



Nuevos aires para una Momia Guanche. Del Museo Antropológico al Arqueológico Nacional (I). Caracterización química.

Olga Vilanova¹, Silvia Rodicio¹, M. Cristina Canela², Teresa Gomez³ y Benigno Sánchez¹

1) Unidad de Análisis y Tratamiento Fotocatalítico de Contaminantes en Aire (FOTOAIR) – CIEMAT. benigno.sanchez@ciemat.es

2) Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF. mccanela@uenf.br

3) Museo Arqueológico Nacional.

1. Resumen

El mejor resto momificado de la cultura guanche anterior a la colonización de las islas Canarias, se ha venido manteniendo expuesto en el Museo Nacional de Antropología (MNA) hasta la reapertura del nuevo Museo Arqueológico Nacional (MAN) realizada en abril de 2014. Este museo, uno de los mejores de Europa, se ha visto enriquecido con el traslado en diciembre de 2015 de dicha momia. Con objeto de preservar su integridad y conocer la calidad del aire que la circunda, el MNA, el MAN y CIEMAT, decidieron realizar su seguimiento desde su anterior ubicación hasta el nuevo emplazamiento. Para ello, se han tomado muestras y determinado la concentración de los contaminantes químicos mayoritarios. El análisis se ha realizado mediante desorción térmica programada y cromatografía de gases asociada a su detección por masas (ATD-GC-MS). Se han identificado y cuantificado más de 45 volátiles existentes en el aire circundante del material en estudio.

Se ha analizado tanto el interior del aire de la vitrina existente en el MNA como el de la sala en la que se expone. Igualmente, en la nueva vitrina, diseñada específicamente para alojar esta momia, se ha incorporado un sistema de filtración novedoso. Las concentraciones de volátiles han sido objeto de estudio, antes de la incorporación de la momia y una vez instalada en ella. Igualmente se han comparado los dos ambientes, interior y exterior de la vitrina. Con este tipo de análisis se ha conseguido caracterizar la calidad del aire tanto de la obra expuesta como del respirado por sus visitantes.

2. Introducción

Las momias han sido especímenes de interés a lo largo de la historia, ya sea por su valor socio-cultural, artístico, histórico, científico o simbólico. Su conservación obliga al mantenimiento de las condiciones de estabilidad propias de los lugares donde se han encontrado, alejadas de fluctuaciones de temperatura y humedad y evitando la presencia de contaminantes ambientales propios de nuestro modo actual de vida.

Fue Robespierre (1758-1794) quien dijo: *“La muerte es el principio de la inmortalidad”*. Cuando morimos nos descomponemos en elementos más simples. La autólisis celular es el proceso de autodestrucción natural que provoca la degradación de tejidos y órganos en los seres vivos. Prosigue con la intervención de microorganismos e insectos necrófagos



causando la putrefacción. Sin embargo, la acción de este proceso bioquímico y de estos microorganismos puede verse alterada hasta el punto de no llevarse a cabo si los tejidos se desecan rápidamente tras el fallecimiento. Este proceso se denomina momificación y puede ocurrir de forma natural, natural inducida o artificial.

La momia guanche mejor conservada de entre las conocidas se localizó en 1776 en el barranco de Herques (Tenerife). Fue entregada al Rey Carlos III para formar parte del Real Gabinete de Historia Natural. Recientemente, tras años en el Museo Nacional de Antropología (MNA), este valioso ejemplar ha realizado el que hasta la fecha ha sido su último viaje. Su destino, una vitrina de última generación en el Museo Arqueológico Nacional (MAN).

Desde la antigüedad la habilidad de las civilizaciones para la preservación de los cuerpos ha estado unida a condiciones ambientales estables y secas [1-2]. En las últimas décadas se ha venido 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 [3]. Sin embargo, los trabajos relacionados con los contaminantes químicos en contacto con la obra son todavía muy escasos.

En 2015 la empresa Aire Limpio junto con el CIEMAT, el CENIM y con la colaboración del MAN, MNRS e IPCE decidieron presentar un proyecto de investigación denominado AIR-ARTE para evaluar la calidad de los ambientes interiores en que se conservan las obras en relación con la presencia y cantidad de diferentes Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) que, en concentraciones significativas, pueden afectar a la conservación de las obras de arte. El traslado inminente de estos restos humanos momificados supuso un incentivo para el proyecto, actualmente en marcha, siendo la nueva vitrina de conservación un claro y concreto objeto de estudio.

En este trabajo se evalúa la calidad del aire interior (interior vitrina e interior museo) tanto del antiguo como del nuevo emplazamiento de la momia guanche, así como la eficiencia del sistema de filtración del que se ha dotado a la nueva vitrina para conseguir unas condiciones estables que garanticen la integridad de este singular e importantísimo nuevo inquilino del MAN.

3. Metodología

Toma de Muestras

Se han realizado tomas de muestras activas de 1h. Para ello se han empleado bombas de muestreo Gilian con un caudal de 200 ml/min. Los COV se han recogido en tubos de acero inoxidable rellenos con 250 mg de Tenax[®] TA (óxido de 2,6-difenilfenileno). Tras la toma de muestra, los tubos de Tenax[®] TA se han almacenado en un congelador a -20°C hasta su análisis. Los tubos se han analizado siguiendo el método TO-17 de la EPA (1999) [4].

Análisis instrumental



Las muestras se han analizado usando un equipo de desorción térmica acoplado a un cromatógrafo de gases con espectrometría de masas (ATD-GC-MS) según el sistema descrito por Sánchez y col. en 2012.[5].

Detección y cuantificación

Tabla 1. Límites de detección y cuantificación de los COV identificados y su tiempo de retención.

COV	LD (ng)	LC (ng)	Tr (min)	COV	LD (ng)	LC (ng)	Tr (min)
BTX-Aromáticos				Aldehídos y Terpenos			
Benzene	3.58	10.74	2.289	Hexanal	5.51	16.53	3.674
Toluene	0.91	2.73	3.186	α-Pinene	0.36	1.08	6.746
Ethylbenzene	0.9	2.7	4.886	Benzaldehyde	4.35	13.05	7.915
o-Xylene	0.92	2.76	5.032	Limonene	0.35	1.05	10.391
m,p-Xylene	0.9	2.7	5.627	Acetophenone	21.4	64.2	12.121
Cumene	0.9	2.7	6.500	Nonanal	6.88	20.64	13.87
Propylbenzene	0.9	2.7	7.553	Decanal	17.1	51.3	18.466
Ethyltoluene	0.9	2.7	7.838	Hidrocarburos Alifáticos			
Mesitylene	0.9	2.7	8.069	Heptane	1.42	4.26	2.474
1,2,4-Trimethylbenzene	0.91	2.73	8.986	Octane	0.59	1.77	3.542
1,2,3-Trimethylbenzene	0.93	2.79	10.093	Nonane	0.6	1.8	5.76
p-Cymene	0.9	2.7	10.213	Camphor	0.36	1.08	15.508
n-Butylbenzene	0.9	2.7	11.523	Decane	0.61	1.83	9.113
4-Ethyl-m-Xylene	0.91	2.73	12.366	Undecane	0.62	1.86	13.317
4-Ethyl-o-Xylene	0.91	2.73	12.655	Alcoholes			
Siloxanos				β-Terpineol	23.35	70.05	17.465
6(CH ₃)-cyclotrisiloxane	8.91	26.73	4.037	α-Terpineol	23.35	70.05	17.696
8(CH ₃)-cyclotetrasiloxane	1.56	4.68	9.429	Acetatos			
10(CH ₃)-cyclopentasiloxano	3.83	11.49	16.323	1-Methoxy-2-propylacetate	0.7	2.1	5.147
12(CH ₃)-cyclohexasiloxano	1.57	4.71	22.934	2-Butoxyethylacetate	0.36	1.08	13.4
Ácidos y Amidas				Isobornylacetate	0.91	2.73	21.658
2-Phenylbutyramide	0.45	1.35	26.533	Oximas y Alquenos			
Undecanoic Acid	2.79	8.37	27.509	2-Butanone-Oxime	3.53	10.59	3.792
Diisobutylphthalate	2.6	7.8	31.007	Tetrachloroethylene	0.66	1.98	3.818



Los análisis cualitativos se han realizado empleando la base de datos NIST MS Search 2.0 library. Se han efectuado curvas de calibrado para cada compuesto de interés.

Los análisis cuantitativos se han llevado a cabo a partir de disoluciones de los patrones comerciales en metanol (Fluka). Las curvas de calibrado se han creado agrupando distintos compuestos en función de sus grupos funcionales, preparando disoluciones patrón de distintas concentraciones e inyectando 5 µL 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 han definido como la menor cantidad de compuesto capaz de generar una señal en el análisis cromatográfico y los límites de cuantificación (LC) han correspondido a tres veces el LD. Los valores obtenidos se muestran en la Tabla 1.

4. Resultados

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

Se han realizado dos campañas de muestreo para caracterizar las condiciones iniciales en las cuales se encontraba la momia guanche en el MNA. La Figura. 1. muestra la identificación de los compuestos encontrados.

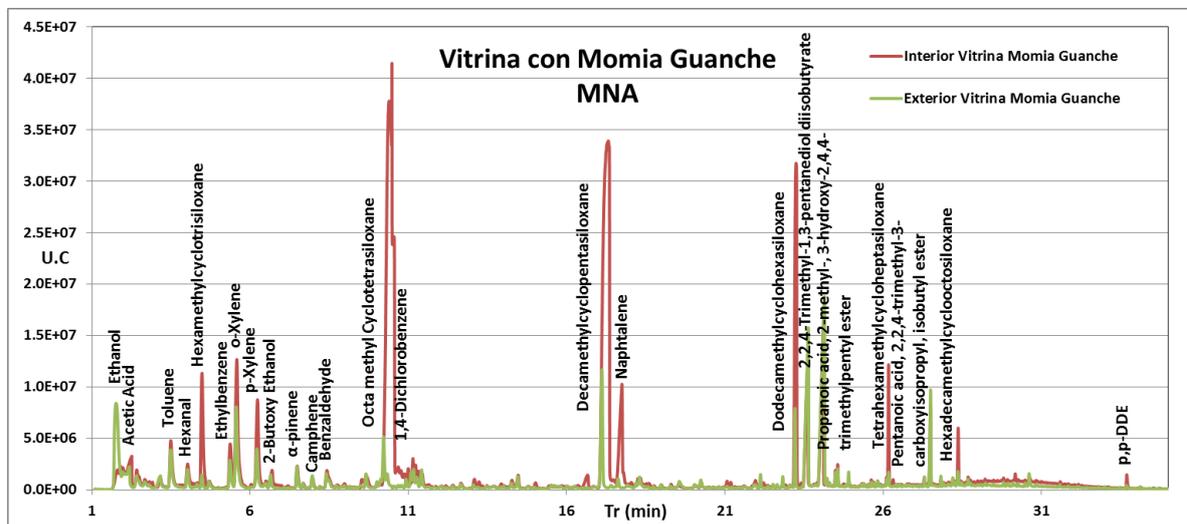


Figura. 1: COV identificados en el MNA.

Los compuestos mayoritarios que se han encontrado durante la caracterización han sido los siloxanos, el *p*-diclorobenceno y el naftaleno. Los primeros derivan del ambiente, son propios de recubrimientos, pinturas y artículos de higiene personal. Los segundos 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 como hongos y bacterias.



Caracterización de COV en la nueva vitrina antes de su ocupación en el Museo Arqueológico Nacional (MAN)

Desde Noviembre de 2015 se ha llevado a cabo una campaña de muestreos para evaluar la vitrina de nuevo diseño en el MAN.

La vitrina estanca (Figura. 2) está dotada de un sistema de doble filtración de carbón activado, que funciona en recirculación y trata los distintos compuestos orgánicos volátiles. 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. [6]



Figura. 2: La nueva vitrina estanca del MAN con sistema de filtración integrado.

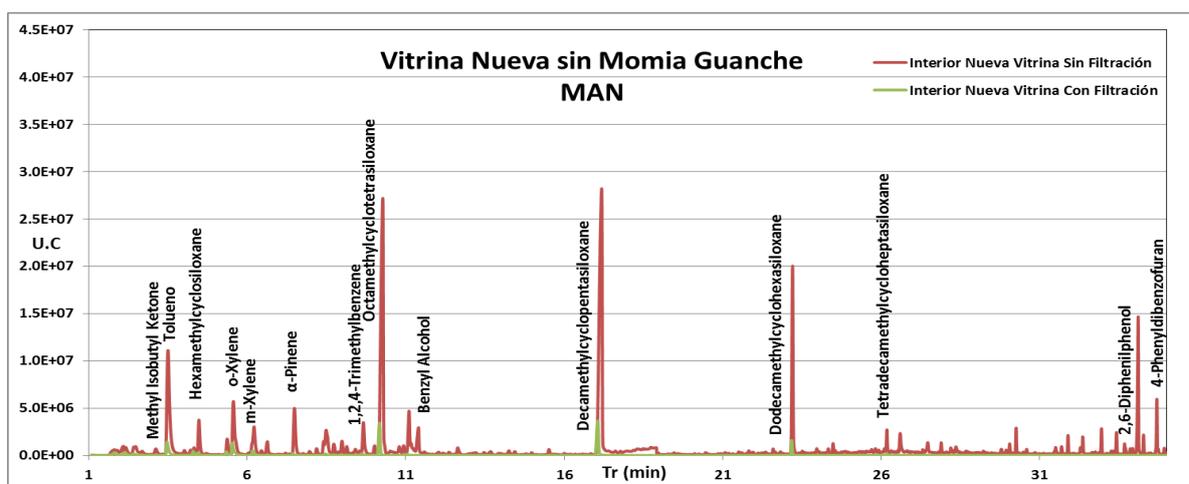


Figura. 3: COV identificados en la nueva Vitrina del MAN antes de la instalación de la momia guanche. Se observa una clara diferencia en el antes y el después de la puesta en marcha del sistema de filtración.



Se han identificado los productos típicos del ambiente derivados de recubrimientos y elementos propios del montaje de la vitrina. Una vez cerrada y tras la puesta en marcha del sistema de filtración, las concentraciones de la mayoría de COV han desaparecido o han sido ampliamente reducidas tal y como se puede ver en la Figura. 3.

Caracterización de COV en el ambiente próximo a la momia en el Museo Arqueológico Nacional (MAN)

En el MAN se han realizado campañas de muestreos durante la construcción de la nueva vitrina, antes de la llegada de la momia, el día de su traslado y tras su traslado para asegurar que el nuevo emplazamiento no alteraría las condiciones de conservación. La Figura. 4 muestra la identificación de los compuestos encontrados.

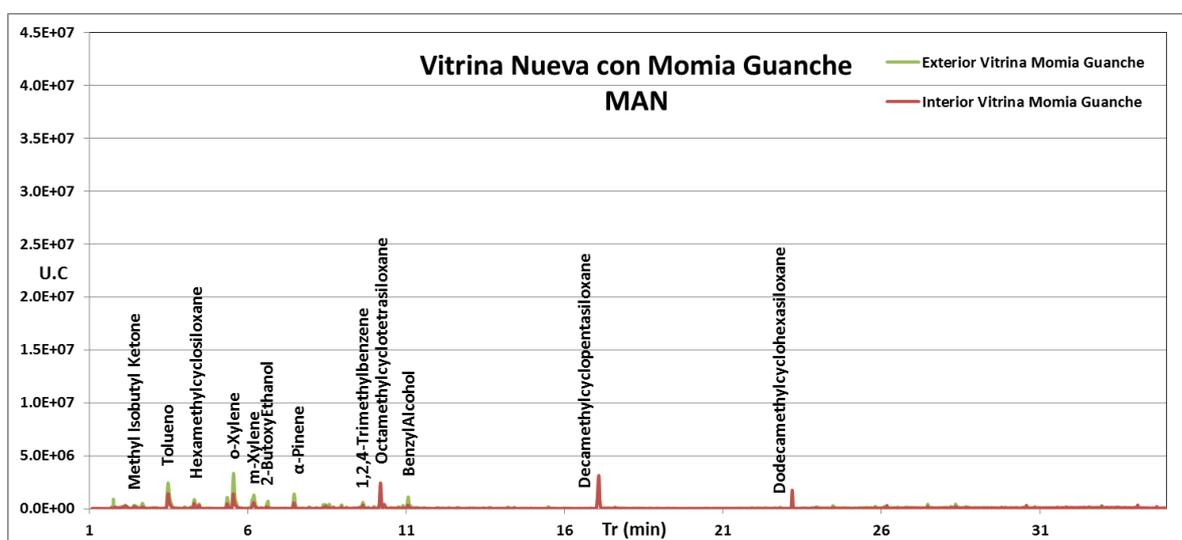


Figura. 4: COV identificados en el MAN.

Comparando los cromatogramas de las Figuras 1 y 4, se observa una disminución en el número de COV identificados en el MAN respecto al MNA.

Cuantificación de COV en ambos museos

Las abundancias dependen de los calibrados y por tanto deben compararse las concentraciones obtenidas mediante los calibrados y no solamente la señal entregada por el instrumento. La Tabla 2 muestra la comparación de las concentraciones de los compuestos mayoritarios obtenidas para ambos museos.



Tabla 2: Cuantificación de los COV mayoritarios encontrados en ambos museos.

Columna 30m	MNA		MAN	
Compuesto	C($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Interior	C($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Exterior	C($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Interior	C($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Exterior
Heptane	14.84	3.60	1.69	6.15
Toluene	4.42	1.92	5.75	10.95
Hexamethylcyclotrisiloxane	10.61	1.91	3.60	6.84
o-Xylene	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	0.40
Octamethylcyclotetrasiloxane	1.57	0.27	1.23	1.04
p-Dichlorobenzene	88.32	2.65	0.48	<LD
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	3.63	0.68	0.81	0.74

5. Discusión

La Figura. 5 nos muestra la evolución de los COV del ambiente interior de la vitrina antigua en el MNA y nueva en el MAN.

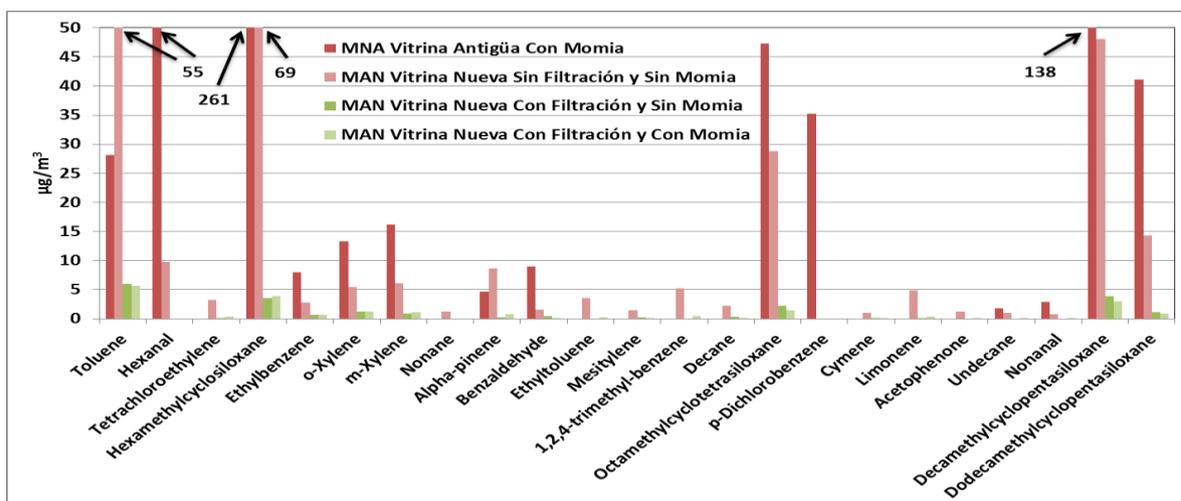


Figura. 5: Determinación cuantitativa de los distintos COV identificados en el interior de las vitrinas del MNA y MAN con y sin filtración y con y sin momia en el MAN.

Tras los diferentes análisis se observa que en el MNA la momia guanche se ha encontrado en un ambiente con altas concentraciones de siloxanos propios del ambiente y provenientes de pinturas, disolventes y productos de limpieza e higiene personal y *p*-



diclorobenceno debidos a residuos propios de procedimientos de conservación del siglo XIX.

En la nueva vitrina del MAN inicialmente se han encontrado altos valores de siloxanos y tolueno. Sin embargo, al activar el sistema de filtración se ha observado como cae la concentración de COV a valores menores de $5\mu\text{g}/\text{m}^3$ e incluso a valores por debajo de los límites de detección del ATD-GC/MS.

Cuando comparamos las concentraciones obtenidas en el interior de la vitrina con las de la sala en la que aquella se expone (ver Figura. 6) observamos que en el MNA, los valores de concentración en el interior de la vitrina resultan más altos que en su exterior. Mientras que en el MAN, gracias al sistema de filtración, los valores de concentración de los COV del interior de la vitrina se han reducido drásticamente y han permanecido menores que los del exterior. Esto ha supuesto una mejora para la conservación de la obra al estar menos expuesta a compuestos oxidantes que podrían alterar su integridad.

También debemos destacar que el ambiente de la sala en el MAN presenta una menor concentración de COV que en el MNA (Figura. 6). En ambos casos, los valores se han identificado por debajo de los límites ambientales de exposición diarios para los visitantes [7].

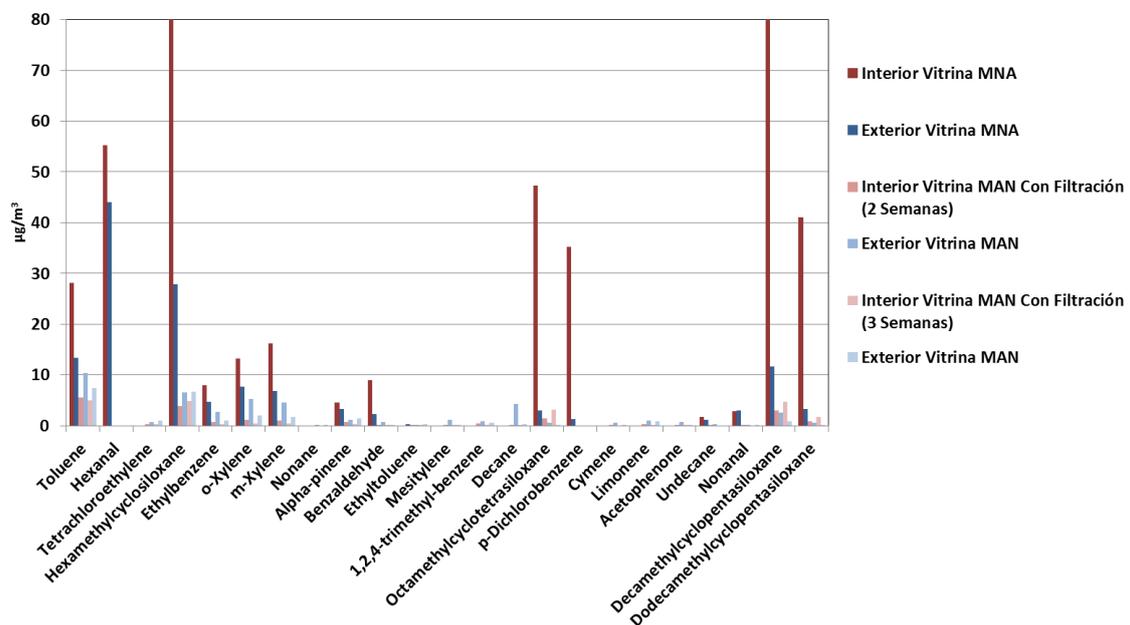


Figura. 6: Comparativa de las concentraciones de COV del interior y el exterior de la vitrina que ha alojado y aloja la momia guancho en ambos museos.

El I/O ratio definido como la relación entre la concentración de COV en el interior (indoor, I) y exterior (outdoor, O), es una herramienta importante para indicar la fuente de contaminación en aire interior [8]. Las relaciones pueden ser:



- Relación I/O ratio > 1 indica que la fuente de contaminantes en el interior es significativa.
- Relación I/O ratio = 1 indica que las fuentes de contaminación interior y exterior son iguales.
- Relación I/O ratio > 0.5 y < 1 indica que entre el 30-100% de la contaminación exterior está entrando en el interior.
- Relación I/O ratio \approx 0 - 0.05 es la situación ideal donde las fuentes de emisión de contaminación interior son bajas.

De esta forma el I/O ratio se puede emplear como indicador de la contaminación interior.

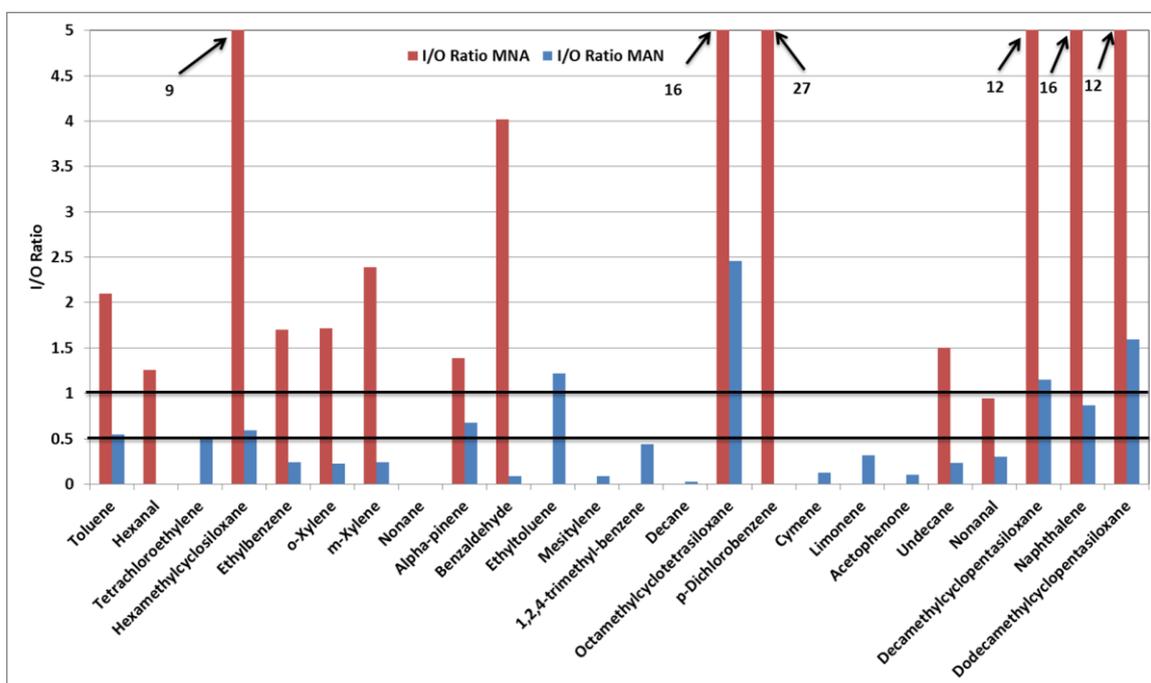


Figura. 7: I/O Ratio de los COV encontrados en los dos museos.

En el MNA (Figura. 7) el 93% de los COV identificados y cuantificados poseen I/O ratios mayores a la unidad, lo cual implica que hay fuentes de contaminación interior.

En el MAN (Figura. 7) el 12% de los COV identificados y cuantificados poseen I/O ratios mayores a la unidad y el 21% I/O ratios entre 0.5 – 1. Lo que implica que hay un menor número de fuentes de emisión interiores en la vitrina de MAN.

6. Conclusiones

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. 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 ellas, 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}) [9-10].

Nuestros resultados muestran niveles de ppb, por tanto en ningún caso debemos interpretar que mayores niveles de COV en un museo respecto al otro implican un riesgo para la salud de sus visitantes.

El estudio realizado hasta ahora ha permitido concluir lo siguiente:

- Ambos museos poseen niveles de COV muy por debajo de los límites de exposición diarios de seguridad e higiene en el trabajo (ppm) y por tanto son lugares limpios y seguros para sus visitantes y trabajadores
- Los niveles de contaminación tanto del interior como del exterior se han reducido en el MAN respecto al MNA.
- El sistema de filtración de la nueva vitrina ha demostrado su eficacia en la reducción de COV. Dentro de estos compuestos se han encontrado los propios generados por los materiales de construcción de una nueva vitrina y los generados por la propia pieza debidos a anteriores tratamientos de conservación como es el caso del naftaleno y el *p*-diclorobenceno.

7. Referencias

[1] Momias. Manual de buenas prácticas para su preservación. (2012) Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. Capítulo 3: Las momias en el museo (65-203).

[2] Mora Postigo, C. (1992) "Momias guanches en el Museo Nacional de Etnología", Actas I Congreso Internacional sobre momias, Santa Cruz de Tenerife, 267, 271.

[3] Camuffo, D.; Grieken, R.V., Busse H.J., Sturaro G., Valentino A., Bernardi A., Blades N., Shooter D., Gysels K., Deutsch F., Wieser M., Kim O., Ulrych U. (2001) Environmental monitoring in four European museums, Atmospheric Environment, 35, S127-S140.

[4] 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.

[5] Sánchez, B., Sánchez-Muñoz, M., Muñoz-Vicente, M. (2012) Photocatalytic elimination of indoor air biological and chemical pollution in realistic conditions. Chemosphere, 87, 625-630.

[6] http://www.airelimpio.com/blog/proyecto_air_arte

[7] INSHT, Límites de exposición profesional para agentes químicos en España (2016).



- [8] Parra, M.A., Elustondo, D., Bermejo, R., Santamaría, J.M. (2008) Quantification of indoor and outdoor volatile organic compounds (VOCs) in pubs and cafés in Pamplona, Spain, *Atmospheric Environment*, 42, 6647-6654
- [9] Grzywacz, C.M. (2006): *The effects of Gaseous Pollutants on Objects (Ed.1) Monitoring for Gaseous Pollutants in Museum Environments*, Getty Publications, Los Angeles: 1-21
- [10] Nazaroff, W.W., Cass, G.R. (1991) Protecting museum collection from soiling due to the deposition of air particles. *Atmospheric Environment*, 25, 5-6, 841-852.