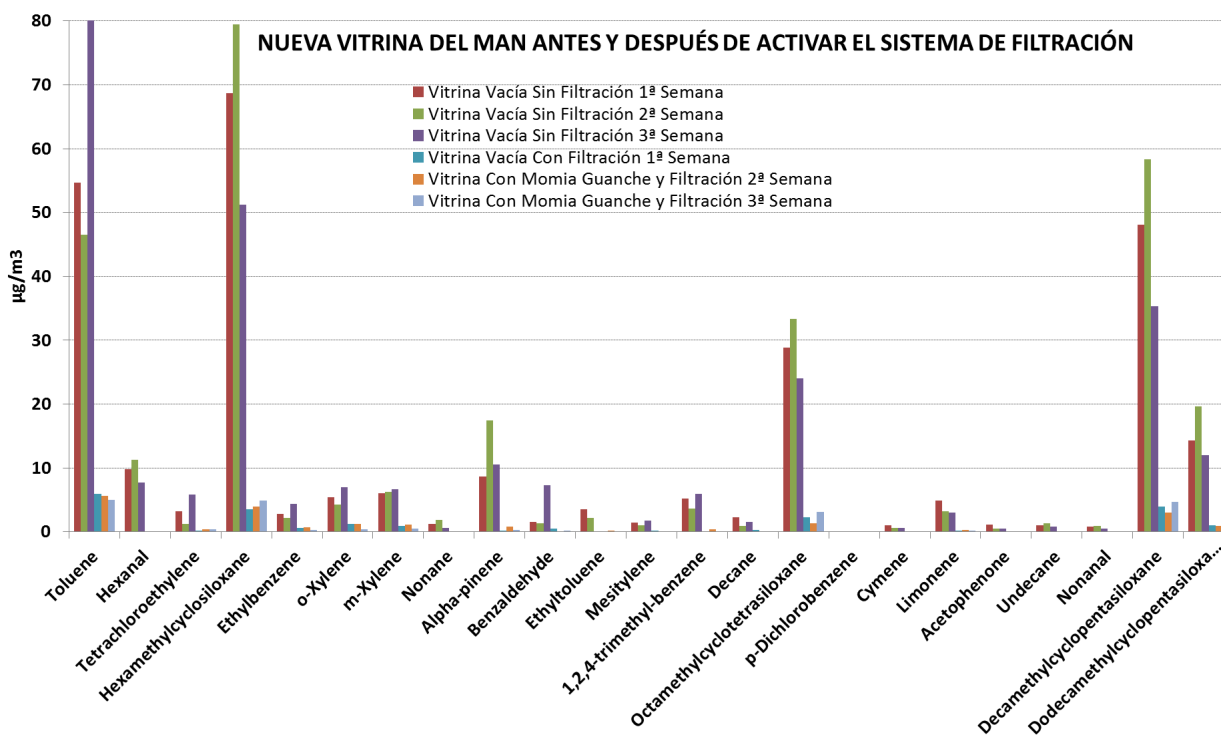


Fig. 6. Cuantificación de COV obtenidos semanalmente con la vitrina vacía sin filtración (3 semanas), con filtración (1 semana) y con la momia guanche y el sistema de filtración activado (2 semanas).

Tras una semana con el sistema de filtración activado se realizó el traslado de la momia a su ubicación definitiva en la nueva vitrina en el MAN el 14 de diciembre de 2015. Manteniendo desde entonces el sistema de filtración activado, se muestreó inicialmente en dos semanas consecutivas y se cuantificaron los resultados que se representan en la figura 6 comparados con los anteriormente obtenidos.

	MNA		MAN	
	Vitrina C(µg/m3)	Sala C C(µg/m3)	Vitrina C(µg/m3)	Sala Canarias C(µg/m3)
Heptane	14,84	3,6	1,69	6,15
Toluene	4,42	1,92	5,75	10,95
Hexamethylcyclotrisiloxane	10,61	1,91	3,6	6,84
o-Xylen	1,69	0,30	1,22	3,12
3-Ethyltoluene	3,59	1,32	0,19	0,23
1,2,4-Trimethylbencene	3,52	1,64	0,42	0,81
Decane	2,28	0,04	0,11	0,4
Octamethylcyclotetrasiloxane	1,57	0,27	1,23	1,04
p-Dichlorobenzene	88,32	2,65	0,48	<LD ¹
Undecane	1,16	0,30	0,07	0,36
Nonanal	1,82	0,63	0,07	0,28
Decamethylcyclopentasiloxane	7,03	4,09	2,75	3,16
Naphthalene	29,35	1,84	0,13	0,05
Dodecamethylcyclohexasiloxane	14,85	3,61	1,7	0,74
Formaldehyde	ND ²	ND ²	<LD ³	<LD ³
acetate	ND ²	ND ²	<LQ ⁴	<LQ ⁴
formate	ND ²	ND ²	<LQ ⁴	<LQ ⁴

¹ <LD-límite de detección menor de 0,1 µg/m³; ² ND – No determinado; ³ < LD – limite de detección menor que 0,25 ppm; ⁴ <LQ –límite de cuantificación menor de 0,1 mg L-1

Tabla 1. Cuantificación de los COV mayoritarios encontrados en ambos museos tras el traslado de la momia y su apertura al público.

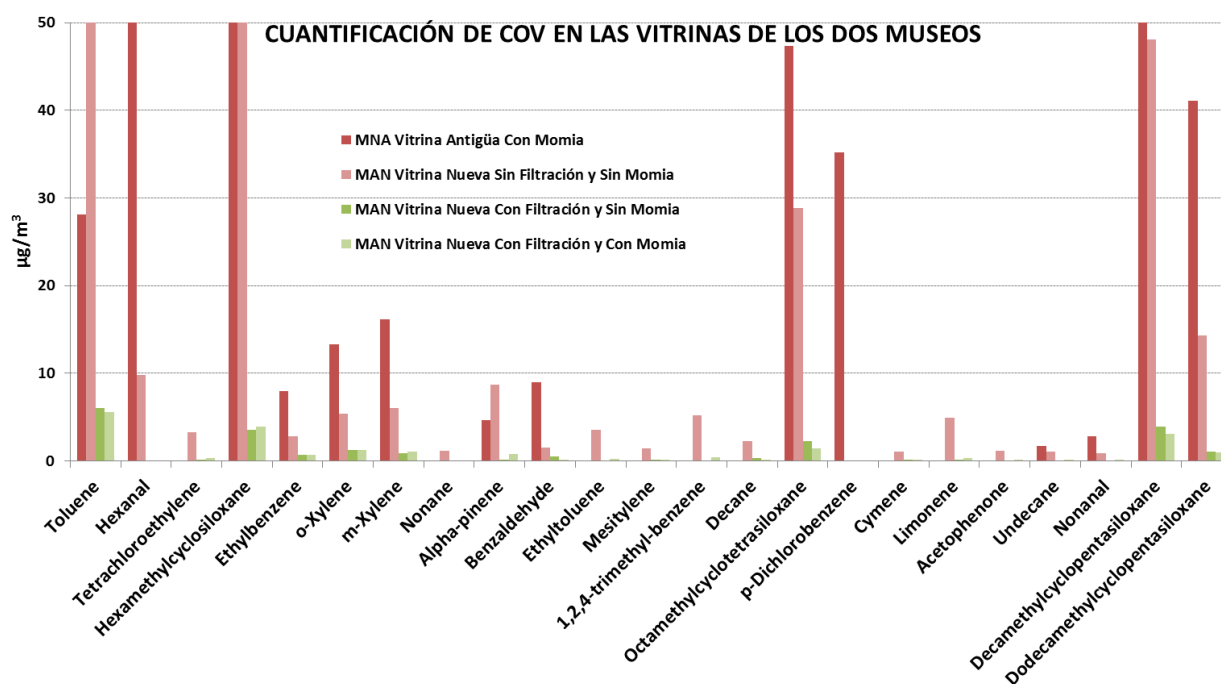


Fig. 7. Comparación cuantitativa de los distintos COV identificados en el interior de la vitrina del MNA y en el MAN con y sin filtración y con y sin momia.

Se identifica claramente la drástica disminución de concentraciones desde la puesta en marcha del sistema de filtración resultando en la desaparición por debajo del límite de detección de un buen número de compuestos. En ella se observa una clara disminución de las concentraciones de todos los compuestos emitidos por la vitrina tras la activación del sistema de filtración, cuyos efectos se mantienen en el tiempo.

Comparando las cuantificaciones de los compuestos mayoritarios obtenidas a partir de los muestreos en el MNA y MAN (tabla 1), se observa una disminución en el número de COV identificados en el MAN respecto del MNA. Las variaciones son notables en muchos de ellos, destacando la radical disminución del p-Diclorobenceno, Naftaleno y siloxanos, estos últimos debido al especial cuidado prestado en la construcción para evitar el uso de siliconas, barnices y pinturas. Decrecen además los aromáticos y disolventes, a excepción del Tolueno que en las primeras semanas se mostró ligeramente superior 5,7 frente a 4,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, pero que continuó siendo absorbido por el carbón activado hasta alcanzar niveles por debajo de los referenciados en el MNA.

Estos resultados indican que la nueva vitrina cumple con las expectativas puestas en ella y garantiza un correcto control de los COV existentes en su interior. Y todo ello, a pesar de que en el exterior de la vitrina (sala Canarias), la abundancia de contaminantes ha presentado un mayor nivel inicial, achacable a la nueva remodelación del Museo, cuyo sistema de depuración y tratamiento ha debido ajustarse al alto volumen a tratar, a la situación más céntrica en la ciudad de Madrid y al alto número de visitantes que se registraron en los primeros meses tras la apertura. Todos los valores en vitrina con su sistema individualizado de filtración alcanzaron niveles menores de $5\mu\text{g}/\text{m}^3$ e incluso valores por debajo de los límites de detección del método de análisis. Llama la atención la no presencia de formaldehído, ácido acético y fórmico, con concentraciones bajo el límite de detección y cuantificación de los métodos de análisis. La figura 7 muestra la evolución cuantitativa de los COV del ambiente interior de la vitrina antigua en el MNA y nueva en el MAN.

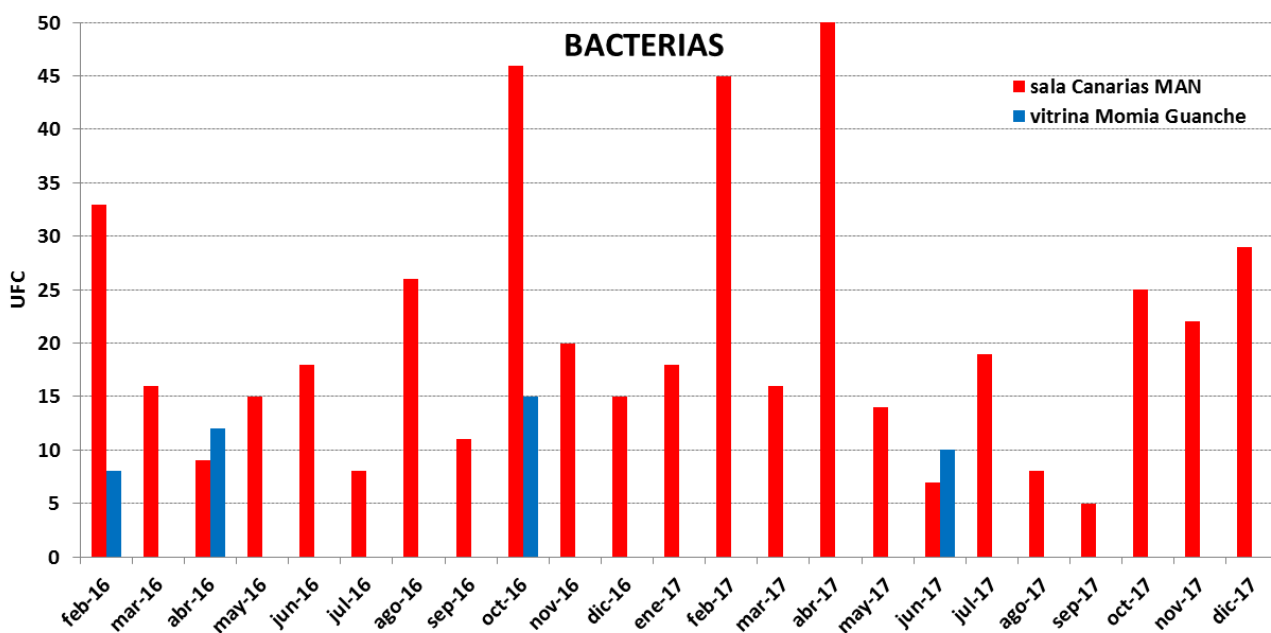


Fig. 8. Evolución bianual de las Unidades Formadoras de Colonias (UFC) determinadas mes a mes para bacterias en la sala Canarias (en rojo). Muestréos puntuales en el interior de la vitrina ocupada por la momia siempre con el sistema filtrante activado, indican un muy bajo número de UFC.

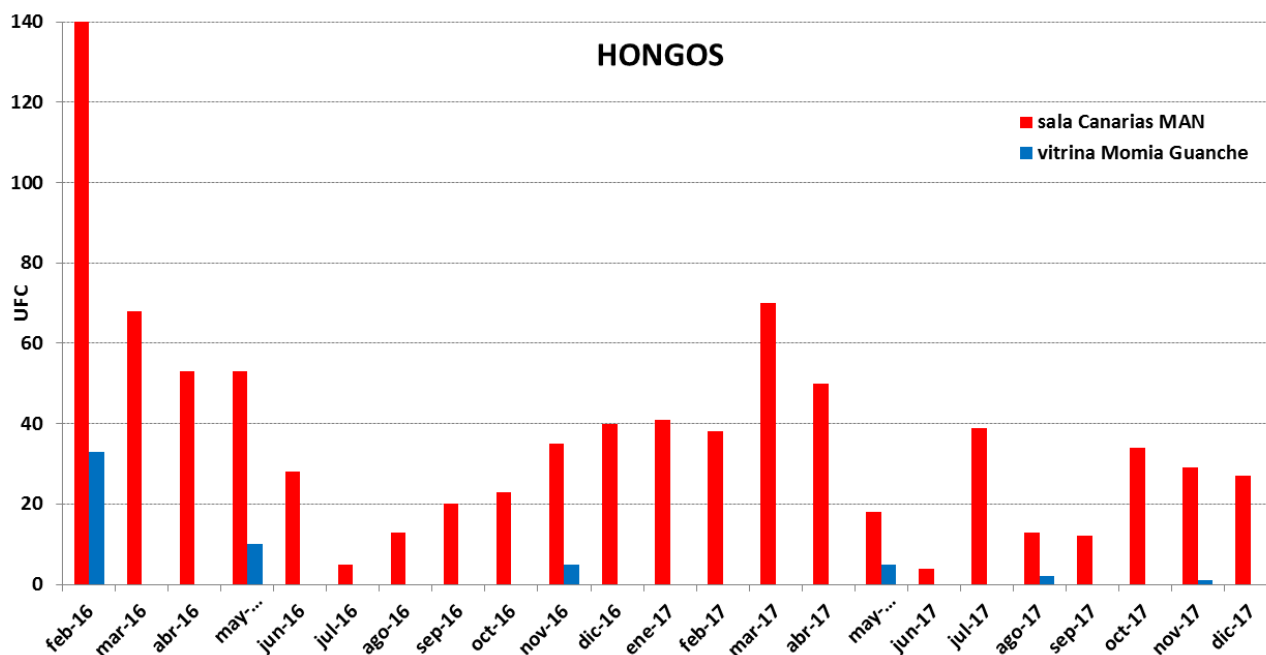


Fig. 9. Evolución bianual de UFC determinadas mes a mes para hongos en la sala Canarias (en rojo). Muestréos puntuales realizados conjuntamente con los bacterianos indican un muy bajo número de UFC de hongos en las proximidades de la momia (interior de la vitrina en azul).

Caracterización biológica del ambiente próximo a la momia en el Museo Arqueológico Nacional (MAN)

Siguiendo la metodología descrita más arriba, se han realizado mensualmente muestréos biológicos en la sala Canarias del MAN. Con ello se dispone de una representación gráfica de la evolución del número de UFC a lo largo de dos años, tal y como se representa en las figuras 8 y 9. Los muestréos consecutivos tras la reubicación de la momia mostraron un bajo número de UFC en el interior de la vitrina en comparación con los del exterior por lo que a partir de los primeros se decidió mantener los muestréos mensuales en el exterior y espaciar los del interior a 6 meses con objeto de interferir lo menos posible con la estabilidad del ambiente interior. Se propuso, en todo caso, hacer coincidir muestréos puntuales con situaciones que obligaran a la apertura de la vitrina como ha sido el traslado a la Clínica Quirón o el cambio de la cartela informativa. En los dos años muestréados tanto las UFC de bacterias como de hongos han resultado significativamente bajas, por lo que se puede afirmar que la contaminación biológica del espacio ocupado por la momia resulta inexistente.

Comparando los dos museos, se observa que en la vitrina del MAN, hay un mayor control de hongos y bacterias que en el MNA. Por otro lado, el número de visitantes que se reciben diariamente en el MAN es mucho más elevado, lo que tiende a incrementar la presencia de bioaerosoles y volátiles en las salas. Sin embargo, estas concentraciones no interfieren en la calidad del aire interior de la vitrina del MAN.

Conclusiones

La identificación de contaminantes ambientales en museos por parte del grupo FOTOAIR del CIEMAT comenzó en 2013 a partir de una alerta de malos olores (malestar físico) detectados por conservadoras del MAN al montar las nuevas exposiciones. Desde entonces se han determinado

elementos químicos y biológicos, así como sus concentraciones, en el aire interior de una serie de vitrinas seleccionadas del MAN y sus salas correspondientes. Este hecho propició la participación en la elaboración de las características técnicas de la nueva vitrina diseñada para alojar la momia guanche en el MAN proveniente del MNA.

Este trabajo resume los resultados obtenidos en la caracterización química y biológica del ambiente de dicha vitrina en comparación con el de procedencia.

Las conclusiones más relevantes son:

- Los contaminantes químicos ordenados de mayor a menor por su abundancia en la anterior vitrina del MNA fueron: p-Diclorobenceno, Naftaleno, Dodecametilciclohexasiloxano, Heptano, Hexametildiclotrisiloxano, Decametildiclopentasiloxano, 3-Etiltolueno, 1,2,4-Trimetilbenceno, Decano, o-Xileno y Undecano.
- Incluso los dos más abundantes, p-Diclorobenceno y Naftaleno, se encuentran un orden de magnitud por debajo de los límites considerados valores límites ambientales (VLA) de exposición diaria por la legislación actual de seguridad y salud en el trabajo (INSHT, 2017).
- En la nueva vitrina del MAN con su sistema de filtración, estos valores prácticamente desaparecen siendo el Tolueno quien presenta mayor concentración con $5,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ frente a los $192 \text{ mg}/\text{m}^3$ admitidos como valor límite de exposición diaria.
- La contaminación biológica cuantificada en UFC presenta valores en el entorno de 10 tanto para bacterias como para hongos, a pesar que en el exterior de la vitrina (sala Canarias) los valores alcanzan entre 40 y 60 UFC fundamentalmente en los meses de invierno (hongos). Estos valores son aceptados por la legislación vigente para la salud humana.
- De todo ello se infiere que la nueva vitrina del MAN cumple con las expectativas planteadas y mantiene tanto la contaminación química como biológica en valores de alta seguridad como se pretendió desde su diseño.

Por otra parte es necesario resaltar que los niveles considerados seguros para la salud humana no se corresponden con los que deberían ser considerados para la preservación de las obras de arte. Al necesario control de contaminantes en concentraciones perjudiciales para el ser humano (preservación de la salud laboral de los trabajadores del Museo), es necesario añadir compuestos y concentraciones perjudiciales para las obras de arte, encontrándonos con la paradoja apoyada por diferentes investigadores de que en muchos casos los límites establecidos en partes por millón (ppm: 10^{-6}) deben ser rebajados a partes por billón (ppb: 10^{-9}) (Grzywacz, 2006; Nazaroff, y Cass, 1991). Ese orden de magnitud, tomado como amplio margen de seguridad, puede no serlo en función de los compuestos existentes. La resolución de la incertidumbre generada pasa por ensayos específicos individualizados de cada contaminante con los materiales susceptibles de sufrir daño, así como mezclas reales de las concentraciones determinadas sobre los mismos materiales. Ya se están haciendo ensayos a largo plazo de estas características en prácticamente todos los museos del mundo, pero lamentablemente sin control. Las obras de arte permanecen expuestas en ambientes considerados seguros, cuyas composiciones de gases mezcla y concentraciones resultan desconocidas. La llamada del MAN en el momento de comenzar la preparación de las exposiciones y los trabajos que la Unidad de Análisis y Tratamiento Fotocatalítico de Contaminantes en Aire (FOTOAIR) comenzó a realizar desde entonces, abre un camino en la evaluación de ambientes de interior para la determinación del deterioro de las obras que va un tanto más allá de culpar al paso del tiempo.

Bibliografía

- Air Quality Guidelines for Europe – Second Edit (2000). WHO regional publications. European series; n.º 9, p. 288.
- AIRE LIMPIO (2015): <http://www.airelimpio.com/blog/proyecto_air_arte>. [Consulta: diciembre de 2017].
- GRZYWACZ, C. M. (2006): *The effects of Gaseous Pollutants on Objects (Ed.1) Monitoring for Gaseous Pollutants in Museum Environments*. Los Angeles: Getty Publications, pp. 1-21.
- INSHT (2017): *Límites de exposición profesional para agentes químicos en España*. Madrid: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT).
- MAKOS, K. A., y HAWKS, C. A. (2014): *Collateral Damage: Unintended consequences of vapor-phase organic pesticides, with emphasis on p-dichlorobenzene and naphthalene*. Museum2014.net, pp. 1-8. Disponible en: <<https://museumpests.net/wp-content/uploads/2014/05/4-1-Hawks-and-Makos-paper-formatted.pdf>>. [Consulta: diciembre de 2017].
- NAZAROFF, W. W., y CASS, G. R. (1991): «Protecting museum collection from soiling due to the deposition of air particles», *Atmospheric Environment*, 25, 5-6, pp. 841-852.
- SÁNCHEZ, B. *et alii* (2012): «Photocatalytic elimination of indoor air biological and chemical pollution in realistic conditions», *Chemosphere*, vol. 87, pp. 625-630.
- (2015): «Calidad del aire interior de las vitrinas en el nuevo Museo Arqueológico Nacional», *Boletín del Museo Arqueológico Nacional*, 33, pp. 367-381.
- (2016): *Nuevos aires para una Momia Guanche. Del Museo Antropológico al Arqueológico Nacional (II). Caracterización ambiente biológico*. CONAMA 2016.
- SÁNCHEZ-MUÑOZ, M. *et alii* (2012): «Comparison of three high-flow single-stage impaction-based air samplers for bacteria quantification: DUO SAS SUPER 360, SAMPL’AIR and SPIN AIR», *Analytical Methods*, vol. 4, n.º 2, pp. 399-405.
- U.S. EPA. (1999): *Compendium method TO-17 determination of volatile organic compounds in ambient air using active sampling onto sorbent tubes*. U.S. Environmental Protection Agency. EPA/625/R-96/010b.

