

## MONITOREO AMBIENTAL EN UN LABORATORIO QUIMICO Y SU SISTEMA DE EXTRACCIÓN ENVIRONMENTAL MONITORING IN A CHEMICAL LABORATORY AND ITS AIR EXTRACTION SYSTEM

María Olivia Peña Ortiz<sup>1</sup>  
Sergio Adalberto Franco Chávez<sup>2</sup>  
César Gómez Hermosillo<sup>3</sup>  
Claudia Mata García<sup>4</sup>  
Licett Zans Delgado<sup>5</sup>  
Boris Maurette Cabré<sup>6</sup>

### RESUMEN

**Introducción.** La volatilidad de los compuestos orgánicos usados en los laboratorios químicos los hace ser peligrosos para el ambiente y para la salud de las personas. **Objetivo:** Evaluar la calidad del aire del interior del laboratorio para compararla con el sistema de extracción en funcionamiento. **Material y método:** En esta investigación se consideró como indicador de calidad de aire interior la concentración de compuestos orgánicos volátiles (COV) provenientes del uso de alcoholes y disolventes. Mediante un muestreo puntual que comprendió 9 puntos, distribuidos en la superficie total del laboratorio químico en un centro universitario de Jalisco, México, se midieron los COV por medio de un equipo portátil con detector de ionización de llama, probando con los sistemas de extracción funcionando y sin funcionar. **Resultados:** Se registraron concentraciones de COV de hasta 9,62 ppm, observándose que el sistema de extracción no siempre resulta funcional. **Conclusiones:** Se concluye que es relevante revisar los sistemas de ventilación y extracción para mejorar la calidad del aire en el ambiente interno de los espacios donde se hacen demostraciones para la enseñanza de las ciencias químicas, específicamente en aquellos ambientes de interiores como aulas, laboratorios de práctica o talleres.

**Palabras clave:** volatilidad, compuestos orgánicos volátiles, ppm, calidad de aire interior

### ABSTRACT

**Introduction:** The volatility of the organic compounds used in chemistry laboratories makes them a health and environmental hazard. **Objective:** To know the indoor air quality of a laboratory to be able to assess the performance of the air extraction system. **Material and method:** In this study the concentration of volatile organic compounds

(VOCs) from alcohols and solvents was taken as an indicator of indoor air quality. The sampling consisted on 9 points distributed over the total surface of a chemistry laboratory in a university campus in the state of Jalisco, México. The VOCs were measured using a portable flame ionization detector (FID), testing the air extraction systems under operating and idle conditions. **Results:** VOC concentrations of up to 9,62 ppm, were recorded, noting that the extraction system was not always working. **Conclusions:** It was concluded that it is important to check the ventilation and extraction systems to improve the indoor air quality of areas where chemistry practices take place for educational purposes, specifically in areas like classrooms, laboratories or workshops.

**Key words:** volatility, volatile organic compounds (VOCs), ppm (parts per million), indoor air quality

### INTRODUCCIÓN

Las normas de calidad del aire fijan valores máximos permisibles de concentración de contaminantes, con el propósito de proteger la salud de la población en general y de los grupos de mayor susceptibilidad en particular, para lo cual se incluye un margen adecuado de seguridad. En nuestro país (México), y en nuestro estado en particular (Jalisco), no han existido los recursos suficientes ni la infraestructura para realizar suficientes estudios epidemiológicos, toxicológicos y de exposición en animales, plantas y seres humanos, que permitan obtener la información necesaria para establecer esos valores máximos permisibles, por

<sup>1</sup> Doctora Investigadora y Profesora. Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, Departamento de Química, Universidad de Guadalajara, Guadalajara, Jalisco, México

<sup>2</sup> Ingeniero industrial, Doctor en Ciencias de la Salud en el Trabajo, Máster en Análisis de Sistemas Industriales. Instituto de Investigación en Salud Ocupacional. Universidad de Guadalajara, Guadalajara, Jalisco, México

<sup>3</sup> Doctor Investigador y Profesor. Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, Departamento de Química, Universidad de Guadalajara, Guadalajara, Jalisco, México

<sup>4</sup> Tesista de Licenciatura en Química. Departamento de Química, Universidad de Guadalajara, Guadalajara, Jalisco, México

<sup>5</sup> Médicos especialistas de I grado en Epidemiología. Profesores Asistentes e Investigadores. Hospital Ortopédico Fructuoso Rodríguez, La Habana, Cuba

#### Correspondencia:

Dra. María Olivia Peña Ortiz  
Universidad de Guadalajara, CUCEI, Departamento de Química  
Marcelino García Barragán nº 1421 CP 44 430,  
Guadalajara, Jalisco, México  
E-mail: [oliviaportiz@hotmail.com](mailto:oliviaportiz@hotmail.com)

lo que las normas se establecen fundamentalmente tomando en cuenta los criterios y estándares adoptados en otros países<sup>1</sup>.

Acerca de las características de los compuestos orgánicos volátiles (COV) en el Código Federal de Regulaciones del Gobierno de los Estados Unidos, se les define como compuestos de carbono que participan en reacciones fotoquímicas (se excluyen de esta definición al monóxido de carbono, dióxido de carbono, ácido carbónico, carburos metálicos o carbonatos y carbonato de amonio). Los COV son especies químicas gaseosas de 2 a 12 átomos de carbono<sup>2</sup> precursores de ozono; incluye a los grupos químicos alcanos, alquenos, alquinos, aromáticos y carbonilos<sup>3</sup>. La presencia de estos compuestos en la atmósfera es relevante ante los efectos en la salud humana que se le asocian, como es el caso del riesgo tóxico, mutagénico y cancerígeno que representan especies como el benceno<sup>4</sup>. Por su incidencia en la salud humana, algunos de los COV, se denominan tóxicos y sus efectos pueden ocurrir de forma aguda en corto plazo o de forma crónica a largo plazo. Participan en la formación de ozono troposférico<sup>5</sup>, el cual a bajas concentraciones provoca dolor de cabeza, irritación de garganta y tos, y a concentraciones elevadas disminuye la función pulmonar, afectando a personas con asma, bronquitis crónica y enfisema pulmonar. Afecta a los animales incrementando la susceptibilidad a infecciones bacterianas, y en las plantas interfiere en la actividad fotosintética, en el crecimiento y en el metabolismo general<sup>6</sup>. Las sustancias se pueden absorber por inhalación, a través de la piel o por ingestión. La evaporación de estas sustancias puede alcanzar muy rápidamente una concentración nociva en el aire<sup>7</sup>.

En el caso del aire urbano, se pueden identificar más de 250 especies químicas de COV, cada una de ellas con propiedades tóxicas y químicas diferentes, de manera que resulta complicado medirlas cuantitativamente y con un alto costo. Sin embargo, en la ciudad de México, a partir de 1991, la Agencia de Protección del Medio Ambiente (EPA)<sup>8</sup> y el Instituto Nacional de Ecología<sup>9</sup>, realizaron las primeras mediciones, encontrando altas concentraciones de VOCs, como las registradas al sur de California. Las concentraciones promedio en la ciudad de México encontradas fueron entre 3,5 y 7,1 ppm<sup>8</sup>. Existen normas que establecen límites de COV provenientes de procesos industriales (fuentes fijas) que utilizan disolventes orgánicos o cualquier otro derivado del petróleo (NOM-075, NOM-121 y NOM-123), pero no existe normativa para aquellos que se encuentran en la atmósfera. La concentración de los contaminantes atmosféricos gaseosos suele expresarse en *partes por millón en volumen* (ppm) o la concentración basada en el peso por unidad de volumen de aire, expresada en *microgramos por metro cúbico* ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )<sup>10</sup>.

Para el ambiente laboral, la Asociación Americana de Ingenieros en Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (ASHRAE) establece un límite máximo de COV en el aire interior de  $1\ 000\ \mu\text{m}^3$ <sup>11</sup>, y en México, la Secretaría de Trabajo y Previsión Social solo establece en la

NOM-010-STPS-1999, las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se manejen, transporten, procesen o almacenen sustancias químicas capaces de generar contaminación en el medio ambiente laboral, y recientemente publicado en el proyecto de norma ambiental para el Distrito Federal NADF-011-AMBT-2007, que establece los límites máximos permisibles de emisiones de compuestos orgánicos volátiles de fuentes fijas de jurisdicción del Distrito Federal que utilizan disolventes orgánicos o productos que los contienen.

En la búsqueda bibliográfica nacional e internacional, fueron escasos los estudios relacionados con este tema, a pesar de su relevancia, siendo nuestra intención en esta investigación ampliar los conocimientos actuales sobre el tema.

Para comprender las ciencias de la Química Orgánica se requiere del uso de diversas sustancias químicas como alcoholes y disolventes que emiten COV por su alta volatilidad química, es decir, se volatilizan fácilmente a la temperatura ambiental, propiciando con ello un mal ambiente, y puede llegar a ocasionar un malestar en los estudiantes. El control del ambiente del laboratorio exige como principio dos actuaciones bien diferenciadas: la dispersión de contaminantes y la renovación del aire<sup>12</sup>. Debe insistirse en que el recurso eficaz para eliminar la contaminación química o biológica generada por la actividad del laboratorio, sea la extracción localizada y la simple retirada de volúmenes de aire.

Es importante conocer la concentración de los COV en el aire ambiental de los laboratorios de la enseñanza de la Química y detectar los factores que puedan influir en la acumulación de este tipo de contaminantes que conlleve a la búsqueda de alternativas para su control. Esta investigación persigue medir compuestos orgánicos volátiles como indicativo de la calidad del aire del interior del laboratorio, así como conocer el efecto del sistema de extracción de aire en un laboratorio para la enseñanza de la Química Orgánica.

Cabe señalar que los resultados de esta investigación formarán parte del monitoreo exploratorio en laboratorios químicos universitarios incluidos en un proyecto que se encuentra vigente a la fecha y que está siendo apoyado por la Secretaría de Educación Pública, registrado bajo la autorización PROMEP/103.5/085232. En la actualidad se sigue monitoreando, conjuntamente con otras variables (temperatura, humedad relativa y velocidad del aire de entrada en el marco de la puerta), con el fin de encontrar otros factores que puedan influir en la dispersión de los contaminantes.

## MATERIAL Y MÉTODO

Se seleccionó un laboratorio de un centro educativo de Guadalajara, Jalisco, México, para llevar a cabo un monitoreo exploratorio y detectar los COV mediante un equipo portátil con sensor de ionización de llama (FID), marca Thermo Scientific TVA-100, previamente cali-

brado y con alta sensibilidad a vapores de hidrocarburos (incluido el metano). Se seleccionaron 9 puntos, distribuidos entre los extremos y la parte media de la superficie del laboratorio y cercano a la ubicación de los extractores. Se elaboraron 2 croquis, uno con la localización de la zona de muestreo general y el otro con la zona de trabajo que ocuparon los alumnos durante la realización de las prácticas. Se tomaron lecturas puntuales en tiempo real, registrando el valor más alto detectado por el sensor en un tiempo máximo de 30 segundos y a una altura sobre nivel de piso de 1,50 m. Se probó el funcionamiento de los extractores, tomando lecturas con extractores sin funcionar y con extractores funcionando. Se registraron lecturas en la zona de trabajo de los alumnos, con extractores funcionando, antes de iniciar la práctica de alcoholes, durante el desarrollo de la misma y después de finalizada la práctica. Como monitoreo exploratorio se tomaron lecturas puntuales en tiempo real en la zona de muestreo general del laboratorio, probando el efecto de los extractores cuando se encontraban sin funcionar y funcionando. Los datos se graficaron para obtener la relación entre la lectura en ppm de COV y el funcionamiento de los extractores.

## RESULTADOS

El Laboratorio de Química Orgánica presenta una forma rectangular con una superficie de 305 m<sup>2</sup>, donde se encuentran distribuidas 9 mesas de trabajo. Los puntos seleccionados se encuentran numerados de acuerdo a la figura 1 (3 en el lado derecho, 3 en la parte media y 3 en el lado izquierdo, dando un total de 9 puntos de medición).

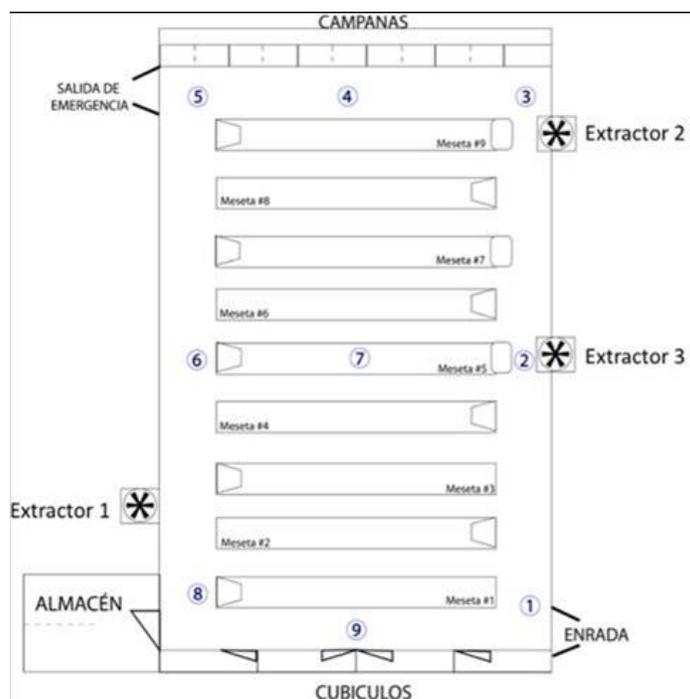
En la tabla 1 se reporta la descripción de cada punto de muestreo, tomando como base la entrada al laboratorio y la ubicación de los extractores, que se encuentran representados con un asterisco (\*) en la figura 1.

En la figura 2 se muestra el croquis de localización de la zona de trabajo y número de mesetas ocupadas por los alumnos durante el desarrollo de la práctica.

Las lecturas detectadas en cada uno de los puntos de muestreo de la zona de trabajo, fueron registradas en tiempo real. Los resultados se muestran en la tabla 2 y en la figura 3.

Los resultados del monitoreo exploratorio para detectar la presencia de compuestos orgánicos volátiles en el laboratorio de Química Orgánica del Centro Universitario de Guadalajara, Jalisco, México, se presentan en la figura 4, cuando los extractores se encuentran sin funcionar (apagados), y en la figura 5 cuando los extractores se encuentran funcionando.

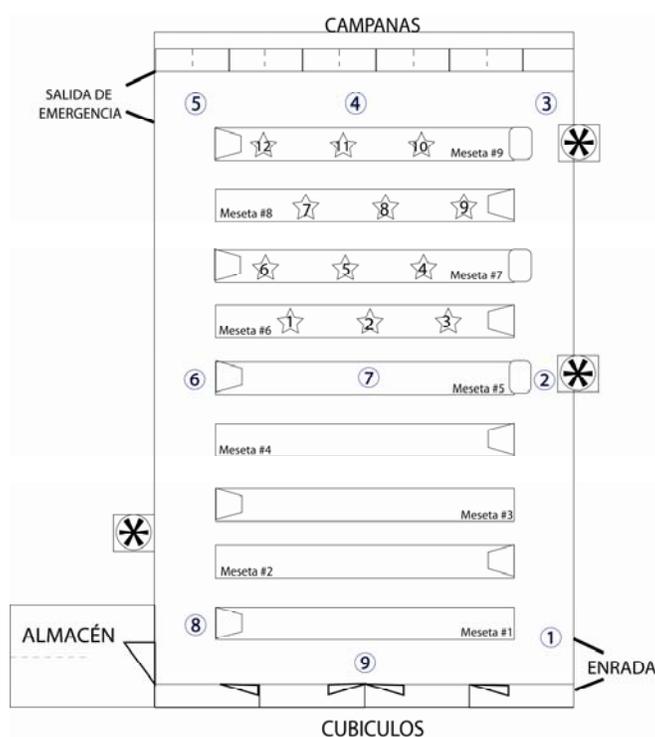
**Figura 1**  
Croquis de localización de los 9 puntos de muestreo general. Laboratorio de Química Orgánica



**Tabla 1**  
Descripción de los puntos de muestreo

Punto	Descripción
1	Al frente a la derecha (puerta de entrada abierta)
2	En medio pasillo (derecha)
3	Fondo, derecha
4	Fondo, medio
5	Fondo izquierdo (puerta de emergencia cerrada)
6	En medio pasillo (izquierdo)
7	En medio (al centro)
8	Frente a la izquierda (puerta almacén abierta)
9	Al frente, en el centro

**Figura 2**  
Croquis de localización de los 12 puntos de muestreo en la zona de trabajo durante el desarrollo de la práctica de alcoholes



## DISCUSIÓN

Hoy en día existe una creciente preocupación por la toxicidad de los compuestos orgánicos volátiles, de tal manera que organismos e instituciones de los Estados Unidos (ACGIH<sup>14</sup>, NIOSH<sup>15</sup> y OSHA<sup>16</sup>) han estado revisando y modificando algunos límites de exposición para los trabajadores (TLV), así como también las concentraciones máximas de ciertos contaminantes en el aire (PEL). En el caso de los alcoholes, la ACGIH recomienda una exposición promedio ponderada en 8 horas (PEL, TWA) de 1 000 ppm para alcohol etílico,

400 ppm para isopropílico y 89 ppm para alcohol isoamílico (alcoholes utilizados durante la práctica). Tomando en cuenta lo anterior y no teniendo límites máximos permisibles para la mezcla de los tres tipos de alcoholes ni norma para la emisión de volátiles de estos compuestos orgánicos en ambientes de laboratorios químicos, se debiera deducir que la concentración encontrada de 9,62 ppm en el punto número 5 de la zona de trabajo, reportada en la tabla 2, resultará no peligrosa para la salud, pero no podemos decir lo mismo para el ambiente, debido a que esta concentración ayudará a la formación de contaminantes secundarios, como lo es el

ozono, que excede con frecuencia el valor normativo cuando este contaminante es medido por la red automática de monitoreo ambiental, representando un daño potencial para la salud.

Se puede observar en la figura 3 que la concentración de 9,62 ppm de COV, detectada en la zona de trabajo durante el desarrollo de la práctica, se dispersa en aproximadamente 30 minutos, ya que a las 13:04 horas se reporta una concentración uniforme, por debajo de 2 ppm, deduciéndose con ello el buen funcionamiento del sistema de extracción en esta actividad.

Sin embargo, al monitorear el aire del laboratorio en diferentes días con los extractores funcionando y sin

funcionar, se puede observar que al comparar las figuras 4 y 5, los contaminantes permanecen en los puntos 3, 4 y 7 aun con los extractores funcionando, por lo que el extractor del fondo a la derecha tal parece que no ayuda a la extracción del aire contaminado (figura 6).

De manera general, un factor importante para mejorar la calidad del aire es la dispersión de los contaminantes, por lo que resulta relevante revisar los sistemas de ventilación y extracción para mejorarla en el ambiente interno de los espacios donde se hacen demostraciones para la enseñanza de las ciencias químicas, específicamente en aquellos ambientes de interiores como aulas, laboratorios de prácticas o talleres.

**Tabla 2**  
**Lecturas en ppm de las concentraciones de COV en la zona de trabajo, antes de iniciar la práctica, durante y después de realizada la práctica de alcoholes**

Tiempo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
11:35 horas Antes de iniciar la práctica	1,79	2,86	1,86	2,03	1,89	2,36	2,20	2,30	2,48	2,08	2,20	2,83
11:52 horas Durante la práctica	4,60	1,80	1,94	1,60	<b>7,89</b>	2,40	3,32	3,99	2,78	2,47	2,73	3,58
12:18 horas Durante la práctica	1,65	1,70	2,00	2,33	<b>9,62</b>	4,41	4,15	4,44	4,19	3,31	2,89	6,42
12:54 horas Después de terminar la práctica	0,90	1,22	1,44	1,29	1,36	1,31	1,29	1,60	2,46	1,48	1,42	1,80
13:04 horas Después de terminar la práctica	1,61	1,44	1,73	2,05	1,72	1,60	1,60	1,59	1,57	1,50	1,51	1,63

**Figura 3**  
**Concentración de compuestos orgánicos volátiles detectada en tiempo real en la zona de trabajo al realizar la práctica de alcoholes**



Figura 4

Concentración de los compuestos orgánicos volátiles en los puntos señalados de la zona de muestreo general con el sistema de extracción sin funcionar

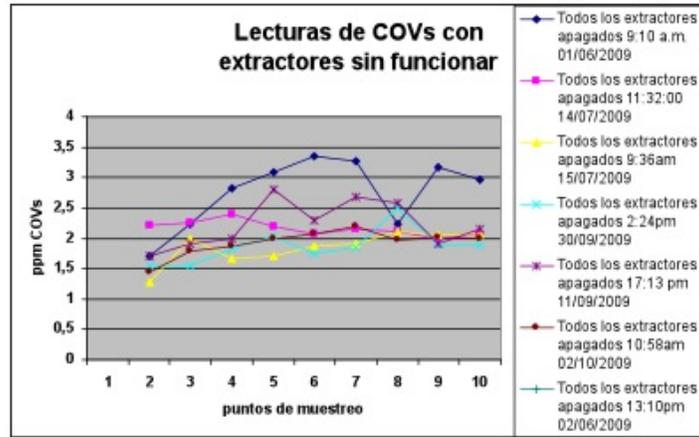


Figura 5

Concentración de los compuestos orgánicos volátiles en los puntos señalados de la zona de muestreo general con el sistema de extracción funcionando

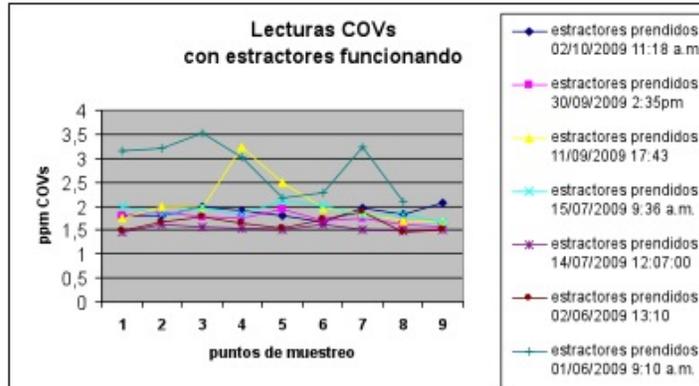
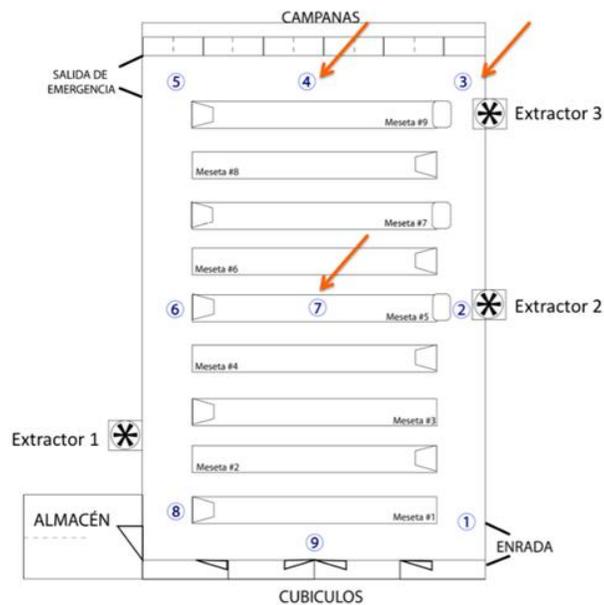


Figura 6

Acumulación de COV en los puntos 3 y 4 aun con extractores funcionando



## BIBLIOGRAFÍA

1. Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México (PROAIRE). 1995-2000. México DF: Departamento del Distrito Federal, Gobierno del Estado de México, Secretaría de Recursos Naturales y Pesca y Secretaría de Salud; 1995.
2. US Environmental Protection Agency. EPA/600-R-98/161. Technical Assistance Document for sampling and analysis of ozone precursors. North Carolina: National Exposure Research Laboratory. Human Exposure and Atmospheric Sciences Division. Research Triangle Park, NC 27711; 1998.
3. Informe técnico de monitoreo y evaluación de las concentraciones de compuestos orgánicos volátiles en la zona metropolitana de la ciudad de México [Internet]. [Citado 11 Oct 2009]. Disponible en: [http://www.sma.df.gob.mx/sma/links/.../informe\\_tecnico\\_covs.pdf](http://www.sma.df.gob.mx/sma/links/.../informe_tecnico_covs.pdf).
4. Organización Mundial de la Salud. Air quality guidelines for Europe. 2<sup>nd</sup> ed. Copenhagen: World Health Organization [Internet]. [Citado 12 Jun 2006]. Disponible en: <http://ecfr.gpoaccess.gov/cgi/t/text/text-idx?c=ecfr&sid=9306b533360b328f306490fec7583b47&rgn=div8&view=text&node=40:2.0.1.1.2.3.8.1&idno=40>.
5. Colin B. Química ambiental. Notario; Editorial Reverté, SA; 2001.
6. Kershaw Y. VOC legislation on the threshold of change. European Coat Journal. 1998 [Internet]. [Citado 12 Jun 2006]. Disponible en: <http://www.inpralatina.com/20091013116/articulos/pinturas-y-recubrimientos/compuestos-organicos-volatiles.html>.
7. Seinfeld J. Contaminación atmosférica: fundamentos físicos y químicos. Madrid: Instituto de Administración Local; 1987.
8. Environmental Protection Agency (EPA) [Internet]. [Citado 14 Oct 2009]. Disponible en: <http://www.epa.gov>.
9. Instituto Nacional de Ecología [Internet]. [Citado 9 Oct 2009]. Disponible en: <http://www.ine.gob.mx/index.php>.
10. Sánchez G, Vega E, Reyes E. Ciencia y desarrollo. Revista CONACYT. Mayo-Junio 2004 [Internet]. [Citado 31 Oct 2009]. Disponible en: <http://www.conacyt.mx/comunicacion/revista/177/articulos/pdf/COV.pdf>.
11. Caselli M. La contaminación atmosférica. Causas y fuentes. Efectos sobre el clima, la vegetación y los animales. 6<sup>a</sup> ed. México: Editorial Siglo XXI, Editores SA de CV. ISBN -968-23-1800-9; 2000.
12. Rey FJ, Velazco J. Calidad de ambientes interiores. 1<sup>a</sup> ed (español). Madrid. ISBN 9788497325400; 2007. p. 329.
13. Carrier Air Conditioning Company. Manual de aire acondicionado. Versión española. Barcelona: Marcombo Boixareu Editores; 1991.
14. American Conference Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) [Internet]. [Citado 31 Oct 2009]. Disponible en: <http://www.acgih.org/>.
15. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) [Internet]. [Citado 31 Oct 2009]. Disponible en: <http://www.cdc.gov/Spanish/niosh/>.
16. Occupational Safety and Health Administration (OSHA) [Internet]. [Citado 31 Oct 2009]. Disponible en: <http://www.osha.gov/as/opa/spanish/index.html>.

---

**Recibido:** 12 de noviembre de 2009

**Aprobado:** 27 de marzo de 2011