

DIFERENTES METODOLOGÍAS PARA LA EVALUACIÓN DE RIESGOS ORIGINADOS POR COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES (VOCs) EN AMBIENTES LABORALES

Métodos comparados

Este estudio examina dos diferentes metodologías de toma de muestras y análisis para cuantificar la presencia de compuestos orgánicos volátiles (VOCs) en ambientes laborales, con objeto de determinar los riesgos que afrontan cuatro categorías de trabajadores (pintores, barnizadores de muebles, pintores de coches y empleados de gasolineras) expuestos a agentes químicos tóxicos, cancerígenos o mutágenos. El estudio arroja interesantes conclusiones para mejorar las actividades preventivas en este tipo de tareas.



Por **JAVIER CARO HIDALGO**¹, **MERCEDES GALLEGO FERNÁNDEZ**², **ROSA MONTERO SIMO**³. ¹ Licenciado en Ciencias Químicas. Departamento de Química Analítica, Universidad de Córdoba. ² Catedrática del Departamento de Química Analítica, Universidad de Córdoba. ³ Doctora en Ciencias Químicas. Directora del Centro de Prevención de Riesgos Laborales de Córdoba, Consejería de Empleo, Junta de Andalucía. rosam.montero@juntadeandalucia.es

Los riesgos para la seguridad y la salud de los trabajadores debidos a la presencia de agentes cancerígenos o mutágenos en los lugares de trabajo son objetivo prioritario de la Prevención de Riesgos Laborales, teniendo en cuenta las consecuencias de los mismos. Así, el Real Decreto 665/1997 y sus dos modificaciones posteriores (R.D. 1124/2000 y R.D. 349/2003) regulan la exposición de los trabajadores a estos agentes cancerígenos y mutágenos en el trabajo, a la vez que derogan anteriores disposiciones (benceno y cloruro de vinilo), fijando nuevos valores límite de exposición para ambos compuestos. En este sentido, tanto la Autoridad Laboral española, a través del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo del Ministerio de Trabajo e Inmigración (INSHT), como en otros países a través de sus órganos técnicos tienen establecidos los límites de exposición profesional a agentes químicos [1,2].

Entre los agentes químicos tóxicos, cancerígenos o mutágenos presentes en el ambiente de trabajo que causan daños a la salud de los trabajadores ocupan un lugar importante los compuestos orgánicos volátiles (VOCs). Los VOCs se definen, de acuerdo a la Organización Mundial de la Salud, como el grupo de compuestos orgánicos con puntos de ebullición entre 50 y 250 °C [3]. En un concepto más amplio, los VOCs no sólo incluyen miles de compuestos químicos que son tóxicos para la salud, sino también sustancias precursoras de oxidantes fotoquímicos responsables del *smog*, que contribuyen al efecto invernadero y/o a la degrada-

ción de la capa de ozono atmosférico. Estas sustancias se usan extensamente en la industria como materias primas: síntesis de plaguicidas; síntesis de polímeros sintéticos como plásticos y cauchos; síntesis de productos farmacéuticos o químicos; elaboración de lacas, pinturas, barnices, resinas y adhesivos, etc. Estos compuestos, entre otros, son responsables de lo que se ha dado en llamar síndrome del edificio enfermo [4] y pueden haber sido generados por más de un centenar de productos, tales como: artículos de aseo, material de oficina, fluidos de lavado en seco, combustibles, muebles tratados con productos químicos, desinfectantes, etc. Pueden ser contaminantes presentes en la atmósfera que penetran en los edificios, provenientes del ambiente exterior contaminado (tráfico, gasolineras, etc.).

Estas sustancias están presentes en una gran mayoría de ambientes de trabajo a concentraciones que rondan pocas ppm. Los valores límite biológicos (VLB) de los VOCs más comunes, así como su catalogación como cancerígeno de categoría 1 o 2 (C1, C2), están recogidos en el documento «Límites de exposición profesional para agentes químicos en España», 2008 [2]. Además, de acuerdo a la Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer (IARC, 1971-2007), existen suficientes evidencias en los estudios experimentales realizados sobre animales y hombres para creer que algunos VOCs causan efectos mutágenos y carcinogénicos sobre los seres humanos. Actualmente se estima que entre el 60% y el 90% de los cánceres humanos pueden ser originados por factores ambientales, fundamentalmente debidos a carcinógenos químicos. Re-

cientemente se ha publicado un artículo en la revista *Seguridad y Salud en el Trabajo* [5] en el que se recoge el estado actual del control de VOCs en el ambiente laboral, así como la evaluación de la exposición de trabajadores a estos compuestos; entre otros aspectos se comentan también las técnicas (destructivas y no destructivas) de eliminación de estos compuestos [6].

La mayoría de los efectos dañinos para la salud causados por los VOCs se conocen desde hace tiempo y se han estudiado en profundidad entre los trabajadores sometidos a este riesgo, como son los pintores de coches [7], de edificios [8], barnizadores de muebles o trabajadores de estaciones de servicio; los disolventes orgánicos pueden causar trastornos temporales como euforia, dolor de cabeza o vértigo cuando se encuentran a concentraciones bajas o moderadas en el aire ambiental, mientras que a mayores concentraciones pueden causar inconsciencia y fallos en el sistema respiratorio y cardiovascular o incluso la muerte [7]. La exposición prolongada a algunos disolventes orgánicos puede originar daños en el sistema nervioso central tales como alteraciones emocionales o cognitivas, así como encefalopatías crónicas [9] y efectos tóxicos en el hígado, riñón y piel [10].

La exposición en el ambiente laboral a mezclas de VOCs ha sido evaluada en muchas actividades profesionales, tales como pintores, barnizadores, pulidores, zapateros, lavaderos, limpiadores, etc. [11-13]. Varios de estos estudios se han orientado a pintores de coches, ya que estos trabajadores están sometidos a una prolongada exposición a niveles relati-

vamente elevados de mezclas de una gran variedad de disolventes orgánicos [14]. Afortunadamente, en los últimos 10-15 años, la exposición a VOCs de estos trabajadores se ha reducido debido a una normativa más estricta que implica la obligatoriedad de aplicar medidas de protección colectiva y/o utilizar equipos de protección individuales en el lugar de trabajo, y a la sustitución o reducción de los disolventes más tóxicos en estos productos. Así, actualmente se emplean pinturas al agua que han reducido drásticamente la exposición a disolventes orgánicos en pintores de coches [15].

Desde el punto de vista de salud laboral, el tema es tan importante que recientemente se han evaluado los efectos agudos durante la exposición controlada a algunos compuestos orgánicos vo-

Actualmente se estima que entre el 60% y el 90% de los cánceres humanos pueden ser originados por factores ambientales, fundamentalmente debidos a carcinógenos químicos



látiles emitidos incluso por pinturas al agua [16]. En este estudio se ha seleccionado mezcla de éteres glicólicos y amoníaco; los resultados no muestran diferencias significativas en tres grupos de voluntarios: atópicos, no atópicos y pintores. En otros estudios se han encontrado alteraciones psicológicas como pérdidas de concentración y memoria, y elevados tiempos de reacción entre los pintores de vehículos con una elevada exposición a disolventes orgánicos cuando son comparados con individuos que no han estado expuestos a estos compuestos [17].

La exposición a VOCs de los trabajadores de las estaciones de servicio también ha sido estudiada por varios investigadores. A modo de resumen, cabe destacar las altas concentraciones de benceno, tolueno y xilenos encontradas en el aire

ambiental de dichas estaciones mientras se produce el reabastecimiento de combustible en las mismas [18], y que existe una alta correlación entre las concentraciones de estos compuestos en el aire ambiental y en el aire exhalado de los trabajadores de la estación de servicio. En este contexto, los hidrocarburos aromáticos requieren una atención especial dada sus propiedades mutagénicas y carcinogénicas bien establecidas. La exposición a benceno y derivados es particularmente relevante en las refinerías de petróleo tanto por inhalación como por el contacto

dérmico con el fuel, con los productos intermedios (durante su refinado) y con los productos finales como la gasolina. Recientemente se ha realizado un estudio en trabajadores de una refinería con el objetivo de determinar cómo afecta la exposición a benceno, tolueno y xilenos mediante la obtención de orina (índice biológico) y sangre periférica (test de genotoxicidad) [19]. El análisis de orina demuestra que los niveles de metabolitos en los individuos expuestos está por debajo del límite biológico y parece ser que los valores más elevados se asocian al consumo de tabaco; en el ensayo del cometa (test de genotoxicidad) se han puesto de manifiesto los efectos genotóxicos (daño por el ADN y posible riesgo de incidencia de cáncer) ocasionados por la exposición a estos compuestos.

Por todo lo expuesto, en este trabajo se pretendió comparar los métodos de toma de muestra y análisis, evaluando los niveles de exposición a los que se hallaban sometidos los trabajadores que están en contacto con VOCs tales como pintores de edificios, barnizadores de muebles, pintores de coches y trabajadores de estaciones de servicio.

Para ello se tomaron como muestras el aire ambiental y el aire alveolar de los trabajadores, que es más fiable que el aire exhalado porque es el que está en contacto con la sangre. Las muestras de aire alveolar de los trabajadores se tomaron antes (como blanco) y después de los turnos de trabajo para evaluar la contaminación real por VOCs de los trabajadores durante el mismo. Para ello se emplearon dispositivos de manifiesta validez en la toma de muestra de aire alveolar como son los muestreadores Bio-VOC. Además, se

Entre los agentes químicos tóxicos, cancerígenos o mutágenos presentes en el ambiente de trabajo que causan daños a la salud de los trabajadores ocupan un lugar importante los compuestos orgánicos volátiles (VOCs)



Latinstock

recogieron simultáneamente muestras de aire ambiental en los lugares de trabajo para probar la eficacia de las medidas de protección colectiva y de los equipos de protección individuales, así como para estudiar posibles correlaciones entre muestras biológicas y ambientales.

Población estudiada

El grupo ocupacional expuesto consistió en 24 voluntarios de cada una de las siguientes actividades profesionales: pintores de edificios, barnizadores de muebles, pintores de coches y trabajadores de estaciones de servicio. Todos

los voluntarios que han participado en el estudio son adultos y sanos. Los 6 pintores de edificios fueron hombres con edades comprendidas entre 30 y 55 años y pasaron una media de 4 h pintando sin utilizar equipos de protección individual ni colectiva. Los barnizadores fueron 4 hombres y 2 mujeres de entre 22 y 49 años que trabajan en fábricas de muebles donde barnizan distintas piezas de éstos durante 4 h al día en una campana extractora sin emplear mascarillas de protección individual. Los pintores de coches fueron 6 hombres con edades comprendidas entre 19 y 51 años que trabajan en

distintos talleres mecánicos de reparación de vehículos donde pasan unas 3 h al día pintando distintas partes de la carrocería de los coches reparados en una cabina extractora y empleando ropa y una mascarilla homologada protectora. Por último, también participaron en la realización del presente estudio 6 trabajadores de una estación de servicio (la mitad de ellos mujeres) con edades entre 21 y 43 años que trabajan durante 8 h al día atendiendo a los conductores y llevando a cabo el reabastecimiento de los coches sin emplear ningún tipo de protección. Todos los participantes en el estudio firmaron un informe de consentimiento y se registraron los datos personales y los hábitos (consumo de alcohol y de tabaco). Este estudio fue realizado mediante diferentes sesiones de muestreo entre enero y agosto de 2008.

Método de toma de muestras

El muestreo del aire ambiental en los diferentes ambientes laborales objeto de estudio y del aire alveolar de los trabajadores se realizó de manera simultánea con el objetivo de establecer la posible correlación entre la concentración de VOCs encontrada.

La primera etapa para la determinación de los VOCs presentes en el aire ambiental de los distintos lugares de trabajo estudiados se llevó a cabo transfiriendo los compuestos desde el aire a un determinado soporte por medio de un equipo de captación adecuado. Para ello se empleó un método de captación activa (bomba de muestreo personal) sobre un adsorbente sólido, contenido en tubos de acero inoxidable específicos (6,4 mm D.E. x 90 mm de longitud, 5 mm D.I.) para la unidad de desorción térmica (Unity, Markes Internacional). Cada tubo contiene 200 mg del material adsorbente y se conecta a la bomba en el momento de llevar a cabo el muestreo. Aunque el método para la toma de muestra de aire



Latinstock

MTA/MA-032/A98, aceptado por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (Ministerio de Trabajo e Inmigración), utiliza tubos rellenos de carbón activo como adsorbente, este material se descartó en nuestro método después de un amplio estudio en el que se evaluaron además otros tipos de materiales sorbentes como Tenax TA, Chromosorb 102 y Carbosieve SIII. De todos ellos es el Tenax TA el material adsorbente seleccionado porque alcanzó un mayor volumen de ruptura, capacidad de adsorción y recuperaciones próximas al 100% para la mayoría de los 26 VOCs objeto de estudio. La bomba de muestreo (Sidekick SKC) fue calibrada a 100 ml/min con un rotámetro antes de cada toma de muestra y calibrada de nuevo al concluir la misma para comprobar que el flujo permanecía constante durante el muestreo. La toma de muestra de los VOCs se realizó pasando 1 l de aire ambiental a través de los tubos rellenos de material adsorbente durante un periodo de 10 min. Previamente los tubos rellenos de Tenax TA se acondicionaron mediante el paso de una corriente de nitrógeno en caliente. Para llevar a cabo la toma de muestra, el dispositivo empleado (bomba y tubo adsorbente) se situó cerca de la zona respiratoria del individuo, sin provocar ningún tipo de inconveniente al mismo, y llevado por éste durante el muestreo (a excepción de los pintores de coches en cabina, en los que se situó en un lateral próximo al trabajador). Una vez tomada cada muestra, los tubos se sellaron inmediatamente, se transportaron al laboratorio y se conservaron en frigorífico hasta el momento del análisis, que no excedió de una semana en ninguno de los casos. Durante cada sesión de muestreo se recogieron 3 muestras de aire ambiental.

En relación a la monitorización biológica, aunque es evidente que la medida analítica en sangre es el indicador usual para compuestos orgánicos e inorgáni-

El control de la exposición a agentes químicos a través del análisis del aire alveolar de los trabajadores expuestos puede ser una herramienta esencial, como complemento al control ambiental, para evaluar y prevenir los efectos de dicha exposición

cos en general, debido a que es el indicador biológico más claro de la exposición a un determinado compuesto, su extracción es invasiva, requiere de personal especializado y, en definitiva, no es popular. Como contrapartida se pueden emplear métodos no invasivos como el análisis en muestras de orina [20] o en el aire alveolar del trabajador [21], debido a que la concentración de los compuestos orgánicos volátiles en sangre está directamente relacionada con la presencia en el aire interior de los pulmones. Actualmente se comercializan dispositivos de muestreo para estos controles (Bio-VOCTM sampler, Markes International Ltd.), de tal forma que la monitorización biológica es no invasiva y simple. Con este dispositivo, la toma de muestra se simplifica considerablemente al no requerir personal especializado. Las muestras de aire alveolar de los distintos trabajadores objeto de estudio se tomaron utilizando los citados muestreadores Bio-VOC, que constan de un recipiente cilíndrico de polietileno, con un volumen de 100 ml, provisto de una abertura en un extremo donde se acopla una boquilla y de otra pequeña abertura en el otro extremo por donde sale el aire. En el momento del muestreo cada trabajador, respirando de forma normal, exhala el aire soplando a través de

la boquilla hasta que vacía completamente los pulmones. A medida que el aire entra en el recipiente va saliendo por el otro extremo, ya que la capacidad pulmonar de una persona respirando normalmente suele ser de unos 500 ml y, de esta forma, sólo los últimos 100 ml de aire quedan contenidos en el muestreador (recipiente de 100 ml), que se corresponden con el aire de los alvéolos pulmonares donde se da el equilibrio citado anteriormente entre la concentración de compuestos volátiles en sangre y aire alveolar. Una vez finalizado, se sustituye la boquilla del Bio-VOC por un émbolo y se acopla por el otro extremo a un tubo adsorbente relleno de Tenax TA (igual que los utilizados para el aire ambiental). Mediante el émbolo se impulsa el aire contenido en el recipiente (100 ml) hacia el tubo, con lo cual los VOCs contenidos en la muestra quedan retenidos en el material adsorbente. Cuando se ha vaciado el muestreador, se quita el tubo y se sella inmediatamente. Siguiendo este protocolo, el muestreo del aire alveolar de los trabajadores se llevó a cabo antes y después de la jornada laboral. Las muestras de aire alveolar se tomaron en una zona libre de exposición a VOCs, fuera del lugar de trabajo, para evitar el posible riesgo de contaminación de las mismas. A continuación, los tubos se transportaron al laboratorio en neveras portátiles y se conservaron en frigorífico hasta su análisis, que tampoco excedió de una semana.

Determinación de VOCs en aire ambiental y alveolar

El MTA/MA-032/A98, como método aceptado y aplicado por el laboratorio del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (Ministerio de Trabajo e Inmigración) para la determinación de VOCs, es un método de captación activa sobre un adsorbente sólido, carbón activo, basado en la desorción

de los mismos con sulfuro de carbono como disolvente, y su posterior inyección en un cromatógrafo de gases equipado con un detector de ionización de llama. Sin embargo, este tipo de desorción presenta algunas limitaciones, ya que no se puede aplicar a todos los VOCs dado que algunos son más volátiles que el sulfuro de carbono y el llamado «efecto *solvent delay*» del disolvente impide la determinación de los mismos. Esta metodología presenta además otras limitaciones, como son las derivadas de las interferencias procedentes de otros compuestos orgánicos que presenten tiempos de retención similares a los que se desea determinar, debido a la escasa selectividad del detector cromatográfico empleado: detector de ionización de llama. Algunas de estas limitaciones que presenta el método oficial se pueden obviar haciendo uso de alternativas más actuales como es la desorción térmica, con preconcentración en trampa fría (para detectar VOCs a muy bajas concentraciones) y la detección por espectrometría de masas, propuesta por prestigiosos organismos internacionales como el Comité Europeo de Normalización (CEN) [22] o la Agencia de Protección Medioambiental estadounidense (EPA) [23]. Por lo tanto, siguiendo estas recomendaciones, la determinación de VOCs en el presente trabajo se llevó a cabo mediante una unidad de desorción térmica (Markes Internacional Ltd.) acoplada a un cromatógrafo de gases 6890 (Agilent Technologies) equipado con un espectrómetro de masas 5973 como detector. El programa de temperaturas seleccionado permitió la separación de los 26 VOCs y el empleo del espectrómetro de masas la identificación inequívoca de cada uno de ellos. Los límites de detección obtenidos por este método para un volumen de muestra de 1 l fueron similares para todos los VOCs objeto de estudio y oscilaron entre 0,03 y 0,20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,

El muestreo del aire ambiental en los diferentes ambientes laborales objeto de estudio y del aire alveolar de los trabajadores se realizó de manera simultánea con el objetivo de establecer la posible correlación entre la concentración de VOCs encontrada

mientras que la precisión del mismo expresada como desviación estándar relativa varía entre 3 y 10%.

El método oficial MTA/MA-032/A98 —«Calidad del aire. Atmosferas en el lugar de trabajo. Determinación de vapores orgánicos en aire. Método del tubo de carbón activo/desorción con disolvente/cromatografía de gases con detector de ionización de llama»— se aplicó en el laboratorio de Madrid del INSHT para el análisis de las muestras de aire ambiental (sólo para seis barnizadores y dos pintores de coches), tomadas por el personal técnico del Centro de Prevención de Riesgos Laborales de la Consejería de Empleo de la Junta de Andalucía en Córdoba, en régimen dinámico en la zona respiratoria del trabajador, mediante tubos de carbón activo. Paralelamente, nosotros tomamos las muestras, en régimen dinámico próximo a la zona respiratoria del trabajador, en tubos de Tenax TA.

Se señalan a continuación las indicaciones enviadas por el laboratorio. Método de análisis empleado: análisis de rutina de tubos de carbón activo desorbidos con sulfuro de carbono por cromatografía de gases, EAM 301.1.B/94. El laboratorio participa regularmente en los siguientes programas de control de calidad en la determinación de vapores orgánicos en carbón activo: PICC-VO y WASP. Los resultados se expresan en $\text{mg}/\text{muestra}$ con una incertidumbre estimada del 10%; los límites de detección oscilan entre 0.01 y 0.02 (acetato de metilo y de etilo, metil i-butil cetona, tolueno, acetato de isobutilo y de n-butilo, xilenos y etilbenceno) $\text{mg}/\text{muestra}$.

Exposición a VOCs en pintores (interior y exterior de edificios)

La exposición a VOCs en varios pintores de edificios se evaluó analizando el aire ambiental en la zona respiratoria de los trabajadores así como en el aire alveolar de los mismos. Teniendo en cuenta los efectos biológicos de la exposición, el estudio se ha completado mediante la monitorización de un indicador biológico como el aire alveolar de los trabajadores expuestos.

La Tabla 1 muestra las concentraciones de VOCs encontradas en el aire alveolar de los pintores y en el aire ambiental del lugar de trabajo. Como se puede apreciar, en dicha tabla se han detectado 18 compuestos en el aire ambiental en una mayor o menor concentración, los cuales también se encontraron en el aire alveolar de los trabajadores después de una jornada de trabajo de 4 h. En la toma de muestra de aire alveolar realizada antes del inicio de la jornada laboral no aparecieron la mayoría de estos VOCs, por lo que estos datos no se han incluido en dicha tabla. Solamente se encontró benceno a niveles entre 15 y 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en las muestras de aire alveolar de los trabajadores 3, 4 y 6 (fumadores) tomadas antes de la exposición (8 de la mañana), siendo estas concentraciones las habitualmente presentes en el aire alveolar de personas fumadoras. Esto se corrobora porque el benceno no se encontró en ninguna muestra de aire ambiental durante los días de estudio, luego los niveles de este compuesto en el aire alveolar de dichos trabajadores sólo pueden asignarse al consumo de tabaco. En algunos trabajadores también se en-

contraron cantidades bajas de tolueno, etilbenceno y mezclas de xilenos al inicio de la jornada, lo que se asocia a la contaminación de días anteriores, ya que estos disolventes sí se encuentran a elevadas concentraciones en el aire ambiental.

Los niveles de concentración encontrados para cada contaminante en las muestras de aire ambiental variaron en función de donde se realizó la toma de muestra. Así, los trabajadores 1 y 2 se expusieron a las concentraciones de VOCs más altas mientras que los trabajadores 3 y 6 lo hicieron a las más bajas. Estas diferencias en las concentraciones de VOCs encontradas en aire ambiental se deben al tipo de producto empleado por el trabajador (pinturas, barnices, lacas, etc.) durante la toma de muestra, así como a la mayor o menor ventilación del lugar de trabajo. Los compuestos que apare-

cieron a mayores concentraciones en el aire ambiental fueron tolueno con niveles de concentración entre 147 y 8000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mezcla de xilenos con niveles entre 225 y 12687 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 1,2,4-trimetilbenceno con valores entre 127 y 7277 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Por otro lado, compuestos como tricloroetileno, tetracloroetileno y naftaleno, cuyos valores máximos fueron de 138, 146 y 28 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente, sólo se encontraron en el aire ambiental de los trabajadores 1, 2 y 4, y fueron los compuestos que aparecieron a una menor concentración en las muestras de aire ambiental. Como es lógico, los compuestos que se encontraron a mayor concentración en el aire ambiental son los que aparecen también a mayores concentraciones en el aire alveolar de los trabajadores. Se observan dos grandes grupos de compuestos: aquellos en los que la pro-

porción aire alveolar/aire ambiental oscila entre 16-20%, que son los menos absorbidos por los trabajadores (2-butanona, acetato de etilo, acetato de isopropilo, isobutil metil cetona, acetato de isobutilo, acetato de n-butilo, acetato de 1-metoxi-2-propilo, etilbenceno, propilbenceno, estireno y naftaleno); y aquellos (tolueno, mezcla de xilenos, tetracloroetileno, 1,3,5-trimetilbenceno y 1,2,4-trimetilbenceno) cuya relación se incrementa a 45-66%, siendo por lo tanto los derivados del benceno los compuestos que se absorben en mayor proporción. Se puede concluir que la contaminación por los 18 VOCs en los individuos objeto de estudio tuvo lugar durante su jornada de trabajo a excepción del benceno, que se asocia a hábitos de tabaco. Estos pintores realizan su trabajo sin ningún tipo de protección individual ni colectiva, por lo que a

Tabla 1. Concentraciones encontradas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en el ambiente laboral y aire alveolar de 6 pintores de edificios después de 4 horas de trabajo

	Trabajador 1		Trabajador 2		Trabajador 3		Trabajador 4		Trabajador 5		Trabajador 6		Media \pm desviación estándar	
	Aire ambiental	Aire alveolar	Aire ambiental	Aire alveolar	Aire ambiental	Aire alveolar	Aire ambiental	Aire alveolar	Aire ambiental	Aire alveolar	Aire ambiental	Aire alveolar	Aire ambiental	Aire alveolar
2-Butanona	245	40	190	30	12	0	57	10	21	2	4	0	88 \pm 103	14 \pm 17
Acetato de etilo	4392	711	3566	590	229	53	1173	194	401	72	67	12	1638 \pm 1817	272 \pm 302
Acetato de isopropilo	296	62	235	51	26	2	94	15	58	8	7	0	119 \pm 119	23 \pm 27
Isobutil metil cetona	2654	450	2290	405	189	35	864	162	270	55	62	15	1055 \pm 1138	187 \pm 194
Acetato de isobutilo	302	57	276	48	33	4	115	22	83	16	11	0	134 \pm 124	24 \pm 23
Acetato de n-butilo	3271	533	2931	502	210	51	1023	181	348	66	59	9	1307 \pm 1432	224 \pm 235
Acetato de 1-metoxi-2-propilo	554	100	514	91	65	5	244	49	157	31	23	2	259 \pm 226	46 \pm 42
Benceno	0	0	0	0	0	20	0	18	0	0	0	22	—	—
Tricloroetileno	138	84	90	67	0	0	17	8	0	0	0	0	41 \pm 59	26 \pm 38
Tolueno	8001	5920	6509	4034	439	248	2201	1356	745	414	147	88	3007 \pm 3398	2010 \pm 2415
(m+p)-Xileno	4621	2113	3783	1705	274	120	1312	616	458	217	73	31	1753 \pm 1961	800 \pm 891
o-Xileno	8066	4630	7974	2874	342	216	4325	1210	738	350	152	30	3599 \pm 3749	1552 \pm 1838
Etilbenceno	2760	437	1817	428	172	64	792	137	248	51	49	10	976 \pm 1092	188 \pm 194
Propilbenceno	1539	360	1309	275	108	23	520	113	171	36	32	7	613 \pm 654	114 \pm 148
Tetracloroetileno	146	75	89	46	0	0	24	11	0	0	0	0	43 \pm 61	22 \pm 31
Estireno	246	45	204	33	15	0	63	13	22	3	5	0	92 \pm 105	16 \pm 19
1,3,5-Trimetilbenceno	4519	1920	3488	1540	247	135	1226	656	403	201	65	35	1658 \pm 1888	748 \pm 799
1,2,4-Trimetilbenceno	7277	2611	5941	2147	391	144	1927	709	628	232	127	46	2175 \pm 3108	981 \pm 1116
Naftaleno	28	5	23	5	0	0	10	0	0	0	0	0	10 \pm 13	1.7 \pm 2.6



Latinstock

la vista de los resultados se hace necesaria una adecuada ventilación localizada durante el trabajo y la utilización de algún tipo de protección de las vías respiratorias para vapores orgánicos.

Exposición a VOCs en barnizadores de muebles

Se ha evaluado la exposición a VOCs en 6 barnizadores (4 hombres y 2 mujeres). La Tabla 2 muestra las concentraciones de los VOCs en el aire ambiental recogido en el lugar de trabajo durante varias sesiones de muestreo, así como los niveles de VOCs encontrados en el aire alveolar de los trabajadores después de una jornada laboral de 4 h. Se ha de indicar que estos barnizadores realizan su trabajo en habitaciones provistas de una campana extractora.

Se han detectado hasta 17 compuestos orgánicos volátiles en el aire ambiental tomado en la zona respiratoria del individuo objeto de estudio, que también aparecieron en el aire alveolar de los trabajadores. Los compuestos encontrados en el aire ambiental fueron similares a los del caso anterior, a excepción de tricloroetileno, tetracloroetileno y naftaleno, que no aparecen, y sí aparecen por primera vez acetato de 2-etoxietilo y metil ter-butil éter. Los compuestos que apa-

recen a mayores concentraciones en el aire ambiental de estas fábricas son acetato de n-butilo, tolueno y mezcla de xilenos, con niveles de concentración entre 1193 y 51112 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 1503 y 23799 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y entre 1365 y 40514 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente. Por otra parte, acetato de isopropilo, acetato de 2-etoxietilo, propilbenceno, estireno y 1,3,5-trimetilbenceno aparecen sólo en algunos casos y a concentraciones medias de 88, 35, 51, 21 y 82 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente.

Referente al indicador biológico a tenor de la Tabla 2, se puede concluir que:

1. Los valores más altos en el aire alveolar los presentan aquellos compuestos que también aparecen a concentraciones elevadas en el aire ambiental: acetato de n-butilo, tolueno y mezcla de xilenos, además de acetato de etilo.
2. Existen dos trabajadores (9 y 12) que aunque trabajan en la misma fábrica y emplean los mismos barnices presentan concentraciones dispares en el aire ambiental y alveolar debido a que las muestras fueron tomadas en distintos días. Esto es indicativo de que a pesar de emplear campanas extractoras en la fábrica, no son lo suficientemente eficaces como para eliminar los disolventes y mantener una atmósfera homogénea, estando el ambiente muy contaminado.
3. La presencia de benceno en estos trabajadores es muy baja (media en aire alveolar 13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) y se puede asociar fundamentalmente al hábito del tabaco (trabajadores 9 y 11) y en me-

Se han comparado métodos de toma de muestras y análisis, evaluando los niveles de exposición a VOCs a los que se hallan sometidos pintores de edificios, barnizadores de muebles, pintores de coches y trabajadores de estaciones de servicio

nor proporción a la contaminación ambiental, ya que hay tres individuos (8, 10 y 12) no fumadores que aunque presentan ligeras concentraciones de benceno, se corresponde con el 30% de la ambiental, siendo mucho menor que en los anteriores.

De nuevo se observan, como en los pintores de edificios, dos grandes grupos de compuestos: aquellos en los que la proporción aire alveolar/aire ambiental oscila entre 16-20%, que son los menos absorbidos por los trabajadores (2-butanona, acetato de etilo, acetato de isopropilo, isobutil metil cetona, acetato de isobutilo, acetato de n-butilo, acetato de 1-metoxi-2-propilo, acetato de 2-etoxietilo, metil ter-butil éter, etilbenceno, propilbenceno y estireno); y aquellos (tolueno, mezcla de xilenos, 1,3,5-trimetilbenceno y 1,2,4-trimetilbenceno) cuya relación se incre-

menta al 37-56%, siendo de nuevo los derivados del benceno los compuestos que se absorben en mayor proporción.

Se puede concluir que, aunque los trabajadores de la sección de barnizado de las fábricas de muebles desarrollan su labor en campanas de extracción, su eficacia es muy baja, ya que las concentraciones encontradas en el aire ambiental, y por tanto en el alveolar, son muy elevadas. Considerando que estos trabajadores no emplean ningún tipo de equipos protectores individuales (mascarillas), inhalan los disolventes que están manipulando a una distancia muy corta del sistema respiratorio. Sería aconsejable la inclusión de campanas extractoras de mayor potencia como las cabinas de pinturas de coches y el empleo de mascarillas personales estandarizadas para vapores orgánicos y guantes.

Exposición a VOCs en pintores de coches

El mismo tipo de estudio se realizó con 6 pintores de coches que trabajan en talleres mecánicos de reparación. Las concentraciones de VOCs (hasta 19 compuestos) encontradas en el aire alveolar de estos trabajadores después de un turno de trabajo de 3 h (máximo en cabinas extractoras), así como las encontradas en el aire ambiental tomado en la zona respiratoria, se muestran en la Tabla 3. Los compuestos encontrados en el aire ambiental fueron similares a los del caso anterior, incluyendo además tricloroetileno y naftaleno. Es importante resaltar que los trabajadores 14, 17 y 18 son fumadores habituales, como se aprecia por las concentraciones de benceno encontradas en sus muestras de aire alveolar, ya que en los demás trabajadores no se en-

Tabla 2. Concentraciones encontradas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en el ambiente laboral y aire alveolar de 6 barnizadores después de 4 horas de trabajo

	Trabajador 7		Trabajador 8		Trabajador 9		Trabajador 10		Trabajador 11		Trabajador 12		Media \pm desviación estándar	
	Aire ambiental	Aire alveolar	Aire ambiental	Aire alveolar	Aire ambiental	Aire alveolar	Aire ambiental	Aire alveolar	Aire ambiental	Aire alveolar	Aire ambiental	Aire alveolar	Aire ambiental	Aire alveolar
2-Butanona	10	0	2024	340	206	37	1244	199	839	132	112	18	739 \pm 790	121 \pm 132
Acetato de etilo	1972	335	1143	186	8891	1517	511	88	481	79	24245	4209	6207 \pm 9396	1069 \pm 1632
Acetato de isopropilo	3	0	20	4	279	56	7	0	8	1	211	43	88 \pm 124	17 \pm 25
Isobutil metil cetona	2	0	118	21	301	54	15	3	20	3	561	97	169 \pm 222	30 \pm 39
Acetato de isobutilo	117	23	8	1	2711	530	5	0	5	0	4265	832	1185 \pm 1851	231 \pm 362
Acetato de n-butilo	1193	189	2112	347	32300	5195	1221	205	1996	330	51112	8043	14989 \pm 21536	2385 \pm 3402
Acetato de 1-metoxi-2-propilo	100	18	946	152	110	20	311	61	731	128	85	17	381 \pm 371	66 \pm 60
Acetato de 2-etoxietilo	66	14	0	0	98	20	0	0	0	0	45	9	35 \pm 42	7.2 \pm 8.6
Metil ter-butil éter	628	133	16	2	956	205	1	0	197	42	926	199	454 \pm 440	97 \pm 95
Benceno	0	0	15	4	28	25	17	6	18	22	63	19	23 \pm 21	13 \pm 11
Tolueno	1840	1003	2257	1229	15257	7881	1503	823	1680	881	23799	12020	7723 \pm 9538	3973 \pm 4814
(m+p)-Xileno	136	61	2451	1136	11864	5026	577	260	1118	493	15330	6894	5246 \pm 6607	2312 \pm 2910
o-Xileno	1229	204	4799	2989	22296	8071	1294	859	2971	874	25184	11928	9629 \pm 11046	4154 \pm 4782
Etilbenceno	82	36	789	324	4540	912	151	29	363	127	5710	919	1939 \pm 2507	391 \pm 420
Propilbenceno	0	0	124	25	15	3	29	5	118	25	17	3	51 \pm 55	10 \pm 12
Estireno	13	0	40	8	0	0	32	5	39	7	0	0	21 \pm 19	3.3 \pm 3.8
1,3,5-Trimetilbenceno	1	0	187	71	26	10	76	30	170	67	30	12	82 \pm 79	32 \pm 30
1,2,4-Trimetilbenceno	4	0	988	364	81	32	343	128	904	341	90	35	402 \pm 438	150 \pm 163

Tabla 3. Concentraciones encontradas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en el ambiente laboral y aire alveolar de 6 pintores de coches después de 3 horas de trabajo

	Trabajador 13		Trabajador 14		Trabajador 15		Trabajador 16		Trabajador 17		Trabajador 18		Media \pm desviación estándar	
	Aire ambiental	Aire alveolar	Aire ambiental	Aire alveolar	Aire ambiental	Aire alveolar	Aire ambiental	Aire alveolar	Aire ambiental	Aire alveolar	Aire ambiental	Aire alveolar	Aire ambiental	Aire alveolar
2-Butanona	1402	253	358	41	272	33	1598	291	296	40	402	56	721 \pm 608	119 \pm 119
Acetato de etilo	4623	872	822	97	714	88	3398	569	620	65	546	63	1787 \pm 1768	292 \pm 346
Acetato de isopropilo	529	116	93	10	17	0	676	148	21	0	102	12	240 \pm 287	48 \pm 66
Isobutil metil cetona	7393	1398	2587	274	2340	251	7324	1501	1565	173	910	127	3687 \pm 2905	621 \pm 645
Acetato de isobutilo	312	64	58	7	7	0	431	88	10	0	72	9	148 \pm 179	28 \pm 38
Acetato de n-butilo	50371	7408	12236	1539	8536	1030	43986	6311	10431	1132	9027	983	22431 \pm 19318	3067 \pm 2964
Acetato de 1-metoxi-2-propilo	6217	1278	1369	171	513	72	5411	1092	731	90	1292	134	2589 \pm 2532	473 \pm 556
Acetato de 2-etoxietilo	6092	1423	1193	129	549	56	4976	1124	773	84	976	125	2427 \pm 2442	490 \pm 615
Metil ter-butil eter	1494	338	304	41	214	23	1616	380	257	28	353	42	706 \pm 660	142 \pm 169
Benceno	181	58	13	10	13	0	152	47	16	15	10	6	64 \pm 80	23 \pm 24
Tricloroetileno	19	7	0	0	0	0	8	2	0	0	0	0	5.3 \pm 7.5	1.5 \pm 2.8
Tolueno	48371	29840	8475	1026	6265	733	37208	20023	6692	790	8004	927	19169 \pm 18651	8890 \pm 12808
(m+p)-Xileno	14312	5695	3689	418	2600	321	12800	5179	3209	343	2978	284	6598 \pm 5422	2040 \pm 2637
o-Xileno	30460	12284	7962	841	4852	539	28096	11186	5999	604	7391	760	14127 \pm 11810	4369 \pm 5717
Etilbenceno	8024	1863	2381	245	628	77	9414	2074	663	78	1839	206	3825 \pm 3876	727 \pm 903
Propilbenceno	1301	277	409	51	166	18	1586	369	179	16	167	15	635 \pm 640	124 \pm 157
Estireno	909	164	140	17	13	1	719	131	10	0	259	24	342 \pm 382	56 \pm 72
1,3,5-Trimetilbenceno	7659	2892	944	116	74	11	6057	2340	86	12	671	82	2582 \pm 3368	909 \pm 1334
1,2,4-Trimetilbenceno	9210	3503	1176	123	412	48	8408	3096	457	61	593	65	3376 \pm 4225	1149 \pm 1671
Naftaleno	26	5	2	0	1	0	32	5	0	0	4	0	11 \pm 14	1.7 \pm 2.6

cuentra (ver trabajador 15) o está a mucha menor concentración que en el aire ambiental (trabajadores 13 y 16). Estos trabajadores se pueden dividir en dos grupos: los trabajadores 13 y 16, que realizan parte de su trabajo en un almacén de pinturas sin extractor donde, sin emplear ningún tipo de protección individual, mezclan las diferentes pinturas que posteriormente van a ser utilizadas en cabinas e incluso pintan en ese almacén pequeñas piezas de coches; y los restantes trabajadores, que realizan la mezcla de pinturas en almacenes con campanas extractoras y mascarillas o bien mezclan las pinturas en las propias cabinas de pinturas; obviamente, los primeros trabajadores son los más contaminados. Los resultados referentes al aire ambiental que aparecen en la Tabla 3 corresponden a los almacenes de mezclas de pinturas (trabajadores 13 y 16) y a las cabinas de pinturas para los restantes trabajadores por lo comentado anteriormente. Todos los

trabajadores realizan su trabajo en las cabinas de pintura empleando mascarillas de protección para vapores orgánicos, ropa y guantes de protección, por lo que la contaminación en este caso es mucho menor. Así, en el análisis del aire ambiental de estos almacenes (trabajadores 13 y 16) de mezclas de pinturas, se han obtenido las concentraciones medias más altas de acetato de n-butilo, tolueno y mezclas de xilenos, con 47179, 42790 y 42744 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente. Sin embargo, como se observa claramente en la Tabla 3, las concentraciones de VOCs encontradas en el aire ambiental recogido en el lugar usual de trabajo (cabinas de pinturas) para los trabajadores 14, 15, 17 y 18 fueron mucho más bajas que en los anteriores, siendo los valores medios encontrados de 10057, 7359 y 9670 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para acetato de n-butilo, tolueno y la mezcla de xilenos, respectivamente. Esta reducción en los niveles de VOCs en el aire ambiental es fundamentalmente debida

a la eficacia de los extractores empleados en los almacenes de pinturas y cabinas, ya que el tipo de pinturas es similar en todos los casos.

En relación a los indicadores biológicos de exposición a VOCs, como se decía antes los trabajadores 13 y 16 realizan parte de su trabajo en el almacén de pinturas sin utilizar ningún tipo de protección, por lo que su contaminación por VOCs fue mucho más alta que la del resto de los operarios, como se puede ver también en la Tabla 3. Los elevados niveles de concentración de VOCs en el aire alveolar de los trabajadores 13 y 16 podrían resolverse mediante la utilización de mascarillas para vapores orgánicos, además de equipar el almacén de pinturas con extractores adecuados o realizando la mezcla de pinturas en la propia cabina de pintura. Por otro lado, la contaminación de VOCs de los trabajadores 14, 15, 17 y 18 fue importante a pesar de realizar su trabajo con medidas preventivas. Esto puede atribuirse

a una baja eficacia de las mascarillas de protección individual usadas y de las campanas extractoras, y/o a la absorción por vía dérmica de estos compuestos cuando no emplean guantes ni ropa especial. En este contexto, un estudio publicado recientemente [13] muestra que, aunque se está reduciendo la contaminación por inhalación de VOCs en estos trabajadores debido al empleo de medidas de protección tales como mascarillas y campanas, la absorción por vía dérmica aparece ahora como la principal contribución a la contaminación de los trabajadores por VOCs. Siguiendo el estudio de los trabajadores anteriores (pintores y barnizadores), de nuevo se observan dos grandes grupos de

compuestos: aquellos en los que la proporción (pintores y barnizadores) aire alveolar/aire ambiental oscila entre 14-20%, que son los menos absorbidos por los trabajadores (2-butanona, acetato de etilo, acetato de isopropilo, isobutil metil cetona, acetato de isobutilo, acetato de n-butilo, acetato de 1-metoxi-2-propilo, acetato de 2-etoxietilo, metil ter-butil éter, etilbenceno, propilbenceno, estireno y naftaleno); y aquellos (tricloroetileno, tolueno, mezcla de xilenos, 1,3,5-trimetilbenceno y 1,2,4-trimetilbenceno) cuya relación se incrementa al 31-36%, siendo de nuevo los derivados del benceno los compuestos que se absorben en mayor proporción. No obstante, esta relación ha ba-

jado notablemente respecto a los pintores y barnizadores anteriores (40-60%) debido a que no empleaban prácticamente protección personal ni colectiva.

Exposición a VOCs en empleados de gasolineras

Finalmente, se llevó a cabo un estudio sobre la exposición a VOCs de 6 trabajadores (ninguno fumador) de varias estaciones de servicio. En estos ambientes laborales se debe tener especial cuidado con compuestos como benceno, tolueno y la mezcla de xilenos; el primero de ellos destaca por su poder mutágeno y carcinogénico, mientras que los otros no han sido clasificados como carcinogénicos humanos. Con relación a la exposición ocupacional a estos compuestos, el R.D. 374/2001 señala la necesidad de controlar los niveles presentes, ya sea mediante monitorización de estos compuestos en el ambiente laboral o mediante indicadores biológicos de exposición (generalmente sangre u orina). En este estudio se ha seleccionado la monitorización del ambiente laboral y del aire alveolar de los trabajadores ya que permite emplear el mismo instrumento de medida, lo que implica una ventaja ostensible frente al resto de las metodologías propuestas.

En la Tabla 4 se muestran las concentraciones de los VOCs encontradas en el aire ambiental así como en el aire alveolar de los 6 trabajadores después de un turno de trabajo de 8 h. Como era de esperar, la mezcla de xilenos, tolueno y metil-ter-butil éter, con valores medios de 3878, 2183 y 1818 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente, son los compuestos que aparecen a una mayor concentración en el aire ambiental, seguidos de etilbenceno y benceno, con valores medios de 1293 y 1080 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente. Es razonable pensar que las concentraciones en el aire alveolar de estos individuos sigan la misma tendencia que en los trabajadores ante-



Latinstock

Tabla 4. Concentraciones encontradas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en el ambiente laboral y aire alveolar de 6 empleados de gasolineras después de 8 horas de trabajo

	Trabajador 19		Trabajador 20		Trabajador 21		Trabajador 22		Trabajador 23		Trabajador 24		Media \pm desviación estándar	
	Aire ambiental	Aire alveolar	Aire ambiental	Aire alveolar	Aire ambiental	Aire alveolar	Aire ambiental	Aire alveolar	Aire ambiental	Aire alveolar	Aire ambiental	Aire alveolar	Aire ambiental	Aire alveolar
Metil ter-butyl eter	1058	178	2292	403	576	98	1590	291	3022	704	2373	572	1818 \pm 911	374 \pm 233
Benceno	743	56	1441	124	339	40	1004	84	1690	179	1267	108	1081 \pm 491	99 \pm 50
Tolueno	1289	225	2690	512	702	131	1833	385	3582	782	3005	682	2183 \pm 1095	453 \pm 255
(m+p)-Xileno	1009	146	2167	389	558	92	1654	307	2870	691	2498	589	1793 \pm 889	369 \pm 238
o-Xileno	1340	231	2403	497	690	119	1956	388	3276	754	2845	649	2085 \pm 960	440 \pm 243
Etilbenceno	825	73	1748	213	453	54	1221	112	1908	223	1602	195	1293 \pm 568	145 \pm 75

riores (40-60% de absorción). No obstante, el porcentaje de contaminantes en el aire alveolar encontrado en estos trabajadores con relación al aire ambiental disminuye drásticamente. Así, la proporción es del 20% para todos los compuestos e incluso más baja para etilbenceno y metil-ter-butyl éter, que sólo representa el 10%. Esto es realmente muy importante porque estos trabajadores no usan mascarillas de protección contra vapores orgánicos. La explicación estriba en que la jornada laboral de estos trabajadores se realiza en zonas bien ventiladas y de manera intermitente (reabastecimiento), lo que evita una mayor contaminación por éstos. De ahí que a pesar de las altas concentraciones de tolueno y mezcla de xilenos en el aire ambiental, las concentraciones relativas en el aire alveolar son las más bajas de todos los casos estudiados. Sin embargo, cabe destacar que en la muestras de aire alveolar de estos trabajadores es donde se han encontrado las mayores concentraciones de dos compuestos sumamente tóxicos como son el benceno y el metil-ter-butyl éter, debido a las elevadas concentraciones de estos compuestos en las gasolineras.

Posibles correlaciones entre indicadores de exposición ambientales y biológicos

Se han estudiado las posibles correlaciones existentes entre las concentraciones

encontradas en el aire ambiental y en el alveolar de los trabajadores, es decir, entre el indicador ambiental y el biológico de exposición a VOCs. Debido a que los pintores de coches (los más expuestos) utilizaron por lo general durante su trabajo ropa y mascarillas protectoras para vapores orgánicos y cabinas de pinturas, y a que los empleados de las estaciones de servicio (los menos expuestos) realizan su trabajo sin ningún tipo de protección pero en el aire exterior, es decir, no guardan ninguna similitud ni en medidas de prevención ni en tiempo de exposición, todos se descartaron de este ensayo. Por ello, el estudio se centró en los pintores de edificios (no emplean ninguna protección y trabajan 4 h) y en los barnizadores (pintan en habitaciones provistas de campanas extractoras pero sin protección individual y trabajan 4 h), que presentan una mayor homogeneidad en las condiciones de trabajo. Es decir, los trabajadores seleccionados son los enumerados del 1 al 12 en las tablas. A modo de ejemplo, la Figura 1 muestra la relación entre las concentraciones de tolueno y acetato de etilo encontradas en el aire alveolar de los 12 trabajadores después de 4 h de exposición frente a los niveles de estos compuestos encontrados en las muestras de aire ambiental tomadas simultáneamente en los lugares de trabajo. Como se aprecia claramente en la figura, los coeficientes de correlación obtenidos están próximos a 1, lo que

indica la excelente correlación entre ambos indicadores, ambiental y biológico. Por otro lado, también se puede observar que las pendientes de las rectas son distintas, lo que indica que estos dos compuestos se absorben de forma diferente por el cuerpo humano; de hecho, el porcentaje medio de absorción para los 12 trabajadores es del 60% y el 17% para tolueno y acetato de etilo, respectivamente. La Figura 2 representa los valores encontrados de acetato de n-butilo y la mezcla de xilenos en las muestras de aire alveolar frente a las de aire ambiental en los mismos trabajadores. De nuevo se aprecia una buena correlación en los valores obtenidos por ambos indicadores de exposición, así como la diferencia existente entre las pendientes de las gráficas: mientras que los compuestos derivados del benceno, representados por la mezcla de xilenos, muestran un mayor porcentaje de absorción (45%) por el cuerpo humano, los ésteres, representados por acetato de n-butilo en esta gráfica, son los menos absorbidos (17%). Esta tendencia se ha podido observar en las tablas de datos presentadas a lo largo de todo el trabajo así como en las gráficas realizadas con todos los compuestos encontrados, algo que en las Figuras 1 y 2 se aprecia de una forma más clara y rotunda para los cuatro disolventes representados. La buena correlación existente entre los indicadores de exposición ambientales y biológicos (R^2 es mayor de

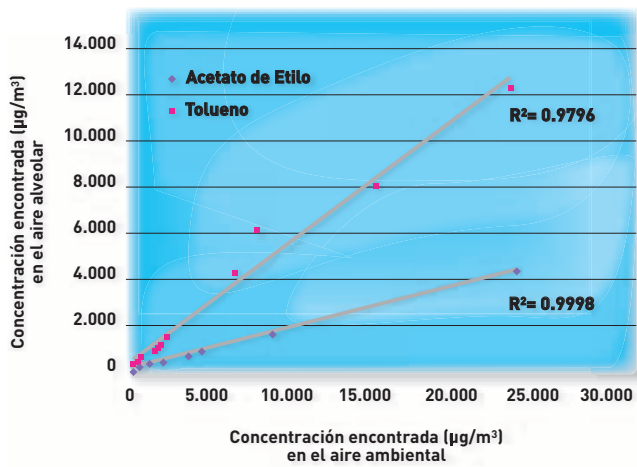


Figura 1. Relación entre las concentraciones de acetato de etilo y tolueno encontradas en el aire alveolar de los trabajadores enumerados del 1 al 12 en las tablas, y las del aire ambiental próximo a la zona de trabajo.

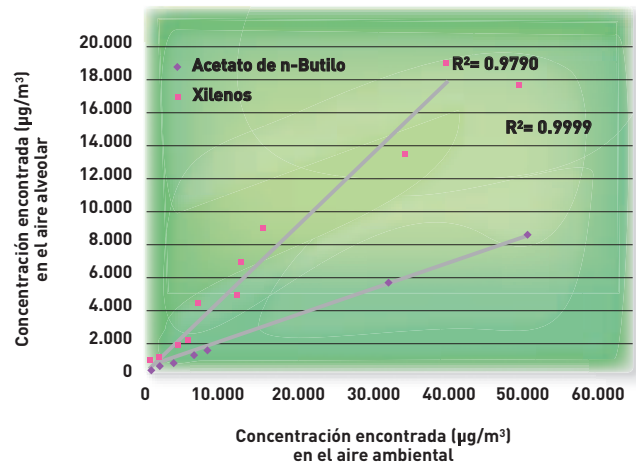


Figura 2. Relación entre las concentraciones de acetato de n-butilo y mezclas de xilenos encontradas en el aire alveolar de los trabajadores enumerados del 1 al 12 en las tablas, y las del aire ambiental próximo a la zona de trabajo.

0.96 para todos los disolventes) es de gran utilidad práctica, ya que permite llevar a cabo el seguimiento de la exposición a VOCs y un mejor conocimiento de la contaminación en los individuos expuestos.

Comparación entre los resultados obtenidos por el método propuesto (TD-GC-MS) y el método MTA/MA-032/A98

Finalmente se ha llevado a cabo la comparación de los resultados obtenidos por el método propuesto, basado en la desorción térmica de los tubos rellenos con Tenax TA y que está recomendado por

organismos internacionales (CEN, EPA, OSHA), con los obtenidos por el método MTA/MA-032/A98, que se basa en la elución con sulfuro de carbono. Ambos métodos se han descrito en profundidad en la sección de métodos. Los técnicos del Centro de Prevención de Riesgos Laborales recogieron muestras de aire ambiental en la zona respiratoria de algunos de los trabajadores que han participado en el estudio (trabajadores 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14 y 17). Los resultados obtenidos por el método MTA/MA-032/A98 se muestran en la Tabla 5 y a título comparativo se incluyen los obtenidos por TD-GC-MS

(procedentes de las tablas 2 y 3). En este estudio comparativo se incluyen todos los barnizadores (trabajadores desde el número 7 al 12) y sólo dos pintores de coche (trabajadores 14 y 17). Los resultados del laboratorio del INSHT aplicando el método MTA/MA-032/A98 sólo contemplan 9 disolventes orgánicos, y algunos como isobutil metil cetona sólo lo encuentran en dos trabajadores (14 y 17); el acetato de etilo tan sólo aparece en los trabajadores 9 y 12; acetato de metilo y acetato de isoamilo lo indican en el trabajador 10 y trabajadores 9 y 12, respectivamente, pero no se pueden comparar

Tabla 5. Concentraciones encontradas (µg/m³) en el aire ambiental por el método MTA/MA-032/A98 y por el método TD-GC-MS propuesto

	Aire ambiental (µg/m3)															
	Trabajador 7		Trabajador 8		Trabajador 9		Trabajador 10		Trabajador 11		Trabajador 12		Trabajador 14		Trabajador 17	
	MTA/MA-032/A98	TD-GC-MS	MTA/MA-032/A98	TD-GC-MS	MTA/MA-032/A98	TD-GC-MS	MTA/MA-032/A98	TD-GC-MS	MTA/MA-032/A98	TD-GC-MS	MTA/MA-032/A98	TD-GC-MS	MTA/MA-032/A98	TD-GC-MS	MTA/MA-032/A98	TD-GC-MS
Isobutil metil cetona		2		118		301		15		20		561	2100	2587	1700	1565
Acetato de metilo							2600									
Acetato de etilo	1972		1143		7500	8891		511	481	23000	24245		822		620	
Acetato de isobutilo	117		8		3100	2711		5	5	4600	4265		58		10	
Acetato de n-butilo	1193		1700	2112	35100	32300		1221	1996	55800	51112	14300	12236	8900	10431	
Acetato de isoamilo				9300						14400						
Tolueno	1300	1840	2100	2257	16500	15257	1800	1503	1100	1680	21300	23799	7500	8475		6692
Xilenos	2000	1365	7900	7250	28100	34160	2500	1871	3300	4089	45200	40514	14100	11651		9208
Etilbenceno	100	82		789		4540	200	151	300	363		5710	2500	2381		663

con nuestros resultados porque nosotros no incluimos estos disolventes entre los 26 VOCs seleccionados; los derivados del benceno (tolueno, xilenos y etilbenceno) son los que aportan más información a título comparativo salvo algunas lagunas en etilbenceno para los trabajadores 8, 9, 12 y 17. Las discrepancias en los disolventes detectados pueden deberse a que no seleccionaron tantos disolventes como nosotros, o bien porque no se les retiene en el carbón activo y no los detectan. De cualquier modo, existen claras discrepancias también en el muestreo, ya que no contemplan la toma de muestra alveolar sino la ambiental realizada cerca de la zona respiratoria del trabajador (método dinámico). Si nos centramos en aquellos resultados que se obtienen por ambos métodos, se deduce que no existen errores sistemáticos en ninguno de los dos métodos, ya que las diferencias en términos absolutos entre ambos son a veces por exceso y otras por defecto. Para llevar a cabo la comparación entre ambos métodos se ha empleado el método de regresión lineal entre ambos grupos de resultados con los datos disponibles por ambos métodos. En la Figura 3 se muestra la gráfica obtenida, junto con la ecuación de la recta y el coeficiente de regresión. Como se puede comprobar, la correlación entre los datos obtenidos por ambos métodos es muy buena, ya que la ordenada es poco significativa y la pendiente está próxima al valor de 1. Por otro lado, también se ha realizado un test de la t por parejas para comparar los mismos resultados: el valor de t experimental (0.51), es mucho menor que el valor de la t crítica para 37 grados de libertad.

Se pone de manifiesto que el empleo de cabinas extractoras, así como de ropa y mascarillas de protección, es imprescindible para disminuir/evitar la contaminación por VOCs en los trabajadores

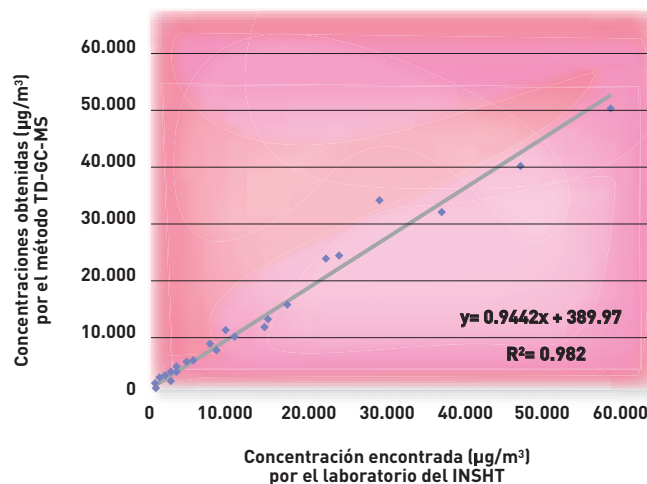


Figura 3. Comparación entre las concentraciones de VOCs obtenidas en el aire ambiental en el recinto de trabajo (de los trabajadores 7, 8, 9, 10, 11, 12 y 17) mediante el método propuesto por nosotros y por el método MTA/MA-032/A98.

Los dos métodos de evaluación ponen de manifiesto que no hay diferencias significativas entre los resultados que proporciona el método propuesto (TD-GC-MS) y el método MTA/MA-032/A98, o lo que es lo mismo, que ambos métodos conducen a resultados que son similares.

Conclusiones

El control de la exposición a agentes químicos a través del análisis del aire alveolar de los trabajadores expuestos puede ser una herramienta esencial, como complemento al control ambiental, para evaluar y prevenir los efectos de dicha exposición. En este trabajo se ha evaluado la exposición de 24 trabajadores determinando las concentraciones de 26 VOCs (básicamente ésteres, benceno y derivados, y cloroetilenos) en el aire alveolar y ambiental. Los resultados presentados muestran que en el aire alveolar (distinto al exhalado) de los trabajadores expuestos a VOCs se pueden encontrar niveles altos de los compuestos existentes en el ambiente que son acor-

des a su exposición real. De esta forma, la concentración de VOCs en el aire alveolar es mayor cuanto mayor es la existente en el aire ambiental, pero existen dos cinéticas de absorción bien distintas, una para los aromáticos derivados del benceno (tolueno, xilenos y alquilbenceno), con porcentajes de absorción media del 50%, y otra para los ésteres, con porcentajes medios de absorción inferiores al 20%. Es decir, se absorben en mayor proporción los más tóxicos, benceno y sus derivados, que además son los que en estudios de genotoxicidad se asocian a aberraciones cromosómicas y daños en el ADN [19]. Mención aparte merece el benceno, ya que está asociado en numerosos trabajadores a los hábitos del tabaco; así, en pintores de edificios, barnizadores (salvo el trabajador 12) y pintores de coches (exceptuando los trabajadores 13 y 16), los niveles de benceno en el aire alveolar son superiores o similares a los del ambiente en los fumadores. Los trabajadores de gasolineras son los que presentan concentraciones más elevadas de benceno en el aire alveolar de todos los trabajadores estudiados, lo cual está relacionado exclusivamente con los niveles ambientales, ya que no eran fumadores. De todos los trabajadores estudiados, si nos centramos en los valores medios encontrados en el aire alveolar, los más

expuestos son los pintores de coches, seguidos de los barnizadores. En cuanto a los individuos expuestos, no se ha detectado influencia de la edad, sexo, ni del tiempo de exposición (años que cada individuo del grupo lleva realizando las mismas tareas). Esto se debe a que se ha analizado el aire alveolar y generalmente los tóxicos existentes se eliminan completamente después de la jornada laboral, ya que al inicio de la misma en los 24 trabajadores (8 de la mañana) no se detectaron prácticamente ninguno de los 26 VOCs analizados (excepto benceno en fumadores). Otra cosa bien distinta es el daño que estos disolventes provocan en el organismo, en donde los estudios de genotoxicidad evidencian que la exposición, incluso a bajos niveles pero continuada (sí afectan los años de trabajo en el mismo puesto) de muchos de estos disol-

ventes (sobre todo benceno y derivados), está asociada al riesgo de cáncer.

Por otra parte, se pone de manifiesto que el empleo de cabinas extractoras, así como de ropa y mascarillas de protección, es imprescindible para disminuir/evitar la contaminación por VOCs en estos trabajadores, y que el personal que lleva a cabo la actividad preventiva en la empresa, mediante cualquiera de las modalidades previstas en la legislación, debería controlar esta problemática y contrastar la eficacia de estas instalaciones y equipos. Así, aunque los pintores de vehículos son en teoría los que tienen un mejor control de los agentes químicos en el aire mediante el uso generalizado de cabinas de pinturas, se observa que durante las mezclas de las pinturas, si no usan equipos de protección, la piel es la vía de entrada de los VOCs.

Por otra parte, deberían utilizar ropa y guantes de protección adecuados para eliminar la absorción dérmica. Finalmente, en contra de lo que se cree, los empleados de gasolineras no son una población de riesgo, y lo son cada vez menos, habida cuenta de la proliferación de gasolineras de autoservicio, con una mínima manipulación de la gasolina por el trabajador. En resumen, es necesario mejorar las actividades preventivas en este tipo de tareas y formar a los trabajadores en unas buenas prácticas laborales. ♦

AGRADECIMIENTOS

Este artículo ha sido subvencionado por los Proyectos CTQ2007-63962, concedido por el Ministerio de Educación y Ciencia, y SC/UNI/00013/2007, concedido por la Consejería de Empleo de la Junta de Andalucía. Los autores desean agradecer la colaboración de todos los trabajadores que han contribuido a este estudio.

PARA SABER MÁS

- [1] ACGIH. Valores límite para sustancias químicas y agentes físicos en el ambiente de trabajo (TLVs). Índices de exposición biológica (BEIs). 2008.
- [2] Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales (INSHT). Límites de exposición profesional para agentes químicos en España. Madrid, 2008.
- [3] A. P. Jones. Indoor air quality and health. *Atmospheric Environment* 33 (1999) 4535-4564.
- [4] P. O. Fanger. Indoor air quality in the 21st century: search for excellence. *Indoor Air* 10 (2000) 68-74.
- [5] Caro, M. Gallego, R. Montero. Estado actual del control de la exposición a compuestos orgánicos volátiles en el medio laboral. *Seguridad y Salud en el Trabajo* 46 (2008) 10-19.
- [6] F. I. Khan, A. K. Ghoshal. Removal of volatile organic compounds from polluted air. *J. Loss Prev. Proc. Ind.* 13 (2000) 527-535.
- [7] B. E. Moen, B. E. Hollund. Exposure to organic solvents among car painters in Bergen, Norway. *Ann. Occup. Hyg.* 44 (2000) 185-189.
- [8] J. D. Wang, J. D. Chen. Acute and chronic neurological symptoms among paint workers exposed to mixtures of organic solvents. *Environ. Res.* 61 (1993) 107-116.
- [9] G. Triebig, J. Hallermann. Survey of solvent related chronic encephalopathy as an occupational disease in European countries. *Occup. Environ. Med.* 58 (2001) 575-581.
- [10] A. Kaukiainen, T. Vehmas, K. Rantala, M. Nurminen, R. Martikainen, H. Taskinen. Results of common laboratory tests in solvent-exposed workers. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 77 (2004) 39-46.
- [11] S. Uang, T. Shih, C. Chang, S. Chang, C. Tsai, C. G. Deshpande. Exposure assessment of organic solvents for aircraft paint stripping and spraying workers. *Sci. Total Environ.* 356 (2006) 38-44.
- [12] M. Vitali, F. Ensabella, D. Stella, M. Guidotti. Exposure to organic solvents among handicraft car painters: a pilot study in Italy. *Industrial Health* 44 (2006) 310-317.
- [13] F. Chang, M. Chen, S. Cheng, T. Shih, I. Mao. Evaluation of dermal absorption and protective effectiveness of respirators for xylene in spray painters. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 81 (2007) 145-150.
- [14] C. Winder, P. J. Turner. Solvent exposure and related work practices among apprentice spray painters in automotive body repair workshops. *Ann. Occup. Hyg.* 36 (1992) 385-394.
- [15] M. Bratveit, B. E. Hollund, B. E. Moen. Reduced exposure to organic solvents by use of water-based paint systems in car repair shops. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 77 (2004) 31-38.
- [16] L. Ernstgard, A. Lof, G. Wieslander, D. Norbäck, G. Johanson. Acute effects of some volatile organic compounds emitted from water-based paints. *J. Occup. Environ. Med.* 49 (2007) 880-889.
- [17] I. Bockelmann, S. Darius, N. McGauran, B. P. Robra, B. Peter, E. A. Pfister. The psychological effects of exposure to mixed organic solvents on car painters. *Disabil. Rehabil.* 15 (2002) 455-461.
- [18] J. F. Periago, C. Prado. Evolution of occupational exposure to environmental levels of aromatic hydrocarbons in service stations. *Ann. Occup. Hyg.* 49 (2005) 233-240.
- [19] B. P. Cadahía, B. L. Lage, J. M. Felipeto. Biomonitorización de la exposición ocupacional a hidrocarburos. *Mapfre Seguridad* 106 (2007) 19-26.
- [20] J. Caro, M. Gallego, A. Serrano, C. Baños, M. Silva. Evaluación de la exposición a trihalometanos en trabajadores de piscinas cubiertas. *Seguridad y Salud en el Trabajo* 41 (2007) 16-21.
- [21] J. Caro, A. Serrano, M. Gallego. Metodologías de evaluación de riesgos emergentes originados por trihalometanos en piscinas cubiertas, *Seguridad y Salud en el Trabajo*, (2009) en prensa.
- [22] International Organization for Standardization, ISO 16017-1:2000 (E). Indoor, ambient and workplace air. Sampling and analysis of VOCs by sorbent tube/thermal desorption/capillary gas chromatography.
- [23] US EPA Compendium Method TO-17. The determination of VOCs in ambient air using active sampling onto sorbent tubes.