

CONTRIBUCIÓN DE LOS COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES (COVs) A LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE INTERIOR

Ana Elías
Sara Rogero
Iraide Fernández
Jesus Montes
Tatiana Luengas
Luís Gurtubay

Departamento de Ingeniería Química y del Medio Ambiente. Escuela Técnica Superior de Ingeniería. Universidad del País Vasco. Alda Urquijo s/n, 48013, Bilbao.

Abstract

Nowadays, people in developed countries spend about 15 to 16 h per day in indoor spaces, such as home (or domestic environment), office, car and shopping centers or malls. Consequently, the study of the negative health effects due to poor indoor air quality is of great significance in our society. The Volatile Organic Compounds (VOCs) comprise a group of relevant indoor pollutants, and have been frequently found to be responsible for the poor indoor air quality and typical symptoms associated with the Sick Building Syndrome (SBS). Although the mean concentration of individual components in VOCs is generally low (typically below the odour threshold and between 5 and 50 $\mu\text{g m}^{-3}$), the simultaneous presence of hundreds of different compounds will render a high total concentration of contaminants. Thereby, the indoor total concentration may be up to twenty times higher than outside. The objective of this study is to characterize indoor environments, identify the major COV compounds and classify the sources of the main pollutants, which will allow reducing the emissions from the identified sources. This work has been supported by the Basque Government through Projects: BIOADSOR-SAIOTEK S-PE11UN008, TAICAB-Comunidad Transpirenaica-(BOPV nº 247-2011) and BERRILUR-Etortek III IE10-273.

Keywords: VOC; Indoor air pollution; Sick building syndrome

Resumen

En la actualidad, las personas que habitan en los países occidentales permanecen diariamente entre 15 y 16 horas en ambientes interiores, como su domicilio o ambientes domésticos. Es por ello necesario prestar especial atención a la calidad del aire interior de los edificios, ya que ejerce una gran influencia sobre la salud. Los Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs) representan un grupo prioritario dentro de la lista de contaminantes de aires interiores, siendo los principales causantes de muchos de los problemas de la calidad de aire interior (CAI) y los síntomas asociados al Síndrome del Edificio Enfermo (SEE).

Aunque la concentración individual de cada uno de los contaminantes es generalmente baja (entre 5 y 50 $\mu\text{g m}^{-3}$), cientos de ellos pueden encontrarse simultáneamente, lo que implica significativos niveles totales de COVs. Como resultado, las concentraciones de COVs en ambientes interiores son de 1 a 20 veces superiores a las del aire exterior.

El presente trabajo estudia la caracterización de los ambientes interiores, la identificación y contribución de los COVs mayoritarios y la clasificación de los diferentes orígenes de estos

contaminantes, de cara a conseguir la biodegradación de las emisiones asociadas a las distintas fuentes identificadas.

Este trabajo ha sido financiado por el Gobierno Vasco a través de los Proyectos: BIOADSOR-SAIOTEK S-PE11UN008, TAICAB-Comunidad Transpirenaica-(BOPV nº 247-2011) y BERRILUR-Etortek III IE10-273.

Palabras clave: COV, Contaminación del aire interior; Síndrome del edificio enfermos

1. Introducción

La calidad del aire en ambientes interiores es un problema tan antiguo en la historia de la humanidad como los primeros asentamientos humanos estables y el uso del fuego. A pesar de ellos, sólo recientemente está cobrando importancia a los ojos de la población general, siendo una de las primeras publicaciones que trata este tipo de contaminación del aire la escrita en 1661 por John Evelyn. A pesar de la elevada consciencia social por los problemas medioambientales, la calidad del aire interior comienza a considerarse un problema a finales del decenio de 1960, desarrollándose los primeros estudios unos diez años después (Guardino et al., 1998). La legislación relativa a la calidad del aire interior es escasa y difusa (sobre todo en el caso de la Unión Europea). La contaminación del aire en interiores puede convertirse en un auténtico problema de salud pública (Sundell, 2001), con las consiguientes implicaciones socioeconómicas, lo que hace necesaria la reflexión, el análisis y la investigación de los diferentes aspectos relacionados con la misma.

Con el transcurso de los años y la evolución de las sociedades, los problemas de la contaminación del aire han ido variando. La generalización de los vehículos motorizados y el consumo de combustibles derivados del petróleo, con la aparición de los fenómenos de smog fotoquímico, desplazó a las emisiones propias del carbón, como fuentes de contaminantes que causaban más preocupación para la opinión pública (Fenger, 2009). En ese sentido, las fuentes de contaminación del aire se perciben como algo exterior a los hogares y edificios, y los esfuerzos para su control van encaminados a la disminución de emisiones exteriores.

Sin embargo, se han dado distintos fenómenos que han cambiado la percepción del problema de la calidad del aire interior. La modificación de los sistemas productivos en las sociedades occidentales (desplazamiento del centro de gravedad productivo hacia el sector terciario) provoca que la mayor parte del trabajo se desarrolle en interiores (edificios de oficinas). De este modo, la mayor parte de la población pasa el 90 % de su tiempo dentro de un ambiente cerrado (hogar, transporte, oficina) (Edwards et al., 2001). Las sucesivas crisis del petróleo (comenzando por la de 1973) y la creciente concienciación de la sociedad en temas ecológicos y medioambientales (calentamiento global, cambio climático antropogénico) han llevado a un intento por una mayor eficiencia energética en la edificación, buscándose una mayor estanqueidad en las construcciones que reduzca al mínimo las pérdidas de calor. Como contrapartida, la ventilación y renovación del aire en el interior de los edificios es cada vez menor.

Otro aspecto que se debe tener en cuenta es la aparición de nuevos equipamientos, materiales y productos, que tiene como consecuencia la generación de fuentes de emisión de distintos contaminantes potenciales en el aire interior (Missia et al., 2010). La antigua cultura de la construcción a base de cemento y hormigón, ladrillos, vidrio, acero y yesos, productos relativamente inertes y que no causaban problemas aparentes, se ha ido complicando con la incorporación de elementos plásticos, prefabricados, aditivos y fibras

para hormigones, espumas y aislantes, pinturas con distintas bases. Estos elementos pueden complicar de manera muy significativa el ciclo del aire interior y de los contaminantes, bien actuando directamente como emisores de químicos, bien actuando como acumuladores por fenómenos de deserción, emitiendo cantidades relativamente altas de los productos acumulados.

En relación con el mobiliario, la revalorización y apreciación de la madera ha traído como consecuencia la aparición de multitud de tratamientos y preservantes, barnices, insecticidas y fungicidas para su mejor conservación, así como de productos sustitutivos de la misma como aglomerados, contrachapados, paneles de media densidad etc, productos que están realizados con aglomerantes, colas y un sinfín de productos químicos que van a producir emisiones. El equipamiento de oficinas, con fotocopiadoras, impresoras laser y de chorro de tinta, ordenadores etc, trae consigo las emisiones propias de dichos objetos, como son partículas de tóner, negro de carbón, volátiles de tintas, ozono, etc (Destailats et al., 2008). La aparición de productos de limpieza cada vez más eficientes pero de química más compleja que va a producir asimismo mayor cantidad de emisiones (Wolkoff et al., 1998).

Por consiguiente podemos comprender que la calidad del aire en ambientes interiores es un tema que progresivamente va teniendo mayor importancia desde diversos puntos de vista, (social y de opinión pública de salud pública), al mismo tiempo que va adquiriendo una mayor complejidad.

En el presente trabajo, se pretende hacer un análisis de la problemática de la contaminación del aire de los ambientes interiores, centrándonos en la contribución que tienen los compuestos orgánicos volátiles (COV). A partir de este análisis se planteará el posterior estudio experimental que se llevará acabo aplicando una tecnología biológica, denominada Biofiltración, para minimizar y/o reducir la contribución de estos compuestos a la calidad del aire interior.

2. Definición del problema

En las sociedades industrializadas actuales, la mayor parte del tiempo de los seres humanos transcurre en ambientes interiores. El ciclo vital normal de la mayor parte de los ciudadanos occidentales se desarrolla desde que despiertan en sus viviendas, se desplazan a sus lugares de trabajo en sus vehículos u otros medios de transporte, su jornada laboral transcurre en diferentes tipos de edificación, regresan a sus hogares de nuevo utilizando los medios de transporte y, dependiendo de las condiciones climatológicas y otros factores sociales, permanecen en sus casas durante un prolongado espacio de tiempo. En el caso de los niños, el tiempo de trabajo se sustituye por su tiempo de permanencia en edificios y dependencias escolares (Berenguer & Martí, 1990). En todos los momentos y circunstancias, los ciudadanos van a estar expuestos a una gran variedad de contaminantes de diversas especies, productos y compuestos químicos, en concentraciones generalmente bajas. Sin embargo, el hecho de que las concentraciones sean bajas se contrapone con la gran cantidad y variedad de los mismos.

Se van conociendo los posibles efectos perniciosos de algunos productos, lo cual ha llevado a establecer por legislación algunos límites (por ejemplo, la concentración media anual de benceno en el aire, que se regula por la directiva EU 2000/69/EC en $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$; cabe recordar que el benceno está clasificado como cancerígeno cierto de tipo 1 por el Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer, y A por la Environmental Protection Agency). Sin embargo, se desconocen los posibles efectos de la asociación entre contaminantes, posible actividad o efectos sinérgicos. Una excepción sería el caso de la

asociación de la presencia de radón en aire interior con el humo de tabaco ambiental (ETS). De este modo, se sabe que incrementos de la concentración habitual de radón en los hogares (de 97 Bq/m³) de 0 a 100 y 400 Bq/m³ traen consigo una incidencia general de cáncer de pulmón en no fumadores del 0.4%, 0.5% y 0.7% respectivamente. En el caso de hogares de fumadores, la incidencia de cáncer de pulmón es del 10 %, 12% y del 16 %. De este modo, se puede sacar la conclusión de que la presencia de radón es responsable de un 2% del total de las muertes por cáncer en Europa (Darby et al., 2005).

Se puede afirmar que ciertos compuestos, a priori no demasiado preocupantes para la salud pública, en las condiciones normales de nuestros hogares pueden sufrir reacciones y transformaciones químicas convirtiéndose en otros compuestos más preocupantes a efectos sanitarios (Kabir & Kim, 2011).

Un caso particular y que ha ido cobrando importancia en tiempos recientes es el llamado "Síndrome del Edificio Enfermo" (Sick Building Syndrome o SBS). El SBS consiste en una serie de patologías indeterminadas, similares al catarro común u otras enfermedades respiratorias, que afectan a los ocupantes de una determinada edificación. Entre estos síntomas cabe citar:

- Dolores de cabeza
- Mareos y náuseas
- Fatiga, piel seca
- Irritación de senos nasales, mucosidad, estornudos
- Irritación de garganta y bronquial, tos

En términos estadísticos, se puede afirmar que existe SBS cuando al menos un 20 % de los ocupantes del edificio en cuestión muestran síntomas de una u otra especie similares a los ya citados.

2.1 Aspectos socio-económicos del problema

En el caso de los ambientes de trabajo interiores, puede resultar complejo establecer relaciones entre las condiciones del espacio de trabajo y el bienestar de los ocupantes, dada la variedad de factores y las interacciones complejas entre ellos. Autores como Zhang y Smith (2003) han estudiado la contaminación de aire interior y su influencia en la salud global desde una perspectiva global. Se han observado efectos tanto a corto como a largo plazo causados por la exposición a dichos factores. Para una mayor eficiencia en las investigaciones sobre el tema, se deben mejorar los procedimientos para obtener información. En la actualidad, se están desarrollando nuevas técnicas cuyo resultado sería discriminar los factores más importantes que han de ser considerados para futuros estudios. Cabe remarcar el trabajo multidisciplinar desarrollado por Sundell (2004) para resolver este paradigma.

Los trabajos de Fisk, Black y Brunner (2011, 2012) en los EEUU muestran la importancia económica de un ambiente de trabajo adecuado desde un punto de vista cuantitativo. En escenarios relativamente simples como la modificación de las tasas de ventilación en edificios de oficinas, y con la observación de los efectos en los cambios en sintomatología de SBS, eficiencia en el trabajo, ausencias temporales de corto plazo y consumo de energía en el edificio, se estiman unos posibles beneficios totales de 13 mil millones de \$ con un incremento de las tasa mínimas de ventilación (VRs) de 8 a 10 l/s por persona, y de 30 mil millones de \$ con incrementos de VRs de 8 a 15 l/s. Sin embargo, para los actuales costes en energía en acondicionamiento de la edificación de 12 mil millones de \$, el posible

beneficio derivado de una reducción de la tasa de ventilación del estándar de 8 l/s actuales a unos 6,5 l/s sería de únicamente 0,04 mil millones de \$. La instalación de sistemas de control inteligentes y economizadores de aire exterior traería consigo importantes beneficios de todo tipo para la actividad económica general, al tiempo que podrían existir ahorros energéticos o al menos incrementos en costes escasos y limitados.

Otra cuestión, sin embargo, sería la percepción general del problema por parte de la población. La implementación de medidas (a menudo económicamente modestas) por parte de algunos propietarios de edificios y/o negocios para medir la calidad del aire en oficinas y otras construcciones no industriales, está asociada a reducir las quejas de los ocupantes, y no necesariamente a reducir el riesgo asociado a las causas de dichas quejas. Existen investigaciones dirigidas a la percepción del problema de la calidad del aire interior y a las cantidades de dinero que un individuo medio estaría dispuesto a invertir para reducir los riesgos asociados a la contaminación interior. Dichos estudios analizan asimismo algunos de los factores que son capaces de influenciar las decisiones públicas para controlar la calidad del aire en los hogares. Algunas de las conclusiones obtenidas son:

- La concienciación pública ante el problema de la contaminación del aire interior es alta
- Las campañas en medios de comunicación afectan a la percepción del público sobre cada contaminante específico que se percibe como importante; sin embargo, no tienen gran influencia sobre un posible deseo de invertir mayores cantidades de dinero para reducir los riesgos ante la exposición a los contaminantes en el ambiente de los hogares
- El público general no está dispuesto a gastar grandes cantidades de dinero para reducir la contaminación interior
- El nivel de educación no afecta al nivel de conciencia relativa a la contaminación del aire interior. Sin embargo, sí incrementa la disposición al gasto en un esfuerzo para la reducción de la contaminación
- El hecho de ser o no fumador no afecta a nada de lo anterior

Por tanto, y en conclusión, los sistemas para la lucha contra la contaminación en aires interiores no pueden centrarse como base en la buena voluntad de los ciudadanos y en una hipotética disposición a unos gastos en una inversión para una mejora de condiciones que, salvo que el problema de contaminación cree una sintomatología importante, no van a ser percibidos como un beneficio claro (Moschandreas & Chang, 1994).

3. Origen de los contaminantes en el aire interior

La contaminación en el interior tiene diferentes orígenes: los propios ocupantes, los materiales inadecuados o con defectos técnicos utilizados en la construcción del edificio, el trabajo realizado en el interior, el uso excesivo o inadecuado de productos habituales (plaguicidas, desinfectantes, productos de limpieza y encerado), los gases de combustión (procedentes del tabaco, de las cocinas, de las cafeterías y de los laboratorios) y la conjunción de contaminantes procedentes de otras zonas mal ventiladas que se difunde hacia áreas vecinas, afectándolas. Hay que tener en cuenta que las sustancias emitidas en el aire interior tienen muchas menos oportunidades de diluirse que las emitidas en el aire exterior debido a las diferencias de volumen de aire disponible. En lo que respecta a la contaminación biológica, su origen se debe fundamentalmente a la presencia de agua estancada, de materiales impregnados con agua, gases, etc., y a un mantenimiento incorrecto de los humidificadores y las torres de refrigeración. La concentración en ambientes interiores depende de la relación entre el volumen de aire contenido en el área a

estudio, el grado de producción y eliminación del contaminante, de la concentración en la atmósfera exterior y el intercambio con la misma (Maroni, Seifert & Lindvall, 1995)

Por último, debe considerarse también la contaminación procedente del exterior. Con respecto a la actividad humana, hay tres fuentes principales: la combustión en fuentes estacionarias (centrales energéticas), la combustión en fuentes móviles (vehículos) y los procesos industriales.

Los seis grupos de contaminantes más importantes emitidos por las fuentes que más comúnmente se encuentran en nuestro ambiente los siguientes:

- Componentes orgánicos volátiles: formaldehído, disolventes, compuestos desprendidos de impresoras y fotocopiadoras, pinturas y barnices.
- Polvo y fibras del ambiente interior: asbesto, fibra de vidrio, polvo de papel, descomposición de materiales de construcción y suciedad.
- Bioaerosoles: bacterias, hongos, virus, ácaros, excrementos y pelos de animales.
- Vapores de escape de vehículos y de la industria, procedentes del exterior
- Contaminantes generados por la actividad humana: dióxido de carbono y monóxido de carbono.
- Humo del tabaco: algunos estudios han demostrado que los no fumadores que trabajan con fumadores presentan más síntomas de malestar que aquellos que se encuentran en un ambiente sin humo.

Por último debemos mencionar que hay contaminantes generados de forma natural propulsados a través del aire, como las partículas de polvo volcánico, la sal de suelo y de mar, las esporas y los microorganismos. La composición del aire exterior varía de un lugar a otro, en función de la presencia y la naturaleza de las fuentes de contaminación circundantes y de la dirección del viento predominante. En el aire exterior "limpio" (sin fuentes de contaminación) suele hallarse la siguiente concentración de contaminantes: dióxido de carbono, 320 ppm; ozono, 0,02 ppm, monóxido de carbono, 0,12 ppm, óxido nítrico, 0,003 ppm, y dióxido de nitrógeno, 0,001 ppm. Ahora bien, estos valores aumentan notablemente en el aire urbano.

Al margen de los contaminantes generados en el exterior, en ocasiones ocurre que el aire contaminado procedente del edificio sale al exterior y penetra de nuevo a través de las entradas del sistema de aire acondicionado, o bien se infiltra a través de los cimientos del edificio (p. ej., el radón, los gases de combustibles, los efluvios de las alcantarillas, los fertilizantes, los insecticidas y desinfectantes). Se ha observado que cuando aumenta la concentración de un contaminante en el aire exterior, lo hace también en el interior, aunque de forma más lenta (la relación es similar cuando la concentración disminuye). Por consiguiente, puede afirmarse que los edificios ejercen un efecto de escudo frente a los contaminantes externos. No se puede olvidar la posibilidad de que existan interacciones entre contaminantes de ambientes interiores, potenciales reacciones incluyendo al ozono, óxido nítrico, dióxido de nitrógeno e hidrocarburos insaturados (Weschler & Shields, 1997). Estas reacciones generan radicales libres y radical nitrato siendo, como en todo el tema que se trata, grandes las dificultades analíticas encontradas en el muestreo y análisis de algunos de estos productos.

4. Contaminantes químicos característicos del aire interior

Los contaminantes químicos del aire interior pueden tomar forma de gases y vapores (inorgánicos y orgánicos) y de partículas, pudiendo tener como origen el ambiente exterior o bien haberse formado dentro del edificio. La importancia relativa del origen interior o exterior varía según los distintos contaminantes y en función del tiempo. He aquí los contaminantes químicos principales y más comunes en el aire interior:

1. dióxido de carbono (CO_2), un producto metabólico que se utiliza a menudo como indicador del nivel general de contaminación del aire en relación con la presencia de seres humanos en el interior.

2. monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x) y dióxido de azufre (SO_2), gases de combustión inorgánicos formados fundamentalmente durante la combustión de combustibles. El ozono (O_3), producto de reacciones fotoquímicas en atmósferas contaminadas aunque también puede ser liberado por algunas fuentes de interiores.

3. compuestos orgánicos que se originan a partir de diversas fuentes interiores y del exterior. En el aire interior hay cientos de compuestos químicos orgánicos, aunque la mayoría están presentes a concentraciones muy bajas (Wechler, Shileds & Rainer, 1990; Kostianen, 1995).

Los compuestos orgánicos volátiles, objeto de este trabajo, son un grupo de compuestos pertenecientes a diferentes familias químicas (alcoholes, aldehídos, cetonas, éteres de glicol, terpenos, etc.) que tienen en común su base química de carbono y la particularidad de volatilizarse en el aire a temperatura ambiente, de forma más o menos rápida.

La OMS (1987) los clasifica por su punto de ebullición, denominando volátiles aquellos cuya temperatura de ebullición se encuentra entre $50\text{ }^\circ\text{C}$ y $260\text{ }^\circ\text{C}$, se denominan muy volátiles si el punto de ebullición es inferior, está entre $0\text{ }^\circ\text{C}$ y $100\text{ }^\circ\text{C}$ y finalmente semi-volátiles, si es de 240 a $400\text{ }^\circ\text{C}$. El resto de compuestos orgánicos se asocian a partículas (materia orgánica particulada).

Los COVs son emitidos por diversas fuentes tanto de origen biogénico (origen natural) o antropogénico (origen humano), estando presentes tanto en el ambiente exterior como en el interior. En general, en los países desarrollados se observan concentraciones superiores de COVs en interiores que las existentes en el exterior (Morales, Blanco & García, 2010). En el exterior, las principales fuentes de emisión son debidas a los procesos de combustión en vehículos, en calderas y hornos e incendios, y a la emisión de ciertas industrias. En el ambiente interior, dichos compuestos son ampliamente utilizados en la fabricación de diversos productos, materiales decorativos y de construcción: pinturas, barnices, colas, limpiadores, biocidas, etc.,

En función del tipo de material, la emisión de compuestos variará tanto en su concentración, como en el tiempo de permanencia en el ambiente, siendo lo más habitual, su disminución de forma exponencial con el transcurso del tiempo. No obstante, también influirán factores ambientales como: temperatura, humedad, actividades y cambios en la ventilación del edificio.

En el caso de los materiales de construcción, la liberación de COVs alcanza su máxima expresión inmediatamente después de la instalación, cuando son nuevos. Esta liberación de gases disminuye a medida que las fuentes de COVs envejecen.

Muchos de estos compuestos pueden causar un gran número de efectos indirectos en la salud, ya que son considerados precursores de ozono, interviniendo en reacciones químicas complejas en la atmósfera y, en particular, en la formación de oxidantes fotoquímicos y en su principal constituyente, el ozono, fenómeno conocido comúnmente como "Smog de verano".

Además, en ambientes interiores, muchos de estos compuestos tienden a asociarse con otros compuestos presentes (por ejemplo, benceno con tolueno y xileno y D-limoneno con ozono) lo que dificulta el conocimiento de los efectos en la salud de estas interacciones (aditivos, sinérgicos o antagónicos), así como el establecimiento de valores límite.

Un resumen de los contaminantes orgánicos más frecuentes, con su fuente asociada, se resume en la tabla siguiente (Tabla 1).

Tabla 1: Algunas familias de COVs y fuentes más comunes en ambientes interiores

Familias	Fuentes potenciales de emisión Ambientes Interiores
Acetato/ aldehídos	Madera prensada (tablero aglomerado y contrachapado etc.), panelados de madera o plástico/melanina, libros y revistas nuevas, pinturas y tratamientos catalizados por ácidos, humo de tabaco, fotocopiadoras, tapicerías y cortinajes, algicidas y combustión de automóviles.
Hidrocarburos aromáticos	Combustión, humo tabaco, pinturas (látex y base acuosa), adhesivos a base de agua, plásticos, fotocopiadoras, carburantes, barnices, materiales de aislamiento impermeabilizantes, humo de tabaco, tintas, moquetas e insecticidas.
Hidrocarburos alifáticos	Tintes de madera, colas para el suelo, ceras, barnices, productos de limpieza para suelos, moquetas y tapicerías y placas de yeso.
Ésteres y ésteres de glicol	Panelado de cloruro de vinilo, plástico/melanina, lacas, pinturas (látex), barnices, jabones, cosméticos, fungicidas, herbicidas, productos para el tratamiento de la madera.
Hidrocarburos clorados	Pinturas, barnices, adhesivos, limpiadores de metales, limpieza en seco, tapices, alfombras, anti-ácaros, desodorante, panelado de madera.
Terpenos	Ambientadores, desodorantes, limpieza de suelos, ceras para muebles.
Alcoholes	Fabricación de plásticos, materiales de revestimiento, adhesivos, tintas de imprenta, y agentes de impregnación, aromatizante bebidas y alimentos.

5. Selección de COV. Caso a estudio

La complejidad de la composición de los ambientes interiores hace que los informes sobre las emisiones en el aire se basen en la concentración o la liberación de los compuestos orgánicos volátiles totales (COVT). El gran número de COVs presentes en los edificios dificulta detallar las concentraciones de algunos compuestos seleccionados. El concepto de COVT se ha utilizado como medida de la mezcla de compuestos presentes. No existe ninguna definición de uso generalizado de los compuestos que representan los COVT, pero algunos investigadores han propuesto que la limitación de las concentraciones por debajo de 300 mg/m³ debería reducir las quejas de los ocupantes con respecto a la calidad del aire interior.

En Canadá, los rangos de concentración son mucho bajos, pudiendo asignar los efectos esperados para dichos intervalos, según se muestra en la tabla 2.

Tabla 2: Valores de referencia expresados como compuestos orgánicos volátiles (Federal Provincial Advisory Committees, Canada, 1995)

Rango de COVT	Calificación del rango	Efectos esperados
<0.20 mg/m ³	Confort	
0.20-3 mg/m ³	Rango de exposición multifactorial	Falta de confort Molestias por olores
>3-25 mg/m ³	Falta de confort	Quejas por falta de confort
>25 mg/m ³	Rango tóxico	Falta de confort Irritación vías respiratorias Dolor de cabeza

Los entornos más ampliamente estudiados han sido: coches, casas habitadas y no habitadas, recintos escolares, cocinas, oficinas (emplazamientos en los que los contaminantes mayoritarios son los COV). Analizando la presencia de estos compuestos se ha encontrado una cierta especificidad del COV dependiendo del emplazamiento estudiado (Pérez-Ballesta, 2008).

Entre los compuestos más frecuentes mencionamos en la siguiente tabla 3 el acetaldehído, tolueno y xileno, recogiendo su fuente más frecuente así como el efecto que estos compuestos generan en la salud.

Tabla 3: Compuestos orgánicos volátiles presentes en ambientes escolares, hogares y oficinas

Contaminante COV	Fuente	Efectos sanitarios predominantes		
		Agudos	Exposición crónica	Carcinógenos (clasif. CIRC)* / (casif. EPA)**
Acetaldehído	Humo de tabaco, maderas en bruto y paneles aislantes, fotocopiadoras, fotoquímica atmosférica, metabolismo del etanol	Irritaciones oculares y del tracto respiratorio	Cáncer: nasal, laringe Hodgkin	2B/B2
Tolueno	Pinturas, barnices, colas y pegamentos, tintas, moquetas, alfombras, sellados de siliconas, vapores de gasolina	Neurológicos	Neurológicos	3/D
Xilenos	Pinturas, barnices, colas y pegamentos, insecticidas	Neurológicos	Neurológicos	3/D

*Nota**Según CIRC: 2B, Carcinógeno posible; 3, No clasificable en cuanto a carcinogenicidad.

***Según EPA:* B2, Carcinógeno posible, con suficiente evidencia en ensayos con animales pero evidencia inadecuada o carencia de datos de estudios epidemiológicos. D, No clasificable en cuanto a carcinogenicidad.

A partir de una amplia revisión bibliográfica se han seleccionado estos tres compuestos, considerándolos como representativos de cara al estudio de la aplicación de la biofiltración en el tratamiento de una atmósfera interior, mencionando los rangos de concentración para

estos entornos, valores extrapolados a partir de la bibliografía y recogidos en la siguiente tabla 4.

Tabla 4: Concentración de compuestos orgánicos volátiles en ambientes escolares, hogares y oficinas

Acetaldehído ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			Tolueno ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			Xyleno ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			m/p-Xyl	o-Xyl	Ref. Bib.
Edificio públicos Escuelas Casas			Casas sin habitar Coches- concesionarios Cocinas rurales Escuelas Transporte público			Casas sin habitar Coches-concesionarios Escuelas Transporte público					
min	max	media	min	max	media	min	max	media	media	media	
1.4	78	16.58	3.6	145.2	23.52	1.6	76.7	7.34			OQAI France (2002)
		11.6			12.2				5.6	2.3	OQAI France (2006)
3.7	41.3	12.8	1.3	160.6	11.7				3.8	1.8	Geiss et al. AIRMEX (2011)
3.24	119	18.9	2.83	122	10.1						Guieysse et al. (2008)
6.4	12		5.7	320					4.6-120	3.5-25	Wang (2007)
1.6	40	14	100	1591	349.6	26.5	1402	253.7			Lim et al. (2011)

6. Tratamientos biológicos

Las recomendaciones que se consideran prioritarias para controlar la contaminación del aire son la identificación de los contaminantes así como los focos generadores de los mismos. Una vez llevada a cabo esta etapa se ha seleccionado la biofiltración como método de tratamiento para eliminar la fuente de contaminación. El objetivo del proyecto es aplicar esta tecnología a los tres COVs seleccionados, que constituirán una atmósfera sintética interior.

Desde hace ya más de una treintena de años se han propuesto los métodos biológicos como una de las alternativas a desarrollar para la eliminación de contaminantes presentes en concentraciones muy bajas donde los métodos fisico-químicos no llegan a tener efectividad a precio razonable.

Para el desarrollo del proyecto se pretende llevar a cabo el arranque de 3 plantas piloto simultáneas. La primera de las plantas tratará una corriente mixta de tolueno y xileno. La segunda degradará inicialmente acetaldehído y la última de las plantas degradará simultáneamente los tres contaminantes seleccionados. La estrategia busca analizar la influencia de los distintos contaminantes en la velocidad de arranque de los sistemas y, por tanto, la interacción entre ellos en el proceso metabólico. Tras la aclimatación de los sistemas de biofiltración, se irán añadiendo el resto de los contaminantes hasta conseguir efectividad en la operación en continuo.

7. Conclusiones

Previa al desarrollo del proyecto, la revisión llevada a cabo ha confirmado la importancia de la contaminación en ambientes interiores y, más específicamente, la debida a compuestos orgánicos volátiles. Las primeras etapas experimentales, han permitido confirmar la viabilidad del tratamiento de los ambientes mediante biofiltración en lecho fijo; los primeros ensayos realizados con corrientes mixtas de tolueno, y xileno, en concentraciones menores a 120 ppm han mostrado la idoneidad del biotratamiento de corrientes contaminadas, consiguiendo eficacias de eliminación mayores del 90% habiendo puesto a punto la identificación y cuantificación de la biomasa responsable del bioproceso. El trabajo que desarrolla continuará introduciendo en la corriente mixta otros contaminantes como el acetaldehído, contaminante también muy frecuente en ambientes interiores, aunque muy bajas concentraciones (<50ppm).

Una vez establecida la sistemática de operación se tiene previsto extender su aplicación a desarrollos comerciales, combinando el soporte adaptado con soportes de filtros comerciales, contribuyendo a completar el tratamiento del aire interior.

Agradecimiento

Agradecemos la financiación recibida por el Gobierno Vasco a través de los Proyectos: BIOADSOR-SAIOTEK S-PE11UN008, TAICAB-Comunidad Transpirenaica-(BOPV nº 247-2011) y BERRILUR-Etortek III IE10-273.

Bibliografía

- Berenguer M.J., & Martí, M.C. (1990) .Ambientes Cerrados: calidad del aire. Instituto nacional de seguridad e higiene en el trabajo (INSHT); NTP 243.
- Darby, S., Hill, D., Auvinen, A., Barrios-Rios, J. M., Baysson, H., Bochicchio, F., Deo, H., Falk, R., Forastiere, F., Hakama, M., Heid, I., Kreienbrock, L., Kreuzer, M., Lagarde, F., Makelainen, I., Muirhead, C., Oberaigner, W., Pershagen, G., Ruano-Ravira, A., Rousteenoja, E., Rosario, A. S., Timarche, M., Tomasek, L., Whitley, E., Wichmann, H. E., & Doll, R. (2005). Radon in homes and risk of lung cancer: Collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies. *British Medical Journal*. 330 (7485) 223-226.
- Destailats, H., Maddalena, R. L., Singer, B. C., Hodgson, A. T., & McKone, T. E. (2008). Indoor pollutants emitted by office equipment: A review of reported data and information needs. *Atmospheric Environment*. 42 (7) 1371-1388.
- Edwards, R. D., Jurvelin, J., Saarela, K., & Jantunen M. (2001). VOC concentrations measured in personal samples and residential indoor, outdoor and workplace microenvironments in EXPOLIS-Helsinki, Finland. *Atmospheric Environment*, 35 (27), 4531-4543.
- Fenger, J. (2009). Air pollution in the last 50 years – From local to global. *Atmospheric Environment*, 43, 13-22.
- Fisk W.J., Black P., & Brunner G. (2011) Benefits and costs of improved IEQ in U. S. offices. *Indoor Air*, 21 (5) 357-67.
- Fisk W.J., Black P., & Brunner G. (2012) Changing ventilation rates in U.S. offices: Implications for health, work performance, energy and associated economics. *Building and environment*. 47, 368-372.

- Geiss, O., Giannopoulos, G., Tirendi, S., Barrero-Moreno, J., Larsern, B.R. & Kotzias, D. (2011). The AIRMEX study-VOC measurements in public buildings and schools/kindergartens in eleven European cities: Statistical analysis of the data. *Atmospheric Environment*, 45, 3676-3684.
- Guardino, X., Crump, D., Berenguer, M.J., Hoffmann, D., & Wynder, J. (1998). *Calidad del aire interior. Enc. enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo.*
- Guieysse, B., Hort, C., Platel, V., Munoz, R., Ondarts, M. & Revah, S. (2008). Biological treatment of indoor air for VOC removal: Potential and challenges. *Biotechnology Advances*, 26 (5), 398-410.
- Kabir, E. & Kim, K. (2011). An investigation on hazardous and odorous pollutant emission during cooking activities. *Journal of Hazardous Materials*, 188, 443-454.
- Kostiainen, R. (1995). Volatile organic compounds in the indoor air of normal and sick houses. *Atmospheric Environment*, 29 (6), 693-702.
- Lim, S., Lee, K., Seo, S. & Jang, S. (2011). Impact of regulation on indoor volatile organic compounds in new unoccupied apartment in Korea. *Atmospheric Environment*, 45 (11), 1994-2000.
- Maroni, M., Seifert, B. & Lindvall, T. (eds) 1995, *Indoor Air Quality A Comprehensive Reference Book*, Elsevier, Amsterdam, Netherlands.
- Missia, L., Dafni A., Demetriou, E., Michael, N., Tolis, E. I., Bartzis, J. G. (2010). Indoor exposure from building materials: A field study. *Atmospheric Environment*, 44 (35), 4388-4395.
- Morales, I.M., Blanco Acevedo, V., & García A. (2010) Calidad del aire interior en edificios de uso público (Dirección General de Ordenación e Inspección. Consejería de Sanidad de la Comunidad de Madrid.
- Moschandreas, D. J., & Chang, P. E. (1994). On the use of a risk ladder: Linking public perception of risks associated with indoor air with cognitive elements and attitudes towards risk reduction. *Atmospheric Environment*, 28 (19), 3093-3098.
- Observatoire de la Qualité de l'Air. (2006). *Campagne nationale logement : Etat de la qualité de l'air dans les logements français.* (DDD/SB – 2006-57). France.
- Observatoire de la Qualité de l'Air. (2002). *Hiérarchisation sanitaire des paramètres mesurés dans les bâtiments par l'observatoire de la qualité de l'air intérieur.* (DDD/SB-2002-46). France.
- Perez-Ballesta, P. Field, R.A, Fernandez-Patier, R., Galan Madruga, D., Connolly, R. Baeza Caracena, A., De Saeger, E. (2008). An approach for the evaluation os exposure patterns of urban polulations to air pollution. *Atmospheric Environment*, 42, 5350-5364.
- Sundell, J. (2004). On the history of indoor air quality and health. *Indoor Air*, 14 (7), 51-58.
- Wang S. (2007). Volatile organic compounds in indoor environment and photocatalytic oxidation: State of the art. *Environment International*, 33, 694-705.
- Weschler, C.J. & Shields, H.C. (1997). Potential reactions among indoor pollutants. *Atmospheric Environment*, 31 (21), 3487-3495.
- Weschler, C.J., Shields, H.C. & Rainer D. (1990). Concentrations of Volatile Organic Compounds at a Building with Health and Comfort Complaints. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 51 (5), 261-268.
- Wolkoff, P., Schneider, T., Kildesø, J., Degerth, R., Jarozewski, M., & Schunk, H. (1998). Risk in cleaning: Chemical and physical exposure. *Science of The Total Environment*, 215 (1-2), 135-156.
- Zhang, J.J., & Smith, K.R. (2003) Indoor air pollution: a global health concern. *British Medical Bulletin*. 68 (1): 209-225.

Correspondencia (Para más información contacte con):

Ana Elías.

Phone: + 34 916014087

Fax: + + 34 916014179

E-mail: ana.elias@ehu.es