



INFORME PROYECTOS— 2024

EVALUACIÓN DE SISTEMAS DE REDUCCIÓN DE EMISIONES DE COV
EN INTERIORES POR MEDIO DE SISTEMAS DE VENTILACIÓN Y USO
DE PLANTAS
“REALCOV”

Informe: “Final de Resultados”

Número de proyecto: 22400008

Expediente: IMAMCA/2024/2

Duración: 01/01/2024 – 31/12/2024

Coordinado en AIDIMME por: Segundo Zamora Blanco



GENERALITAT
VALENCIANA

IVACE+i

INSTITUTO VALENCIANO
DE COMPETITIVIDAD
E INNOVACIÓN

AIDIMME
INSTITUTO TECNOLÓGICO

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN Y JUSTIFICACIÓN. OBJETIVOS DEL PROYECTO	1
2	DESARROLLO DEL PROYECTO. ACTIVIDADES REALIZADAS	15
3	RESULTADOS OBTENIDOS	70
4	RESUMEN Y CONCLUSIONES	73
5	ANEXOS Y BIBLIOGRAFÍA	75

1 Introducción y justificación. Objetivos del proyecto.

El rápido aumento de la urbanización en la población mundial ha impactado en los niveles de contaminación del aire interior y exterior [1]. La contaminación del aire interior afecta especialmente a los países desarrollados donde la gente pasa alrededor del 90 % de su tiempo en interiores. La reciente pandemia sufrida y la adaptación al teletrabajo, nos ha hecho pasar gran parte de nuestro tiempo en casa [2]. Por ello, la OMS (Organización Mundial de la Salud) considera la contaminación del aire como una amenaza ambiental crítica para la salud pública, particularmente en las áreas altamente industrializadas [3]. En 2020, se llegaron a notificar cerca de 3,2 millones de defunciones debido a la contaminación del aire interior, con cuadros médicos de cardiopatía isquémica, enfermedad cerebrovascular e infección de las vías respiratorias [4]. Además, en los países menos desarrollados las tecnologías de combustión continúan siendo ineficientes e incompletas, empleándose combustibles sólidos, impactando gravemente en la salud de mujeres y niños [3].

En conjunto, la contaminación del aire interior es el resultado de fuentes tanto interiores como exteriores. Entre los compuestos que se incluyen en la **Tabla 1**, polvo, agentes biológicos y compuestos químicos, algunos son originados de la combustión de la madera [5], como además, de otros productos que derivan en otras sustancias como son los denominados Compuestos Orgánicos Volátiles (VOCs).

Tabla 1. Contaminantes más comunes en aire interior [2].

Grupo	Compuesto	Fórmula	Valores Límites Interiores - WHO* ($\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$)
Partículas	PM < 10 μm	PM ₁₀	50 (24 h)
	PM < 2,5 μm	PM _{2,5}	25 (24 h)
No COVs	Monóxido carbono	CO	7000 (24 h)
	Dióxido de carbono	CO ₂	1000 ppm
	Dióxido de nitrógeno	NO ₂	200 (1 h)
	Dióxido de sulfuro	SO ₂	0,048 ppm (24 h)
	Ozono	O ₃	120 (8 h)
COVs (BETX)	Benceno	C ₆ H ₆	< 1
	Tolueno	C ₇ H ₈	260
	Etilbenceno	C ₈ H ₁₀	260
	o-xileno	C ₈ H ₁₀	200
	m-xileno	C ₈ H ₁₀	200
	p-xileno	C ₈ H ₁₀	200
COVs	Formaldehído	CH ₂ O	100 ppm (30 min)

*WHO: Organización Mundial de la Salud.

Cabe destacar de la **Tabla 1**, el benceno (BETX) y el formaldehído, clasificados como cancerígenos por la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) [6]. De manera que, dichas sustancias contaminantes, tanto naturales (tormentas, erupciones volcánicas, incendios forestales, erosión de rocas, niebla salina, emisiones gaseosas) como antropogénicas (combustión de combustibles fósiles, industria siderúrgica, procesos industriales, cemento, fundiciones de petróleo, industria de fabricación de vidrio, emisiones de centrales eléctricas, operaciones mineras, quemadas de carbón) a bajas concentraciones, pueden provocar el deterioro del ecosistema y tener un impacto negativo sobre la salud humana [7,8].

En este sentido, principalmente nos centraremos en los contaminantes de aire interior, enriquecidos principalmente por Compuestos Orgánicos Volátiles (VOCs). Sustancias químicas con alta presión de vapor, bajo punto de ebullición y alta reactividad a temperatura ambiente (20 °C y 100 kPa) [9,10,6], que se pueden encontrar en diversidad de materiales de construcción, mobiliario interior, textiles, disolventes, productos de limpieza y que debemos evaluar para controlar su potencial de emisión, **Figura 1**.

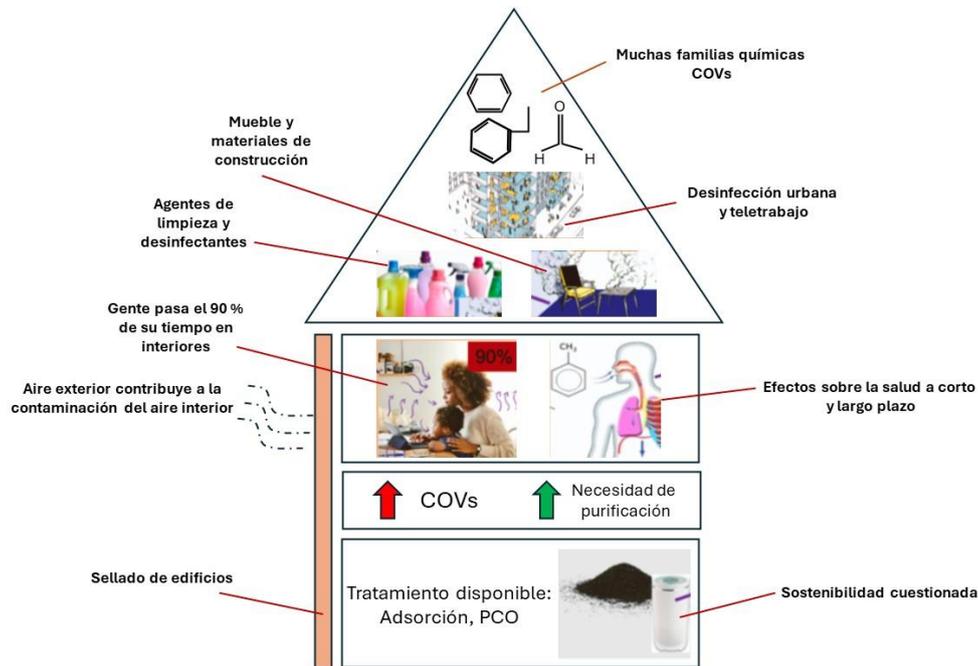


Figura 1. Contaminación del aire interior, fuentes COVs, impacto y tecnologías disponibles. Adsorción de carbón activado, PCO (oxidación fotocatalítica) [2,3,11,12].

Por tanto, la constante evolución de los estilos de vida y los materiales empleados en entornos interiores de inmuebles, han propiciado cambios significativos en la naturaleza y composición de los contaminantes del aire interior y que debemos estudiar a fondo.

Una manera de reducir estas emisiones es aplicar tecnologías físico químicas [13] como la ventilación en cámara o bien, el uso de biosistemas con el empleo de especies de plantas, minimizando con ello el impacto ambiental.

En primer lugar, los sistemas de ventilación (HVAC), **Figura 2**, prevalecen en los edificios bajo el principio de dilución, reemplazando el aire interior por aire exterior, supuestamente menos contaminado, controlando por tanto el flujo de renovación de aire [14]. Desempeñan un papel importante en el confort y seguridad de la calidad del aire interior (IAQ). Sin embargo, estos sistemas representan entre el (40-60) % del uso de energía en edificios [15].

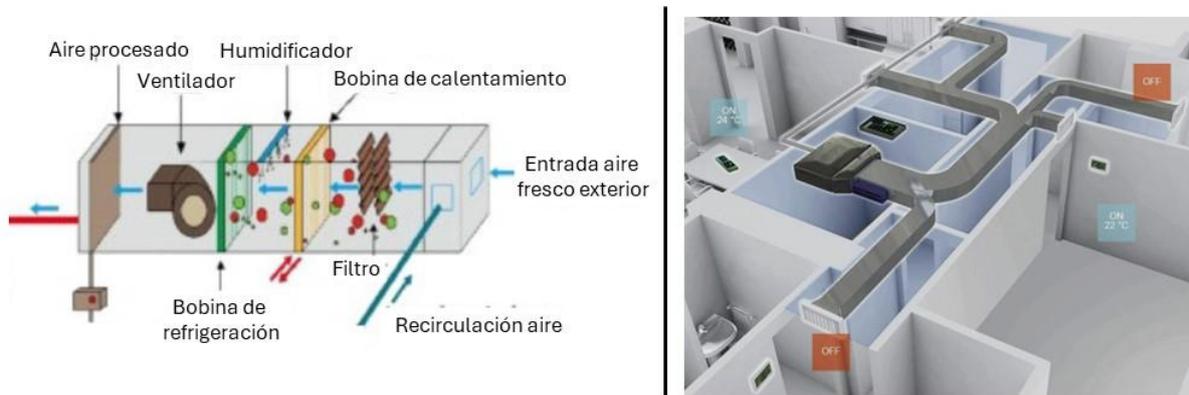


Figura 2. Sistema HVAC en edificios residenciales [16,17]. Aireación por conductos [18].

En cuanto al empleo de biosistemas, se pueden utilizar plantas en macetas, paredes verdes de manera pasiva, o bien una combinación activa mediante un sistema de biofiltración con recirculación de agua como se muestra en la **Figura 3**, es decir, sistemas emergentes que pueden purificar eficientemente el aire interior [19,20].

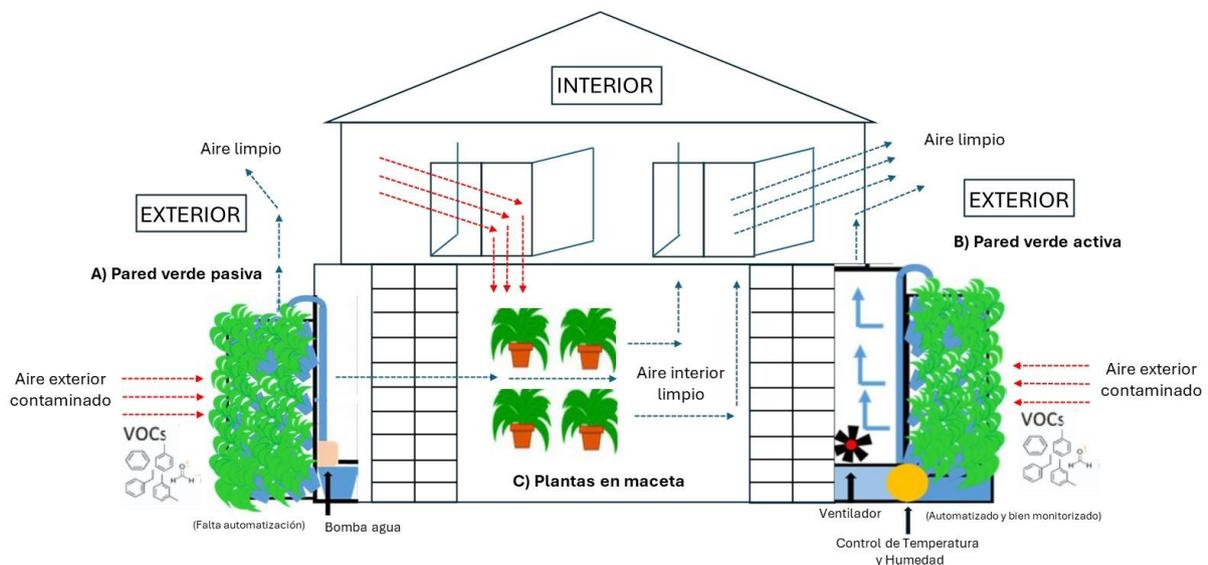


Figura 3. Purificación en vivienda del aire exterior/interior a través de paredes verdes verticales y plantas en maceta. A) Pared verde pasiva, permite la filtración del aire contaminado de forma natural sin ningún soporte mecánico y automatización. B) Pared verde activa, paredes con circulación de aire donde mecánicamente se extrae el aire contaminado y se hace pasar a través de un sistema de plantas y sustrato. C) Plantas en maceta, el aire contaminado se difunde a través de las hojas y sustrato de la planta [7].

Estos sistemas de paredes verdes pueden ocupar espacios adecuados en un inmueble. A su vez, las plantas pueden crecer en un sustrato-suelo, en macetas o jardineras con suministro opcional

de agua. Generalmente, estos muros verdes se componen de elementos continuos o modulares, tramos plantados o cubiertas que se fijan a paredes u otras estructuras de construcción, **Figura 4** [21,22,23].

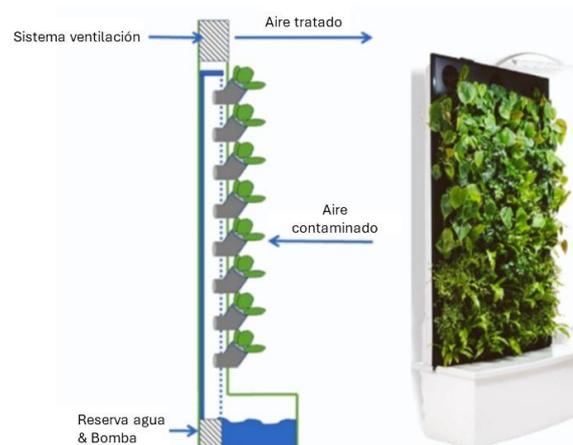


Figura 4. Biofiltro botánico activo (Naava One) para la eliminación de metiletilacetona en una cámara climática de 30 m³ [24].

El mecanismo principal de estos biosistemas es la biodegradación del contaminante orgánico, además de otros componentes como partículas de materia y CO₂. La reducción de estos contaminantes se basa en el proceso de la “fitorremediación”, **Figura 5**, donde se lleva a cabo una interacción por medio de una absorción del contaminante entre las partes aéreas de la planta con los microorganismos asociados tanto con la filosfera como con la rizosfera de la especie vegetal, catabolizando con ellos los gases tóxicos tanto en ambientes interiores como exteriores. Esta acción combinada es capaz de transformar o eliminar estos gases empleándolos como fuente de energía [7,28].

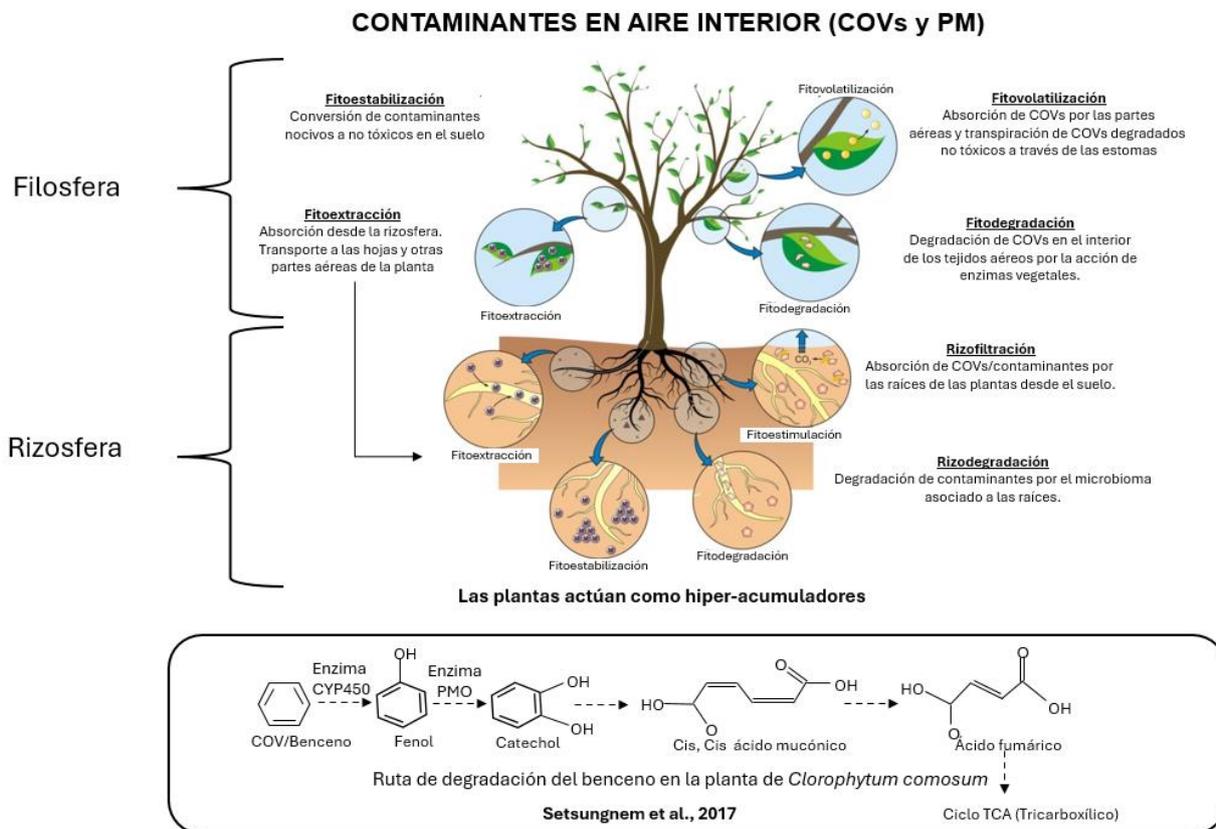


Figura 5. Mecanismos de fitorremediación basado en plantas para la mitigación de la contaminación del aire en interiores [7,30,31].

Por tanto, la eliminación de contaminantes en interiores se puede lograr con el uso tanto de sistemas pasivos (plantas en macetas o una pared verde activa) como activos (biofiltración de plantas o una pared verde activa, respectivamente) [29]. Por otro lado, el rango de eliminación se encuentra entre (50-90) % y el consumo de energía es muy bajo [2].

Como ejemplos reales basados en estos tipos de biosistemas activos con especies de plantas, tenemos los que son colocados en áreas donde la contaminación del aire se puede filtrar directamente, Figuras 6, 7 y 8.



Figura 6. Muros verdes en Sydney, Australia [25].



Figura 7. Centro comercial (Norteshopping, Matosinhos - Portugal) [26].



Figura 8. L'Espai Verd (Barrio de Benimaclet, Valencia - España) [27].

1.1 Determinación de COVs por el método de termo-desorción térmica y detección de formaldehído con cartuchos DNPH y por el método acetil-acetona.

La determinación de compuestos orgánicos volátiles (COVs) en aire de interiores y en cámaras de ensayo, se basa en un método de muestreo activo con adsorbente Tenax con posterior desorción térmica y separación por cromatografía de gases, empleando un detector de masas (MS/FID). El procedimiento de ensayo está basado en las normativas UNE-ISO 16000-6:2019 [32] e ISO 16000-6:2021 [33].

Destacamos a continuación los aspectos más significativos de la revisión de estas normas:

➤ *Acondicionamiento de los tubos adsorbentes antes del muestreo*

Antes de cada muestreo, se acondicionan los tubos de muestreo pasando durante 10 min un caudal de helio de 0,050 l/min, calentando a su vez a 300 °C, con el fin de eliminar las trazas de orgánicos volátiles que puedan quedar en el tubo.

➤ *Realización del blanco de medida*

Se debe tomar un blanco de medida en la cámara de ensayo donde se va a introducir la muestra. La cámara estará en las mismas condiciones que la muestra a ensayar.

➤ *Muestreo de aire en cámaras de ensayo y principio de desorción térmica*

Se calibra el caudal de aire empleado para el muestreo de la muestra. Para ello se utiliza un tubo de termodesorción. El rango de calibrado se encuentra entre 50 ml/min y 200 ml/min, siendo a su vez registrado dicho valor. Además, el flujo de muestreo no debe sobrepasar el 80 % del caudal de aire de la cámara. El volumen captado de aire procedente de la cámara de ensayo y aspirado por uno o varios tubos adsorbentes, contienen los COVs retenidos para su posterior análisis en el laboratorio, **Figura 9**. Seguidamente son desorbidos térmicamente y transferidos por el gas portador inerte mediante una trampa/sorbente fría a un cromatógrafo de gases donde son separados, equipado con una o varias columnas capilares y un detector de ionización de llama (FID) y/o un detector de espectrometría de masas (MS), cuyo principio se describe en la norma ISO 16017-1.

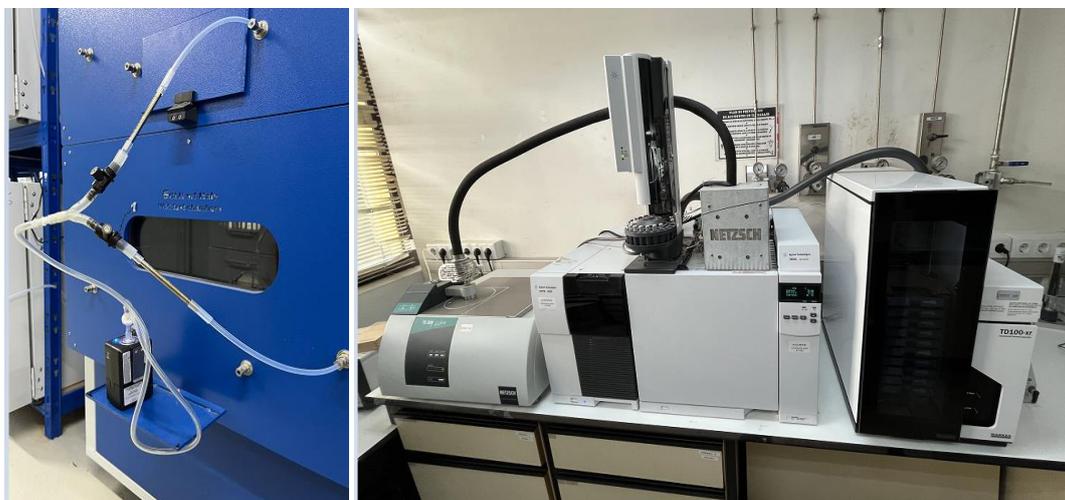


Figura 9. Muestreo del aire interior en cámara por medio de tubos Tenax, y análisis de COVs por desorción térmica y separación por cromatografía gas (GC) acoplado a un detector de masas (MS).

➤ **Condiciones de desorción térmica**

Temperatura de desorción	[260 - 280] °C
Caudal de gas de desorción	50 ml/min
Temperatura superior de la trampa fría	280 °C
Temperatura inferior de la trampa fría	-20 °C
Adsorbente de la trampa fría	Tenax
Temperatura de la línea de transferencia	150 °C

Programa de temperatura:

Velocidad (°C/min)	Temperatura (°C)	Tiempo (min)
	40	5
10	300	5

➤ **Identificación y cuantificación de COVs**

Se identifican la mayor cantidad de componentes orgánicos volátiles posibles, que tengan concentraciones superiores a 2 µg/m³ y que se encuentren comprendidos entre el tiempo de retención del cromatograma del hexano y del hexadecano, ambos incluidos.

Los compuestos identificados se cuantifican empleando sus factores de respuesta individuales cuando el compuesto de referencia está disponible. El resto de los casos se semi-cuantifican empleando el factor de respuesta del tolueno. En este sentido, las áreas de los picos de un COV individual en un cromatograma, son proporcionales a la masa del componente inyectado. Para cada componente, se determina la relación entre la masa del analito inyectado y el área del pico correspondiente.

En lo que respecta a la determinación de formaldehído en aire de interiores y cámaras de ensayo, el proceso de muestreo es específico y también activo, basado en las normativas UNE-ISO 16000-3:2022 [34] e UNE-EN 16516:2018 + A1 [35].

Destacamos a continuación los aspectos más significativos de la revisión de estas normas:

➤ *Tomas de muestra de aire*

Regulamos el caudal de aire con un regulador de flujo másico. El muestreo debe ser al menos, un 20 % menor al caudal máximo que pueda regular el equipo. Debemos cerciorarnos de que no existan fugas en el sistema y que la bomba mantenga un flujo estacionario durante todo el muestreo.

Para el calibrado del caudal de aire utilizamos un cartucho de muestreo, **Figura 10**, que simule la retención de caudal. Se debe calibrar para conseguir un caudal entre 0,5 L/min y 1,2 L/min. El caudal normalmente empleado para un cartucho es de 1,0 L/min y de 0,8 L/min para dos cartuchos en serie. Para ello, se mide y se registra el caudal al principio y al final del muestreo para determinar el volumen muestreado.

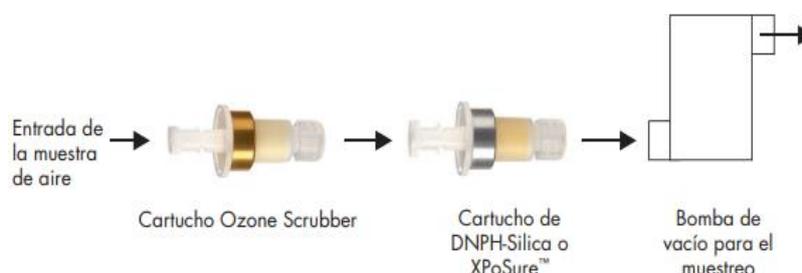


Figura 10. Muestreo de aire interior con cartuchos DNP para la detección de formaldehído [36].

El cartucho de DNPH debe ser manipulado con guantes antes y después del muestreo y preacondicionado a una temperatura superior a 10 °C antes de ser conectado al sistema para muestrear, conviene seguir las indicaciones del fabricante. La recogida de muestra se hace por duplicado simultáneamente. A posteriori, tras el muestreo, se retira el cartucho del sistema de muestreo y se sella con los tapones del fabricante y se introduce en una bolsa sellada con el fin de evitar contaminaciones cruzadas. A continuación, se almacena en frigorífico hasta su análisis. El periodo de almacenamiento previo al análisis no debe exceder de 30 días. En el caso de ser analizado por un laboratorio externo, el periodo del cartucho fuera del frigorífico debe ser mínimo, preferiblemente inferior a 2 días.

➤ **Realización del blanco de medida**

Se realiza como mínimo, un blanco de medida para el grupo de muestras analizadas. En el caso del muestreo en cámara de emisión, el blanco se ha de tomar de una cámara vacía en las mismas condiciones de medida que las muestras.

➤ **Desorción de la muestra y análisis/separación de formaldehído por HPLC**

En primer lugar se conecta el cartucho de medida a una jeringa limpia. El flujo de líquido durante la desorción debe ir en la misma dirección que el flujo de aire durante el muestreo, con el fin de evitar que partículas insolubles pasen al eluato. Seguidamente, se emplaza el cartucho y la jeringa en el útil designado para ello. Después se realiza la desorción de los derivados carbonílicos del DNPH y el DNPH que no ha reaccionado (por gravedad), haciendo pasar 5 mL de acetonitrilo desde la jeringa a través del cartucho de DNPH hasta una probeta graduada o un matraz volumétrico de 5 mL. Dependiendo del cartucho empleado, otros volúmenes de acetonitrilo podrían ser adecuados.

Finalmente se pipetea una alícuota para introducirla en un vial de muestreo con septum y se analiza su contenido por cromatografía líquida HPLC, **Figura 11**.



Columna :	Nova-Pak® C ₈ 3,9 x 150 mm	1. DNPH
Muestra :	mezcla de DNPH y DNPH-derivados disueltos en acetonitrilo	2. Formaldehído-DNPH
Fase móvil :	A: agua/acetonitrilo/tetrahidrofurano 60/30/10 v/v/v	3. Acetaldehído-DNPH
	B: agua/acetonitrilo 40/60 v/v 3 mL	4. Acetona-DNPH
Gradiente:	100% A durante 1 minuto y a continuación, gradiente lineal de 100% A a 100% B en 10 minutos	5. Acroleína-DNPH
Caudal :	1,5 mL/min	6. Propionaldehído-DNPH
Volumen inyectado :	20 µL	7. Crotonaldehído-DNPH
Detección:	360 nm	8. Butanona-DNPH
		9. Butiraldehído-DNPH
		10. Benzaldehído-DNPH
		11. Isovaleraldehído-DNPH
		12. Valeraldehído-DNPH
		13. o-Tolualdehído-DNPH
		14. m-Tolualdehído-DNPH
		15. p-Tolualdehído-DNPH
		16. Hexaldehído-DNPH
		17. 2,5-Dimetilbenzaldehído-DNPH

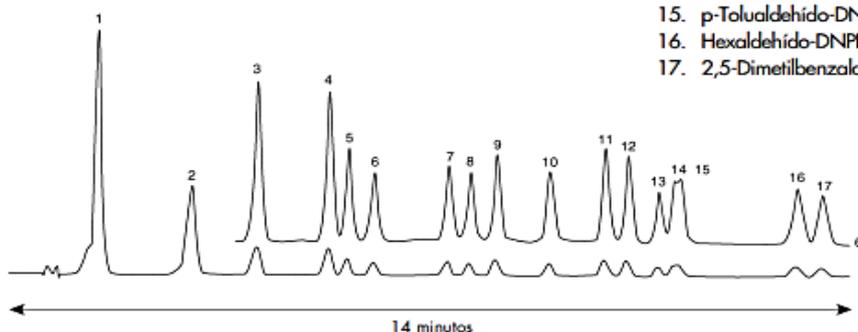


Figura 11. Análisis y separación de formaldehído por HPLC (cromatografía líquida) y otros derivados aldehídos/cetonas comunes por DNPH [36].

Por otra parte, la determinación de formaldehído también puede llevarse a cabo por medio de procedimientos fotométricos basados en la técnica de espectrofotometría UV-Vis. Dicho método consiste, en la derivatización del analito mediante otros compuestos químicos (método

de la acetilacetona o método del ácido cromotrópico), donde el formaldehído es capaz de ser detectado en las longitudes de onda asociadas a la técnica. En nuestro caso, emplearemos este procedimiento de ensayo en la medición de aire interior y cámaras de ensayo basado en las normativas ASTM E 1333-14 [37], ASTM D 6007-14 [38] y EN 717-1:2006 [39].

Destacamos a continuación en la **Tabla 2** los aspectos más importantes y comunes de la revisión de estas normas:

Tabla 2. Condiciones de ensayo según norma [37,38,39].

	ASTM E 1333-14	ASTM D 6007-14	UNE EN 717-1:2006
Temperatura (°C)	25 ± 1	25 ± 1	23 ± 0,5
Humedad relativa (%)	50 ± 4	50 ± 4	45 ± 3
Renovación de aire (/h)	0,5	0,5	1,0
Tiempo de ensayo (h)	16-20	16-20	24
Análisis CH₂O* (gas)	Acetilacetona	Acetilacetona	Acetilacetona

*CH₂O: Formaldehído.

➤ **Método de análisis gas de formaldehído y cuantificación por espectrofotometría UV-Vis**

En cuanto al método de análisis gas, la detección de formaldehído es común para estas normativas, basada en la reacción en fase líquida de formaldehído con acetil acetona (2,4 pentadiona) y acetato amónico. Esta reacción produce el 3,5 diacetil-1,4 dihidrolutidina (DDL), el cual es absorbido a luz UV 412 nm y muestra una fuerte fluorescencia en torno a 510 nm, **Figuras 12 y 13** [40].

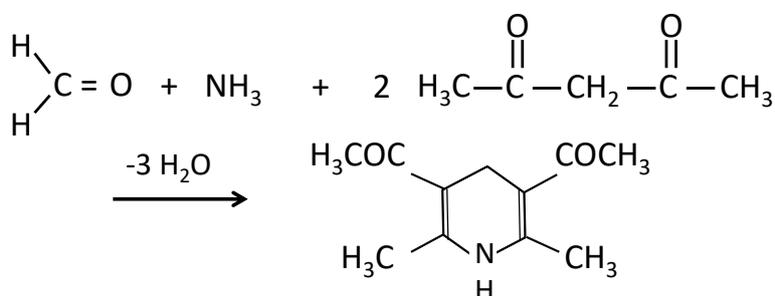


Figura 12. Reacción de Hantzsch. Detección del DDL (amarillo).

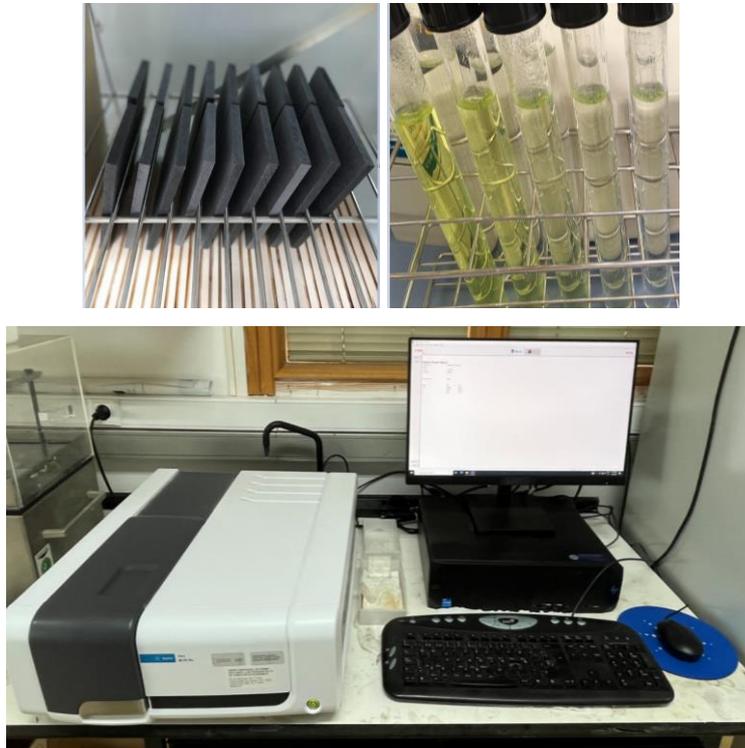


Figura 13. Detección de formaldehído gas a partir de tableros derivados de la madera y cuantificación en fase líquida por espectrofotometría UV-Vis a $\lambda = 412 \text{ nm}$ [37,38,39].

Conviene indicar que la continua actualización de las diferentes legislaciones existentes, obligan a mejorar la sensibilidad de los métodos de medición existentes, aumentando con ello la precisión de las medidas. En este sentido, la determinación de formaldehído es cada vez más compleja en cuanto a la elección del método a aplicar, y a su vez, hemos de tener en cuenta las restricciones impuestas en los bajos límites de detección de formaldehído dificultando con ello la competitividad en las numerosas industrias.

1.2 Objetivos del proyecto.

El presente proyecto tiene como finalidad evaluar la calidad del aire en interiores de espacios confinados, simulando además, escenarios de habitabilidad en situaciones reales. Para ello, la investigación se centra en la reducción de emisiones de COV estudiando la influencia de sistemas de ventilación aplicados a un entorno habitable o espacio reducido y por otra parte, evaluando el mismo efecto cuando empleamos biosistemas basados en plantas de diferentes especies.

- Evaluar y analizar la exposición de COVs más comunes en lugares habitables de interior.
- Estudiar la equivalencia de las emisiones en situación real en volúmenes confinados, influencia del volumen en cámara grande y pequeña.
- Modular los niveles de aireación en la reducción de emisiones de COV, simulando un escenario habitable interior con el empleo de una cámara de grandes dimensiones (60 m³).
- Evaluar las emisiones de COV por influencia de especies de plantas en interiores.

1.3 Alcance, colaboradores y público objetivo.

Sectores Objetivos por CNAE

CNAE: 0162 - Actividades de apoyo a la ganadería - Nº de empresas objetivo: 3 (1 de la Comunidad Valenciana)

CNAE: 1621 - Fabricación de chapas y tableros de made - Nº de empresas objetivo: 491 (210 de la Comunidad Valenciana)

CNAE: 20 - Industria química - Nº de empresas objetivo: 1 (0 de la Comunidad Valenciana)

CNAE: 1622 - Fabricación de suelos de madera ensambla - Nº de empresas objetivo: 39 (10 de la Comunidad Valenciana)

CNAE: 1624 - Fabricación de envases y embalajes de ma - Nº de empresas objetivo: 385 (116 de la Comunidad Valenciana)

CNAE: 1629 - Fabricación de otros productos de madera - Nº de empresas objetivo: 1280 (272 de la Comunidad Valenciana)

CNAE: 205 - Fabricación de otros productos químicos - Nº de empresas objetivo: 1 (0 de la Comunidad Valenciana)

2 Desarrollo del proyecto. Actividades realizadas.

2.1 Influencia de la renovación de aire, temperatura y humedad. Principio de dilución en la reducción de COVs y formaldehído en cámaras de diferente volumen.

▪ Cámara 225 L

Partimos de tres fuentes de COVs como son una vela aromatizada, un barniz al agua para interiores y un ambientador de coche con el fin de introducirlos de forma independiente en una cámara de emisión pequeña, **Figura 14**.



Figura 14. Fuentes COVs: Vela aromatizada, barniz al agua para interiores y un ambientador de coche respectivamente.

Una vez dentro dichas muestras, programamos la cámara a norma ISO 16000-9 (a 23 °C y 50 % Hr) y regulamos la renovación de aire en diferentes modulaciones, desde sin renovación de aire, media renovación y una renovación. El objetivo es obtener un barrido de COVs emitidos en sus respectivas cámaras, teniendo en cuenta además, las condiciones de humedad y temperatura de la norma y centrarnos en algunos de sus componentes orgánicos para estudiar su evolución con el efecto de la dilución de aire.

Los resultados se detallan a continuación:

❖ Ambientador de coche

En la **Figura 15** representamos la comparativa entre cromatogramas de los barridos de COVs emitidos modulando la regulación de aire. Con ello, destacamos la disminución de ciertos componentes COVs en cuanto a la intensidad de sus áreas cromatográficas, conforme aumentamos la renovación de aire.

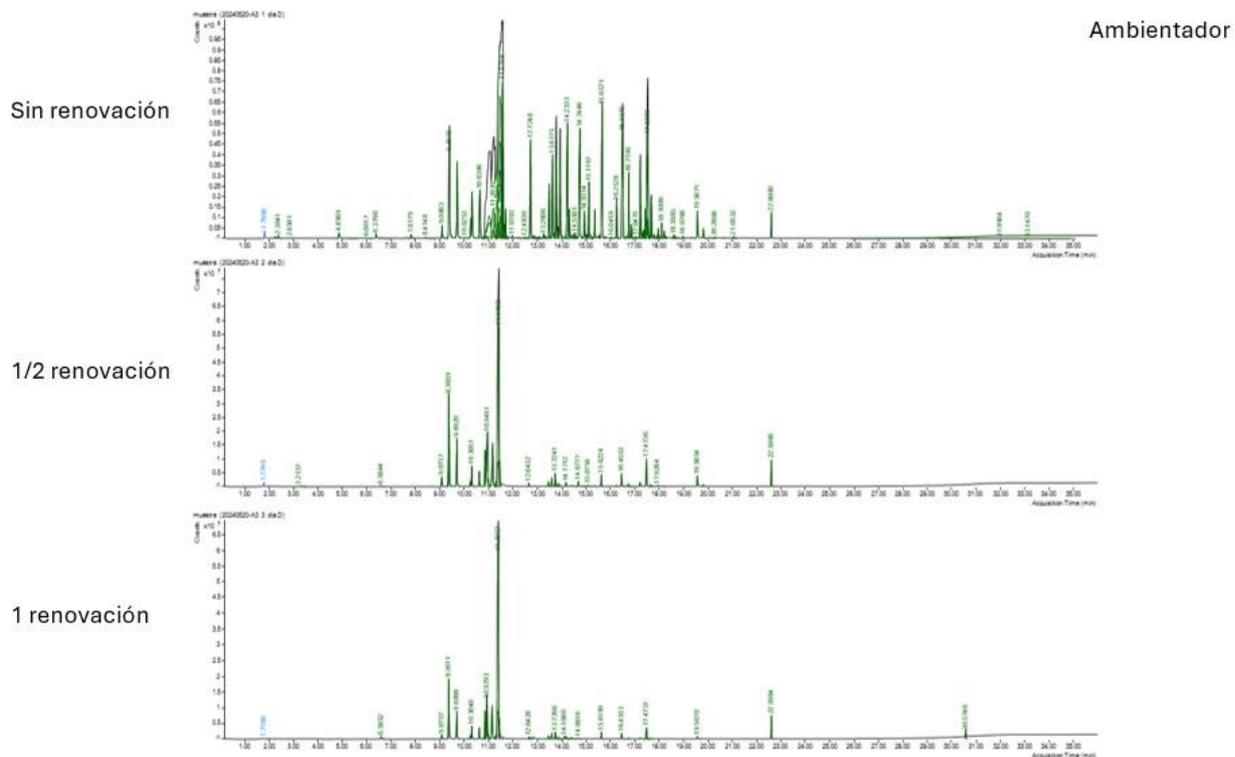


Figura 15. Ambientador de coche. Comparativa de espectros COVs conforme aumenta la renovación de aire en cámara pequeña.

En la siguiente **Tabla 3**, se detallan los tiempos de respuesta, áreas cromatográficas y concentraciones de algunos de los componentes orgánicos volátiles que se han emitido en cámara según la renovación de aire aplicada.

“REALCOV” - Evaluación de sistemas de reducción de emisiones de COV en interiores por medio de sistemas de ventilación y uso de plantas

Tabla 3. Barrido de COVs con un ambientador de coche en cámara de emisión de 225 L.

AMBIENTADOR DE COCHE - (SIN RENOVACIÓN AIRE)						
TR ^(a) componente	Nombre del componente	Match Factor ^(b)	CAS# ^(c)	Área componente	µg	(µg/m ³)
9,39	2,4,6-Octatriene, 2,6-dimethyl-, (E,E)-	81,4	3016-19-1	116493178	1,58	328,31
11,58	Cyclohexene, 3-methyl-6-(1-methylethylidene)-	84,4	586-63-0	267988645	0,0013	< 2
11,58	Bicyclo[2.2.1]heptane, 7,7-dimethyl-2-methylene-	86,1	471-84-1	278564432	3,78	784,70
12,72	Linalool	98,4	78-70-6	116394725	1,58	328,04
13,62	l-Menthone	98,9	14073-97-3	78144472	1,06	220,33
14,23	L-.alpha.-Terpineol	97,8	10482-56-1	144759591	1,96	407,91
14,74	Citronellol	98,6	106-22-9	154407267	2,09	435,08
15,66	Bicyclo[2.2.1]heptan-2-ol, 1,7,7-trimethyl-, acetate, (1S-endo)-	98,9	5655-61-8	159452816	2,16	449,29
16,50	.delta.-Terpineol, acetate	87,9	93836-50-1	174163864	2,36	490,71
17,54	Tetracyclo[3.3.1.1(2,7).0(4,6)]fegan-3-ol, acetate	83,1	1000188-03-8	161948317	2,20	456,31
22,60	7-Acetyl-6-ethyl-1,1,4,4-tetramethyltetralin	97,4	88-29-9	21203645	0,29	59,98

^(a) TR: Tiempo de respuesta; ^(b) Match Factor: Factor de confianza de identificación del componente; ^(c) CAS#: Número de registro químico.

“REALCOV” - Evaluación de sistemas de reducción de emisiones de COV en interiores por medio de
sistemas de ventilación y uso de plantas

AMBIENTADOR DE COCHE - (1/2 RENOVACIÓN AIRE)

TR ^(a) componente	Nombre del componente	Match Factor ^(b)	CAS# ^(c)	Área componente	µg	(µg/m ³)
9,37	.alpha.-Pinene	98,7	80-56-8	75663805	1,03	220,30
10,95	2-Propanol, 1-(2-methoxy-1-methylethoxy)-	92,8	20324-32-7	58556543	0,80	170,55
11,42	Tricyclo[5.2.1.0(1,5)]decane	84,7	1000190-80-8	231584842	3,14	673,68
12,64	Linalool	99,0	78-70-6	2453491	0,03	7,42
13,58	l-Menthone	99,1	14073-97-3	5701961	0,08	16,86
13,76	l-Menthone	97,9	14073-97-3	1761755	0,03	5,41
14,17	L-.alpha.-Terpineol	98,4	10482-56-1	2751076	0,04	8,28
15,62	Bicyclo[2.2.1]heptan-2-ol, 1,7,7-trimethyl-, acetate, (1S-endo)-	99,3	5655-61-8	7301491	0,10	21,52
17,47	Indan-1,3-diol monoacetate	92,9	1000132-07-4	19885543	0,27	58,11
22,60	7-Acetyl-6-ethyl-1,1,4,4-tetramethyltetralin	97,4	88-29-9	15744480	0,21	46,07

^(a) TR: Tiempo de respuesta; ^(b) Match Factor: Factor de confianza de identificación del componente; ^(c) CAS#: Número de registro químico.

“REALCOV” - Evaluación de sistemas de reducción de emisiones de COV en interiores por medio de sistemas de ventilación y uso de plantas

AMBIENTADOR DE COCHE - (1 RENOVACIÓN AIRE)

TR ^(a) componente	Nombre del componente	Match Factor ^(b)	CAS# ^(c)	Área componente	µg	(µg/m ³)
10,84	2-Propanol, 1-(2-methoxy-1-methylethoxy)-	98,5	20324-32-7	17854914,31	0,24	47,50
10,93	2-Propanol, 1-(2-methoxy-1-methylethoxy)-	95,5	20324-32-7	27817207,91	0,38	73,85
11,14	2-Propanol, 1-(2-methoxy-1-methylethoxy)-	98,8	20324-32-7	24483573,32	0,33	65,03
11,40	Cyclohexene, 5-methyl-3-(1-methylethenyl)-, trans-(-)-	92,8	56816-08-1	195993621,7	2,66	518,78
12,64	Linalool	98,1	78-70-6	1248852	0,02	3,56
13,58	l-Menthone	99,0	14073-97-3	3318834,432	0,05	9,04
13,76	l-Menthone	97,4	14073-97-3	993014,6141	0,01	2,89
14,17	L-alpha.-Terpineol	97,2	10482-56-1	1217785,156	0,02	3,48
15,62	Bicyclo[2.2.1]heptan-2-ol, 1,7,7-trimethyl-, acetate, (1S-endo)-	99,4	5655-61-8	3857841,808	0,05	10,46
17,47	Indan-1,3-diol monoacetate	92,6	1000132-07-4	7390375,785	0,10	19,81
17,47	Indan-1,3-diol monoacetate	92,6	1000132-07-4	7478822,393	0,00	< 2
22,60	7-Acetyl-6-ethyl-1,1,4,4-tetramethyltetralin	97,5	88-29-9	11937425,69	0,16	31,84

^(a) TR: Tiempo de respuesta; ^(b) Match Factor: Factor de confianza de identificación del componente; ^(c) CAS#: Número de registro químico.

Seguidamente de los espectros mostrados y los datos de la **Tabla 3**, nos centramos en cuatro de sus componentes orgánicos y estudiamos el efecto de la dilución de aire en cámara de emisión, **Tabla 4** y **Figura 16**.

Tabla 4. COVs seleccionados y variación de la concentración con el aumento de la renovación de aire.

T. Respuesta	Contaminantes	Sin renovación	1/2 renovación	1 renovación
		aire	aire	aire
		c (µg/m ³)	c (µg/m ³)	c (µg/m ³)
12,72	Linalool	328,04	7,42	3,56
14,23	L-.alpha.-Terpineol	407,91	8,28	3,48
15,66	Bicyclo[2.2.1]heptan-2-ol, 1,7,7-trimethyl-, acetate, (1S-endo)-	449,29	21,52	10,46
22,60	7-Acetyl-6-ethyl-1,1,4,4-tetramethyltetralin	59,98	46,07	31,84

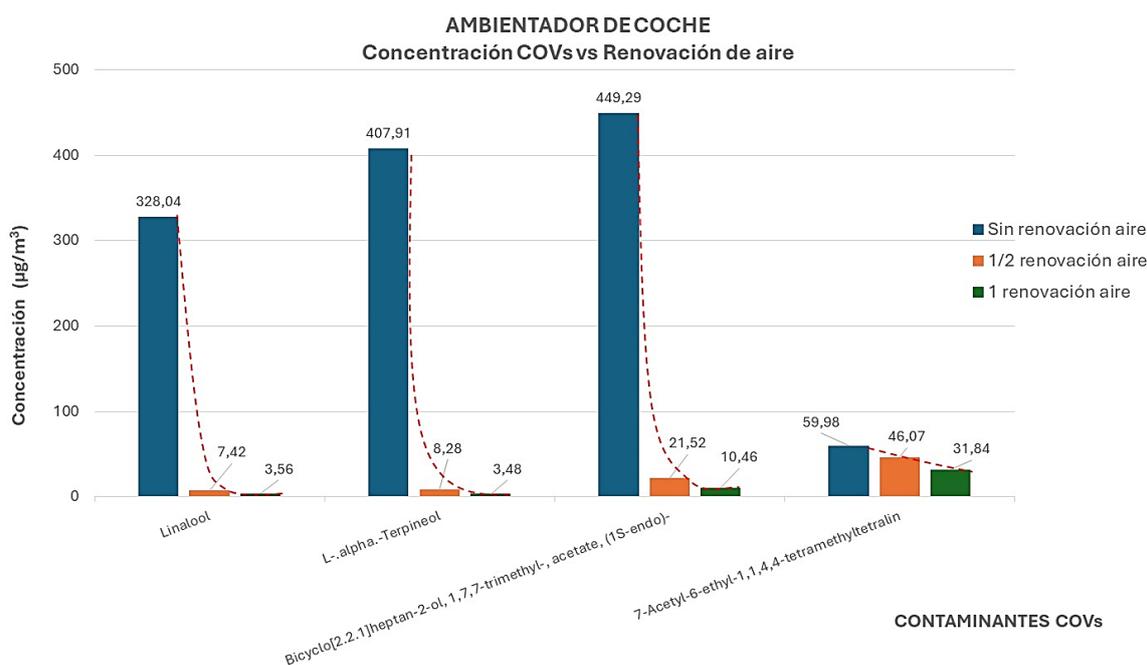


Figura 16. Ambientador de coche. Comparativa de la concentración de COVs seleccionados conforme aumenta la renovación de aire en cámara pequeña.

En consecuencia de la disminución de las concentraciones de los compuestos orgánicos volátiles con el efecto de la dilución de aire en cámara, calculamos el % de eliminación de cada uno de ellos, **Figura 17**. Destacamos que con solo media renovación de aire en cámara, eliminamos más del 95 % de la mayoría de los componentes orgánicos en cámara.

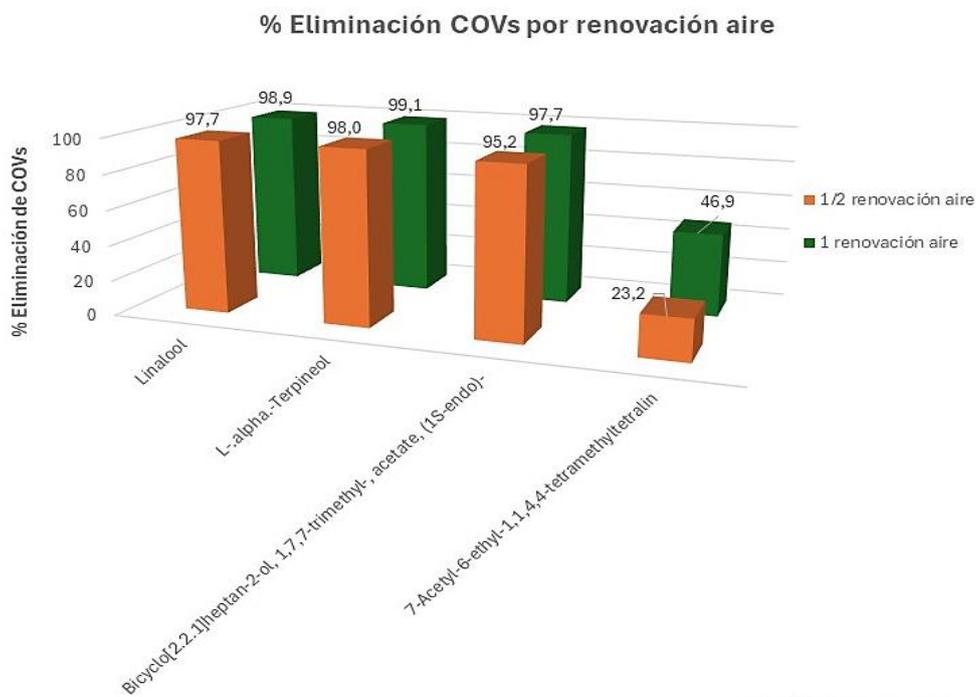


Figura 17. Ambientador de coche. Comparativa del % de eliminación de COVs seleccionados conforme aumenta la renovación de aire en cámara pequeña.

❖ **Vela aromatizada**

En este caso representamos en la **Figura 18** la comparativa de especies de COVs emitidos por la vela aromatizada conforme aumentamos la renovación de aire en cámara. Al igual que anteriormente, existen ciertos COVs que disminuyen su intensidad y áreas cromatográficas conforme aumentamos la renovación de aire.

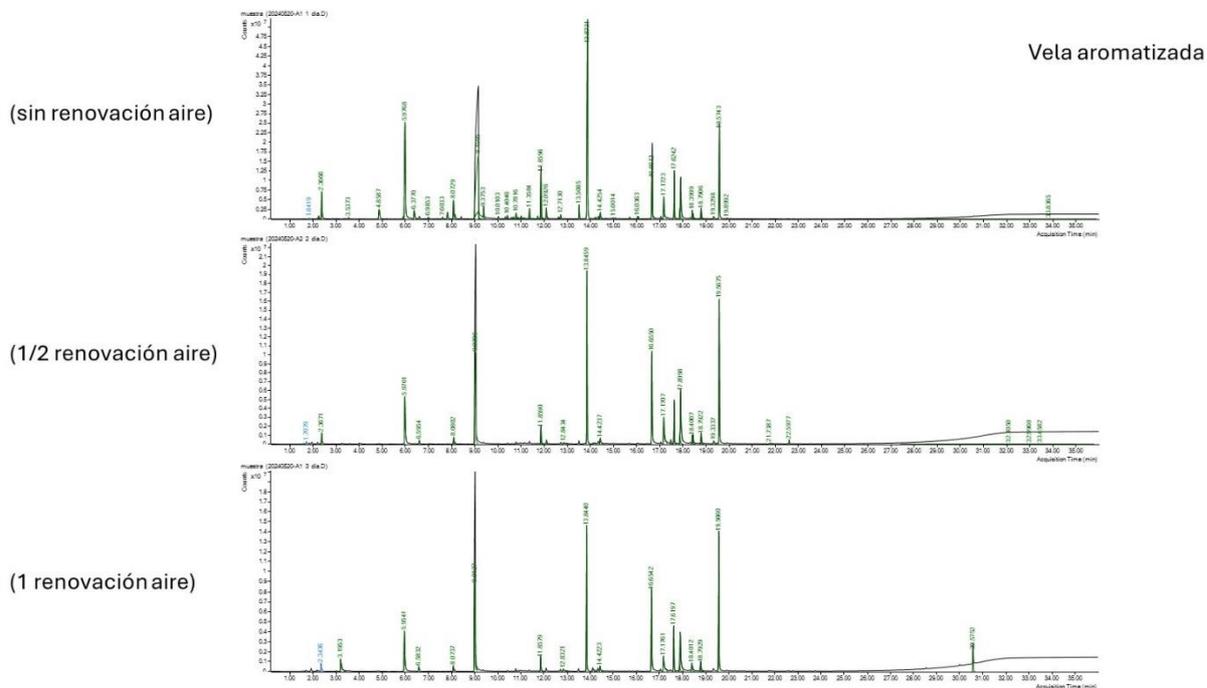


Figura 18. Vela aromatizada. Comparativa de espectros COVs conforme aumenta la renovación de aire en cámara pequeña.

En la siguiente **Tabla 5**, se detallan los tiempos de respuesta, áreas cromatográficas y concentraciones de algunos de los componentes orgánicos volátiles que se han emitido en cámara según la renovación de aire aplicada.

“REALCOV” - Evaluación de sistemas de reducción de emisiones de COV en interiores por medio de sistemas de ventilación y uso de plantas

Tabla 5. Barrido de COVs con una vela aromatizada en cámara de emisión de 225 L.

VELA AROMATIZADA - (SIN RENOVACIÓN AIRE)						
TR ^(a) componente	Nombre del componente	Match Factor ^(b)	CAS# ^(c)	Área componente	µg	(µg/m ³)
2,37	Ethyl Acetate	99,1	141-78-6	15962943,95	0,22	40,77
5,98	Butanoic acid, ethyl ester	98,3	105-54-4	79002160,32	1,07	200,80
9,15	Hydrazine, 1-methyl-1-(2-propenyl)-	69,0	20240-70-4	14970800,7	0,20	38,25
11,86	Butanoic acid, 3-methylbutyl ester	95,0	106-27-4	20560546,61	0,28	52,44
13,87	3,5,5-Trimethylhexyl acetate	99,1	58430-94-7	136991413	1,86	348,01
16,66	3H-1,2,4-Triazol-3-one, 1,2-dihydro-	97,1	930-33-6	27347634,31	0,37	69,67
17,62	Oxiranecarboxylic acid, 3-methyl-3-phenyl-, ethyl ester, cis-	98,8	19464-95-0	20667441,86	0,28	52,71
19,57	Diethyl Phthalate	98,9	84-66-2	48695700,87	0,66	123,87

^(a) TR: Tiempo de respuesta; ^(b) Match Factor: Factor de confianza de identificación del componente; ^(c) CAS#: Número de registro químico.

“REALCOV” - Evaluación de sistemas de reducción de emisiones de COV en interiores por medio de sistemas de ventilación y uso de plantas

VELA AROMATIZADA - (1/2 RENOVACIÓN AIRE)

TR ^(a) componente	Nombre del componente	Match Factor ^(b)	CAS# ^(c)	Área componente	µg	(µg/m ³)
2,37	Ethyl Acetate	98,7	141-78-6	2756825,964	0,04	8,27
5,97	Butanoic acid, ethyl ester	98,7	105-54-4	15574758,08	0,21	45,39
9,03	Butanoic acid, 2-methyl-, pentyl ester	78,6	68039-26-9	29990802,28	0,41	87,14
11,86	Butanoic acid, 3-methylbutyl ester	95,4	106-27-4	3115206,299	0,04	9,30
13,85	3,5,5-Trimethylhexyl acetate	99,6	58430-94-7	32861018,65	0,45	95,45
16,66	2(3H)-Furanone, dihydro-5-pentyl-	96,4	104-61-0	20535410,1	0,28	59,75
17,62	Oxiranecarboxylic acid, 3-methyl-3-phenyl-, ethyl ester, cis-	98,6	19464-95-0	7969839,74	0,11	23,36
17,90	Ethyl Vanillin	98,4	121-32-4	14100848,73	0,19	41,12
19,57	Diethyl Phthalate	99,0	84-66-2	29804395,53	0,41	86,60

^(a) TR: Tiempo de respuesta; ^(b) Match Factor: Factor de confianza de identificación del componente; ^(c) CAS#: Número de registro químico.

“REALCOV” - Evaluación de sistemas de reducción de emisiones de COV en interiores por medio de sistemas de ventilación y uso de plantas

VELA AROMATIZADA - (1 RENOVACIÓN AIRE)

TR ^(a) componente	Nombre del componente	Match Factor ^(b)	CAS# ^(c)	Área componente	µg	(µg/m ³)
2,34	Ethyl Acetate	98,6	141-78-6	1794974,834	0,03	3,89
5,95	Butanoic acid, ethyl ester	98,7	105-54-4	12017105,57	0,16	24,93
9,01	Butanoic acid, 2-methyl-, pentyl ester	78,6	68039-26-9	22477369,88	0,31	46,45
11,86	Butanoic acid, 3-methylbutyl ester	95,1	106-27-4	2294663,924	0,03	4,92
13,84	3,5,5-Trimethylhexyl acetate	99,5	58430-94-7	24026231,17	0,33	49,64
16,65	2(3H)-Furanone, dihydro-5-pentyl-	96,5	104-61-0	16778682,79	0,23	34,73
17,62	Oxiranecarboxylic acid, 3-methyl-3-phenyl-, ethyl ester, cis-	98,4	19464-95-0	7417091,504	0,10	15,46
18,77	Oxiranecarboxylic acid, 3-methyl-3-phenyl-, ethyl ester, cis-	94,4	19464-95-0	1032830,095	0,02	2,33
19,57	Diethyl Phthalate	99,0	84-66-2	26049703,11	0,35	53,80

^(a) TR: Tiempo de respuesta; ^(b) Match Factor: Factor de confianza de identificación del componente; ^(c) CAS#: Número de registro químico.

Seleccionamos como en el caso anterior, cuatro componentes orgánicos volátiles emitidos según **Figura 18** y **Tabla 5** y estudiamos de igual manera el efecto de la dilución de aire en cámara de emisión pequeña.

Tabla 6. COVs seleccionados y variación de la concentración con el aumento de la renovación de aire.

T. Respuesta	Contaminantes	Sin renovación aire	1/2 renovación aire	1 renovación aire
		c (µg/m ³)	c (µg/m ³)	c (µg/m ³)
5,98	Butanoic acid, ethyl ester	200,80	45,39	24,93
13,87	3,5,5-Trimethylhexyl acetate	348,01	95,45	49,64
17,62	Oxiranecarboxylic acid, 3-methyl-3-phenyl-, ethyl ester, cis-	52,71	23,36	15,46
19,57	Diethyl Phthalate	123,87	86,60	53,80

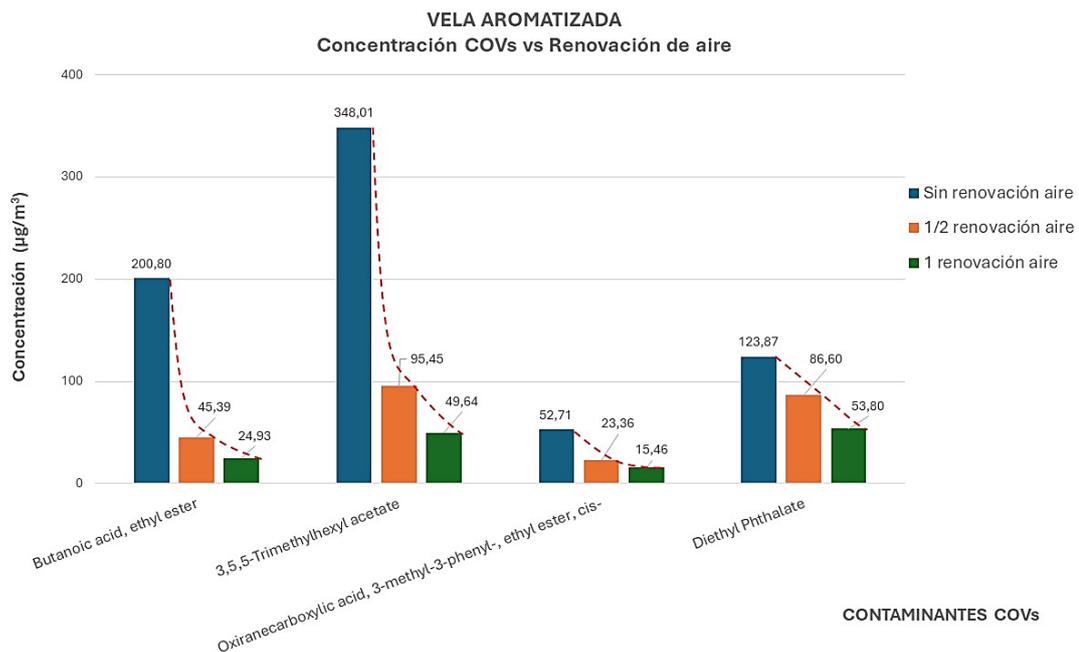


Figura 19. Vela aromatizada. Comparativa de la concentración de COVs seleccionados conforme aumenta la renovación de aire en cámara pequeña.

En la **Figura 20** mostramos el % de eliminación de cada uno de los componentes orgánicos estudiados. En este caso, con media renovación de aire existe una reducción parcial de cada uno de ellos, no superando el 80 % de eliminación. Mientras que si aumentamos a una renovación de aire, mejoramos el efecto de la dilución en cámara, pero no llegamos a una reducción total del 100 %.

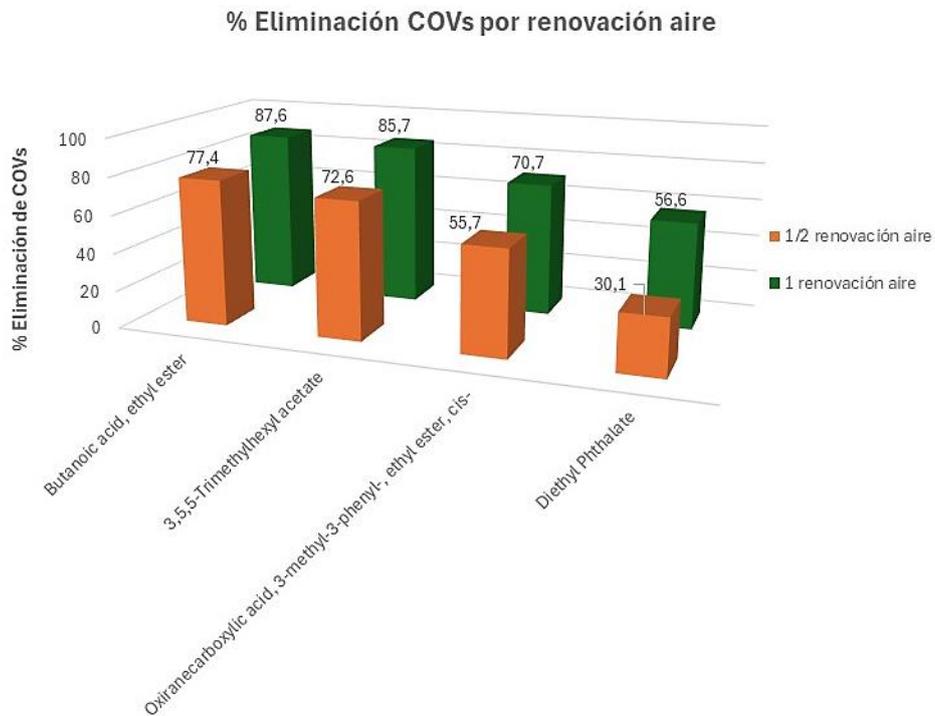


Figura 20. Vela aromatizada. Comparativa del % de eliminación de COVs seleccionados conforme aumenta la renovación de aire en cámara pequeña.

❖ **Barniz al agua para interiores**

La **Figura 21** muestra la comparativa de especies de COVs emitidos por el barniz al agua para interiores conforme aumentamos la renovación de aire en cámara. El efecto como en los casos anteriores se repite, existen ciertos COVs que disminuyen su intensidad y áreas cromatográficas conforme aumentamos la renovación de aire.

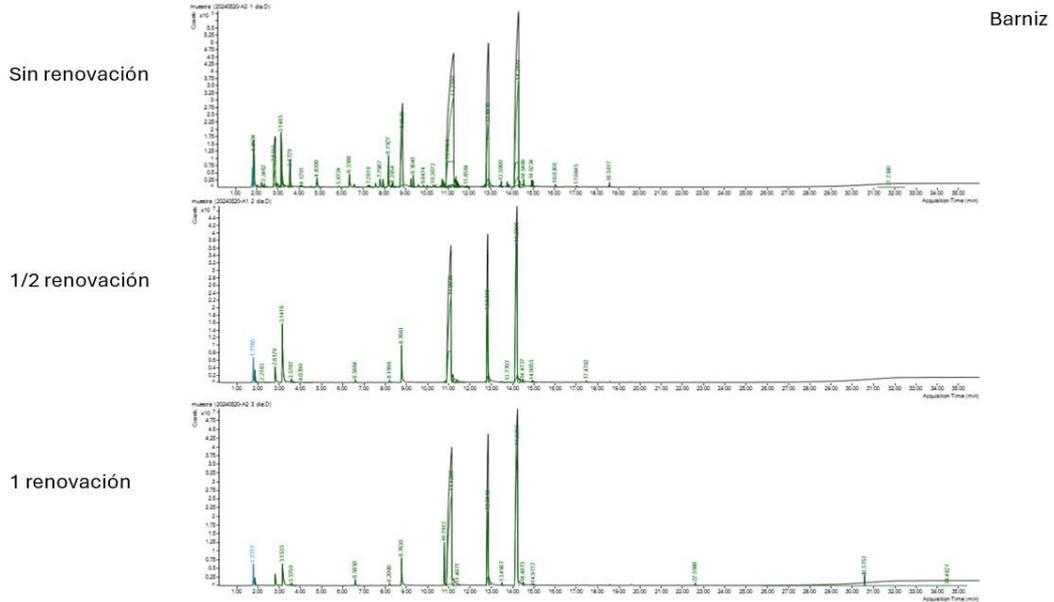


Figura 21. Barniz al agua para interiores. Comparativa de espectros COVs conforme aumenta la renovación de aire en cámara pequeña.

Tanto los tiempos de respuesta, áreas cromatográficas y concentraciones de algunos de los componentes orgánicos volátiles que se han emitido en cámara según la renovación de aire aplicada, se detallan en la siguiente **Tabla 7**.

“REALCOV” - Evaluación de sistemas de reducción de emisiones de COV en interiores por medio de sistemas de ventilación y uso de plantas

Tabla 7. Barrido de COVs con un barniz al agua para interiores en cámara de emisión de 225 L.

BARNIZ - (SIN RENOVACIÓN AIRE)						
TR ^(a) componente	Nombre del componente	Match Factor ^(b)	CAS# ^(c)	Área componente	µg	(µg/m ³)
1,86	2-Propanol, 2-methyl-	96,7	75-65-0	37883007,71	0,10	17,43
2,81	1-Butanol	92,0	78-92-2	949366,301	0,03	5,94
3,15	Triethylamine	98,6	121-44-8	60484580,71	0,82	139,67
4,82	Toluene	99,2	108-88-3	10599005,56	0,20	33,43
6,58	Cyclotrisiloxane, hexamethyl-	98,6	541-05-9	2653916,439	0,06	10,01
7,80	Benzene, 1,3-dimethyl-	98,9	108-38-3	7508664,155	0,08	14,23
8,75	Ethanol, 2-butoxy-	98,6	111-76-2	93963481,14	1,28	216,85
8,85	1-Butanamine, N-nitro-	74,2	3182-75-0	93963481,14	0,20	33,43
11,26	Ethanol, 2-ethoxy-	73,6	110-80-5	469692150,8	0,06	10,01
12,89	1-Acetyl-4,5-dihydro-1H-pyrazole	77,3	1000373-42-6	116568594,6	0,09	14,62
14,31	2-[2-(2-Butoxyethoxy)ethoxy]ethyl acetate	64,1	1000351-94-1	316357446,1	0,09	15,39

^(a) TR: Tiempo de respuesta; ^(b) Match Factor: Factor de confianza de identificación del componente; ^(c) CAS#: Número de registro químico.

“REALCOV” - Evaluación de sistemas de reducción de emisiones de COV en interiores por medio de sistemas de ventilación y uso de plantas

BARNIZ - (1/2 RENOVACIÓN AIRE)

TR ^(a) componente	Nombre del componente	Match Factor ^(b)	CAS# ^(c)	Área componente	µg	(µg/m ³)
1,86	2-Propanol, 2-methyl-	98,2	75-65-0	6289483,956	0,09	19,13
2,81	1-Butanol	98,3	71-36-3	10370022,38	0,14	31,35
3,14	Triethylamine	99,2	121-44-8	44628066,34	0,61	133,96
3,57	Ethanol, 2-ethoxy-	99,5	110-80-5	2659590,23	0,04	8,26
8,77	Ethanol, 2-butoxy-	98,6	111-76-2	23792422,33	0,32	71,55
11,09	DL-Lactamide, methyl ether	73,8	1000452-56-7	193262211,2	2,62	579,14
12,82	Methylamine, N-(1-ethylhexylidene)-	76,4	18641-74-2	64036310,94	0,87	192,09
14,20	Ethanol, 2-[2-(2-butoxyethoxy)ethoxy]-	79,5	143-22-6	185749396,3	2,52	556,64

^(a) TR: Tiempo de respuesta; ^(b) Match Factor: Factor de confianza de identificación del componente; ^(c) CAS#: Número de registro químico.

“REALCOV” - Evaluación de sistemas de reducción de emisiones de COV en interiores por medio de sistemas de ventilación y uso de plantas

BARNIZ - (1 RENOVACIÓN AIRE)

TR ^(a) componente	Nombre del componente	Match Factor ^(b)	CAS# ^(c)	Área componente	µg	(µg/m ³)
1,86	2-Propanol, 2-methyl-	98,2	75-65-0	4130855,808	0,06	7,69
2,81	1-Butanol	97,9	71-36-3	7758197,034	0,11	14,29
3,15	Triethylamine	99,4	121-44-8	19609381,23	0,27	35,85
6,59	Cyclotrisiloxane, hexamethyl-	99,0	541-05-9	4497143,743	0,06	8,36
8,76	Ethanol, 2-butoxy-	98,5	111-76-2	19124827,12	0,26	34,97
10,78	Cyclotetrasiloxane, octamethyl-	96,8	556-67-2	22747149,55	0,31	41,56
11,13	Ethanol, 2-ethoxy-	79,9	110-80-5	260919580,3	3,54	474,82
12,84	N-Cyanomethyl-N-methylacetamide	75,4	28741-21-1	85868021,9	1,17	156,38
13,50	Cyclopentasiloxane, decamethyl-	98,3	541-02-6	1382180,444	0,02	2,69
14,23	Ethanol, 2-[2-(2-butoxyethoxy)ethoxy]-	79,0	143-22-6	227654439,7	3,09	414,30

^(a) TR: Tiempo de respuesta; ^(b) Match Factor: Factor de confianza de identificación del componente; ^(c) CAS#: Número de registro químico.

Para el caso del barniz al agua para interiores, seleccionamos tres componentes orgánicos volátiles, **Tabla 8 y Figura 22**. En este caso para los tres contaminantes orgánicos, el efecto de la dilución de aire es más efectivo para 1 renovación de aire. Por otro lado con media renovación, para dos de los tres componentes volátiles, la reducción en mínima.

Tabla 8. COVs seleccionados y variación de la concentración con el aumento de la renovación de aire.

T. Respuesta	Contaminantes	Sin renovación aire	1/2 renovación aire	1 renovación aire
		c (µg/m ³)	c (µg/m ³)	c (µg/m ³)
1,86	2-Propanol, 2-methyl-	17,43	19,13	7,69
3,15	Triethylamine	139,67	133,96	35,85
8,75	Ethanol, 2-butoxy-	216,85	71,55	34,97

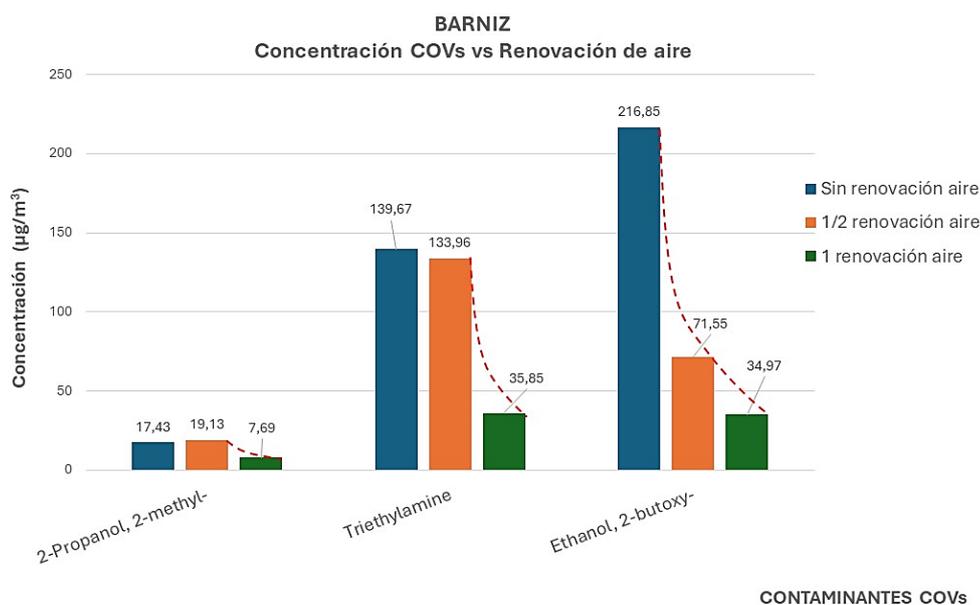


Figura 22. Barniz al agua para interiores. Comparativa de la concentración de COVs seleccionados conforme aumenta la renovación de aire en cámara pequeña.

En este sentido, la reducción de COVs es parcialmente mayor cuando modulamos a una renovación de aire, como muestra la **Figura 23**. Por el contrario como acabamos de indicar, modular con media renovación, el efecto de la reducción en mínima para los componentes 2-Propanol y 2 methyl- y Triethylamine, no superando el 10 % de eliminación.

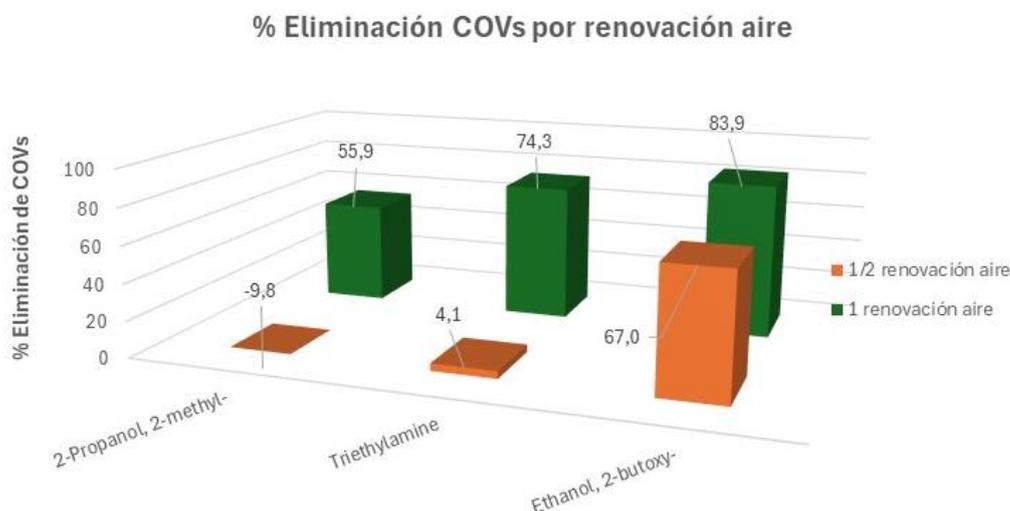


Figura 23. Barniz al agua para interiores. Comparativa del % de eliminación de COVs seleccionados conforme aumenta la renovación de aire en cámara pequeña.

- **Detección de formaldehído en cámara pequeña por el método acetil-acetona según normativa UNE EN 717-1:2006.**

Paralelamente realizamos un estudio sobre la emisión de formaldehído en cámara pequeña con cada una de las fuentes COVs propuestas. Para ello medimos la emisión del aldehído gas empleando diferentes renovaciones de aire en cámara, **Tabla 9**.

✓ **Diferentes renovaciones de aire:**

Tabla 9. Emisión de formaldehído en cámara de 225 L con el aumento de la renovación de aire.

	<u>Ambientador de coche</u> (ppm)	<u>Vela aromatizada</u> (ppm)	<u>Barniz para interiores</u> (ppm)
Sin renovación aire	0,028	0,027	0,024
1/2 renovación aire	< Q.L.*	< Q.L.	< Q.L.
1 renovación aire	< Q.L.	< Q.L.	< Q.L.

*Q.L. ≡ Límite de cuantificación (0,0182 ppm) para UNE EN 717-1:2006.

▪ **Cámara 60 m³**

Uno de los principales objetivos de este proyecto es estudiar la emisión de COVs en un escenario real como puede ser, en una cámara de grandes dimensiones, simulando en ella, un espacio habitable interior donde los seres humanos podríamos estar expuestos a los efectos de estos contaminantes orgánicos volátiles, **Figura 24.**



Figura 24. Cámara climática de COVs de 60 m³ para estudiar la calidad del aire interior.

En dicha cámara, recreamos un escenario habitable interior con solo mobiliario de oficina y posibles emisores de COVs, con el objetivo de estudiar la evolución de ciertos componentes

emitidos con la influencia del aumento de la renovación de aire en cámara. Al igual que en cámara pequeña, programamos la cámara a norma ISO 16000-9 (a 23 °C y 50 % Hr) y modulamos la renovación de aire en diferentes niveles de aireación, desde sin renovación de aire, media renovación y una renovación. En la **Figura 25** se describen los elementos más característicos en cuanto al mobiliario de oficina y emisores COVs que constituyen este espacio habitable interior:

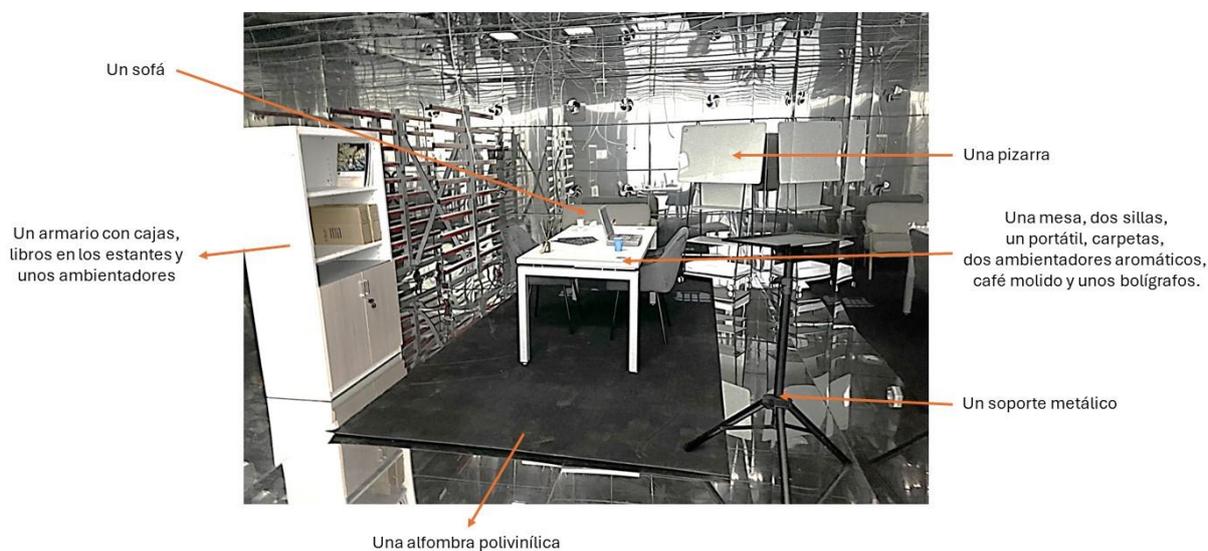


Figura 25. Cámara climática grande con mobiliario de oficina y fuentes COVs.

Los resultados se describen a continuación:

❖ **Situación real en cámara grande con mobiliario de oficina y fuentes COVs**

Modulando los niveles de aireación en cámara grande conseguimos los siguientes barridos de COVs emitidos, como muestra la comparativa entre cromatogramas, **Figura 26**. A su vez, observamos una reducción parcial de ciertos componentes COVs en cuanto a la intensidad de sus áreas cromatográficas, conforme aumentamos la renovación de aire.

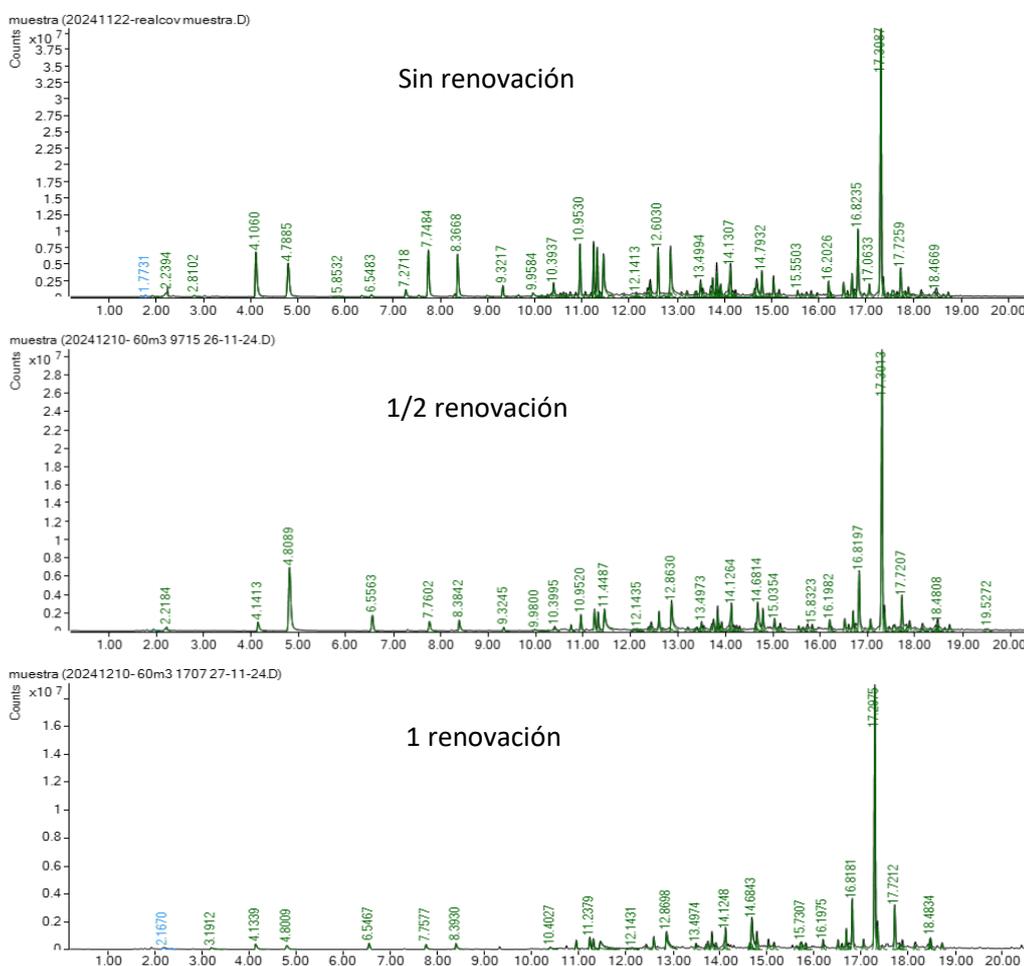


Figura 26. Cámara de 60 m³ con mobiliario de oficina y fuentes COVs. Comparativa entre cromatogramas conforme aumenta la renovación de aire.

En la siguiente **Tabla 10**, se detallan los tiempos de respuesta, áreas cromatográficas y concentraciones de algunos de los componentes orgánicos volátiles que se han emitido en cámara según la renovación de aire aplicada.

“REALCOV” - Evaluación de sistemas de reducción de emisiones de COV en interiores por medio de sistemas de ventilación y uso de plantas

Tabla 10. Barrido de COVs en cámara 60 m³ con solo mobiliario de oficina y emisores de COVs.

MOBILIARIO DE OFICINA - (SIN RENOVACIÓN AIRE)				
TR ^(a) componente	Nombre del componente	Match Factor ^(b)	CAS# ^(c)	(µg/m ³)
4,11	Methyl Isobutyl Ketone	99,0	108-10-1	75,52
4,79	Toluene	100,0	108-88-3	67,66
7,75	Benzene, 1,3-dimethyl-	99,0	108-38-3	68,50
8,37	Cyclohexanone	99,0	108-94-1	57,67
10,95	3-Carene	98,0	13466-78-9	55,40
11,24	o-Cymene	95,0	527-84-4	55,88
11,32	D-limonene	98,0	5989-27-5	49,78
11,45	Benzyl alcohol	99,0	100-51-61	64,76
12,60	Linalool	98,0	78-70-6	46,37
12,86	Phenylethyl Alcohol	99,0	60-12-8	67,89
13,84	Levomenthol	98,0	2216-51-5	26,64
14,13	alpha.-Terpineol	91,0	98-55-5	32,59
14,79	Cyclohexane, isothiocyanato-	97,0	1122-82-3	25,84
15,04	Linalyl acetate	97,0	115-95-7	18,41
16,70	4-tert-Butylcyclohexyl acetate	98,0	32210-23-4	21,43
16,82	1,2,4-Methenoazulene, decahydro-1,5,5,8a-tetramethyl-, [1S-(1.alpha.,2.alpha.,3a.beta.,4.alpha.,8a.beta.,9R*)]-	98,0	1137-12-8	77,55
17,31	Longifolene	99,0	475-20-7	322,00
17,73	Quinoline, 1,2-dihydro-2,2,4-trimethyl	98,0	147-47-7	29,61

^(a) TR: Tiempo de respuesta; ^(b) Match Factor: Factor de confianza de identificación del componente; ^(c) CAS#: Número de registro químico.

“REALCOV” - Evaluación de sistemas de reducción de emisiones de COV en interiores por medio de sistemas de ventilación y uso de plantas

MOBILIARIO DE OFICINA - (1/2 RENOVACIÓN AIRE)

TR ^(a) componente	Nombre del componente	Match Factor ^(b)	CAS# ^(c)	(µg/m ³)
4,11	Methyl Isobutyl Ketone	99,0	108-10-1	9,32
4,79	Toluene	100,0	108-88-3	78,04
7,75	Benzene, 1,3-dimethyl-	99,0	108-38-3	9,29
8,37	Cyclohexanone	99,0	108-94-1	9,68
10,95	3-Carene	98,0	13466-78-9	9,87
11,24	o-Cymene	95,0	527-84-4	13,33
11,32	D-limonene	98,0	5989-27-5	12,12
11,45	Benzyl alcohol	99,0	100-51-61	27,08
12,60	Linalool	98,0	78-70-6	11,50
12,86	Phenylethyl Alcohol	99,0	60-12-8	28,74
13,84	Levomenthol	98,0	2216-51-5	11,53
14,13	alpha.-Terpineol	91,0	98-55-5	15,36
14,79	Cyclohexane, isothiocyanato-	97,0	1122-82-3	12,78
15,04	Linalyl acetate	97,0	115-95-7	6,63
16,70	4-tert-Butylcyclohexyl acetate	98,0	32210-23-4	11,09
16,82	1,2,4-Methenoazulene, decahydro-1,5,5,8a-tetramethyl-, [1S-(1.alpha.,2.alpha.,3a.beta.,4.alpha.,8a.beta.,9R*)]-	98,0	1137-12-8	38,18
17,31	Longifolene	99,0	475-20-7	179,77
17,73	Quinoline, 1,2-dihydro-2,2,4-trimethyl	98,0	147-47-7	21,38

^(a) TR: Tiempo de respuesta; ^(b) Match Factor: Factor de confianza de identificación del componente; ^(c) CAS#: Número de registro químico.

“REALCOV” - Evaluación de sistemas de reducción de emisiones de COV en interiores por medio de sistemas de ventilación y uso de plantas

MOBILIARIO DE OFICINA - (1 RENOVACIÓN AIRE)

TR ^(a) componente	Nombre del componente	Match Factor ^(b)	CAS# ^(c)	(µg/m ³)
4,11	Methyl Isobutyl Ketone	99,0	108-10-1	4,26
4,79	Toluene	100,0	108-88-3	3,92
7,75	Benzene, 1,3-dimethyl-	99,0	108-38-3	3,83
8,37	Cyclohexanone	99,0	108-94-1	4,27
10,95	3-Carene	98,0	13466-78-9	4,05
11,24	o-Cymene	95,0	527-84-4	5,48
11,32	D-limonene	98,0	5989-27-5	4,71
11,45	Benzyl alcohol	99,0	100-51-61	12,79
12,60	Linalool	98,0	78-70-6	5,56
12,86	Phenylethyl Alcohol	99,0	60-12-8	17,68
13,84	Levomenthol	98,0	2216-51-5	5,94
14,13	alpha.-Terpineol	91,0	98-55-5	9,04
14,79	Cyclohexane, isothiocyanato-	97,0	1122-82-3	14,74
15,04	Linalyl acetate	97,0	115-95-7	3,87
16,70	4-tert-Butylcyclohexyl acetate	98,0	32210-23-4	7,78
16,82	1,2,4-Methenoazulene, decahydro-1,5,5,8a-tetramethyl-, [1S-(1.alpha.,2.alpha.,3a.beta.,4.alpha.,8a.beta.,9R*)]-	98,0	1137-12-8	22,03
17,31	Longifolene	99,0	475-20-7	113,84
17,73	Quinoline, 1,2-dihydro-2,2,4-trimethyl	98,0	147-47-7	18,67

^(a) TR: Tiempo de respuesta; ^(b) Match Factor: Factor de confianza de identificación del componente; ^(c) CAS#: Número de registro químico.

De los datos procedentes de la **Tabla 10** y los espectros mostrados, nos centramos en cinco de sus componentes orgánicos emitidos y estudiamos el efecto de la dilución de aire en cámara de emisión, **Tabla 11** y **Figura 27**. Con el aumento de la renovación de aire, cada componente orgánico estudiado se reduce parcialmente en cámara grande.

Tabla 11. COVs seleccionados y variación de la concentración en el aire interior con el aumento de la renovación de aire.

T. Respuesta	Contaminantes	Sin renovación	1/2 renovación	1 renovación
		aire	aire	Aire
		c (µg/m ³)	c (µg/m ³)	c (µg/m ³)
7,75	Benzene, 1,3-dimethyl-	68,50	9,29	3,83
8,37	Cyclohexanone	57,67	9,68	4,27
12,60	Linalool	46,37	11,50	5,56
12,86	Phenylethyl Alcohol	67,89	28,74	17,68
17,31	Longifolene	322,00	179,77	113,84

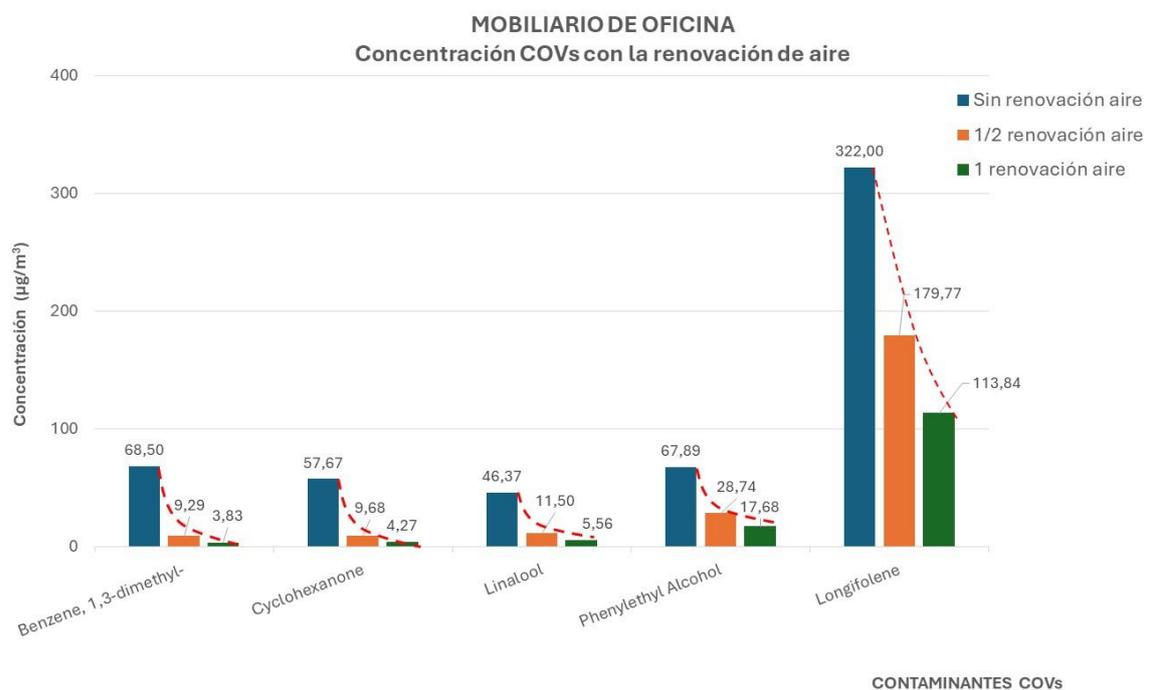


Figura 27. Mobiliario de oficina. Comparativa de la concentración de COVs seleccionados conforme aumenta la renovación de aire en cámara grande de 60 m³.

En términos de % de eliminación, la **Figura 28** cuantifica cada uno de ellos. Con solo media renovación de aire en cámara, no alcanzamos el 90 % de reducción. Mientras que para una renovación de aire, conseguimos reducir algo más pero no de forma totalmente integra.



Figura 28. Mobiliario de oficina. Comparativa del % de eliminación de COVs seleccionados conforme aumenta la renovación de aire en cámara grande de 60 m³.

- **Detección de formaldehído en cámara grande con cartuchos DNPH y separación por cromatografía líquida (HPLC) según normativa UNE ISO 16000-3:2022 e UNE-EN 16516:2018 + A1.**

A su vez en cámara grande detectamos la presencia gaseosa de formaldehído y acetaldehído. Aumentando la renovación de aire, observamos una clara reducción del formaldehído gas emitido y trazas de acetaldehído gas, **Tabla 12**.

✓ **Diferentes renovaciones de aire:**

Tabla 12. Detección de componentes aldehídos en cámara de 60 m³ con el aumento de la renovación de aire.

	[HCHO] ^(a) (ppb)	[CH ₃ CHO] ^(b) (ppb)
Sin renovación de aire	59,12	< 16
1/2 renovación de aire	39,80	< 16
1 renovación de aire	12,77	< 16

^(a) HCHO: Formaldehído; ^(b) CH₃CHO: Acetaldehído.

2.2 Influencia del volumen y equivalencia entre cámaras. Análisis de la emisión de formaldehído en situación real procedente de tableros derivados de la madera.

Otra de las actividades a destacar es desarrollar una intercomparación de emisiones de formaldehído gas entre volúmenes de cámara grande y pequeña y comprobar su equivalencia. Para ello, seleccionamos de nuestros clientes tableros certificados derivados de la madera, bien de fibras, partículas o contrachapados. Partiendo de una misma muestra y en función del volumen de la cámara a utilizar, aplicamos una u otra norma americana de acuerdo con la legislación CARB/EPA vigente [42], **Figura 29**, ver condiciones de la **Tabla 2**.

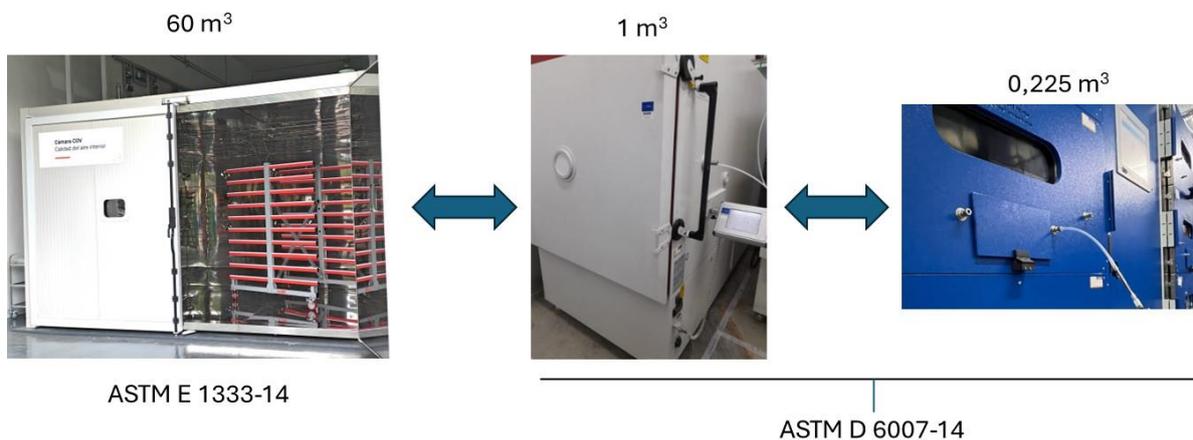


Figura 29. Cámara climática grande de 60 m³, cámaras de emisión pequeña de 1 m³ y 225 L respectivamente.

Los siguientes resultados de la **Tabla 13** y **14** muestran la relación o equivalencia del aldehído gas emitido por cada muestra ensayada y comparados entre cámaras de emisión. Matemáticamente para todos los casos, existe una equivalencia entre los valores emitidos por cada cámara de diferente volumen, de acuerdo a la estadística calculada.

Tabla 13. Resultados de equivalencia entre cámara grande de 60 m³ y dos cámaras pequeñas de 1 m³ de diferente marca/modelo.

Cámara 1m ³ (A)		Cámara 1m ³ (B)	
Punto de equivalencia - 1		Punto de equivalencia - 1	
Muestra 2409099-02		Muestra 2409099-02	
Resultado ASTM E 1333-14 (ppm)	0,043	Resultado ASTM E 1333-14 (ppm)	0,043
Resultado ASTM D 6007-14 (ppm)	0,038	Resultado ASTM D 6007-14 (ppm)	0,034
¿Existe equivalencia?	Sí	¿Existe equivalencia?	Sí
Media (ppm)	0,0040	Media (ppm)	0,0026
Desviación estándar (ppm)	0,0020	Desviación estándar (ppm)	0,0046
Resultado de análisis de datos	Si, el candidato ASTM D 6007 se considera equivalente	Resultado de análisis de datos	Si, el candidato ASTM D 6007 se considera equivalente
Punto de equivalencia - 2		Punto de equivalencia - 2	
Muestra 2409099-03		Muestra 2409099-03	
Resultado ASTM E 1333-14 (ppm)	0,041	Resultado ASTM E 1333-14 (ppm)	0,041
Resultado ASTM D 6007-14 (ppm)	0,038	Resultado ASTM D 6007-14 (ppm)	0,039
¿Existe equivalencia?	Sí	¿Existe equivalencia?	Sí
Media (ppm)	0,0040	Media (ppm)	0,0026
Desviación estándar (ppm)	0,0020	Desviación estándar (ppm)	0,0046
Resultado de análisis de datos	Si, el candidato ASTM D 6007 se considera equivalente	Resultado de análisis de datos	Si, el candidato ASTM D 6007 se considera equivalente
Punto de equivalencia - 3		Punto de equivalencia - 3	
Muestra 2409099-04		Muestra 2409099-04	
Resultado ASTM E 1333-14 (ppm)	0,039	Resultado ASTM E 1333-14 (ppm)	0,039
Resultado ASTM D 6007-14 (ppm)	0,034	Resultado ASTM D 6007-14 (ppm)	0,034
¿Existe equivalencia?	Sí	¿Existe equivalencia?	Sí
Media (ppm)	0,0040	Media (ppm)	0,0026
Desviación estándar (ppm)	0,0020	Desviación estándar (ppm)	0,0046
Resultado de análisis de datos	Si, el candidato ASTM D 6007 se considera equivalente	Resultado de análisis de datos	Si, el candidato ASTM D 6007 se considera equivalente
Punto de equivalencia - 4		Punto de equivalencia - 4	
Muestra 2410212-01		Muestra 2410212-01	
Resultado ASTM E 1333-14 (ppm)	0,049	Resultado ASTM E 1333-14 (ppm)	0,049
Resultado ASTM D 6007-14 (ppm)	0,043	Resultado ASTM D 6007-14 (ppm)	0,052
¿Existe equivalencia?	Sí	¿Existe equivalencia?	Sí
Media (ppm)	0,0040	Media (ppm)	0,0026
Desviación estándar (ppm)	0,0020	Desviación estándar (ppm)	0,0046
Resultado de análisis de datos	Si, el candidato ASTM D 6007 se considera equivalente	Resultado de análisis de datos	Si, el candidato ASTM D 6007 se considera equivalente
Punto de equivalencia - 5		Punto de equivalencia - 5	
Muestra 2409207-01		Muestra 2409207-01	
Resultado ASTM E 1333-14 (ppm)	0,043	Resultado ASTM E 1333-14 (ppm)	0,043
Resultado ASTM D 6007-14 (ppm)	0,042	Resultado ASTM D 6007-14 (ppm)	0,043
¿Existe equivalencia?	Sí	¿Existe equivalencia?	Sí
Media (ppm)	0,0040	Media (ppm)	0,0026
Desviación estándar (ppm)	0,0020	Desviación estándar (ppm)	0,0046
Resultado de análisis de datos	Si, el candidato ASTM D 6007 se considera equivalente	Resultado de análisis de datos	Si, el candidato ASTM D 6007 se considera equivalente
Punto de equivalencia - 6		Punto de equivalencia - 6	
Muestra 2409099-01		Muestra 2409099-01	
Resultado ASTM E 1333-14 (ppm)	0,067	Resultado ASTM E 1333-14 (ppm)	0,067
Resultado ASTM D 6007-14 (ppm)	0,063	Resultado ASTM D 6007-14 (ppm)	0,062
¿Existe equivalencia?	Sí	¿Existe equivalencia?	Sí
Media (ppm)	0,0062	Media (ppm)	0,0034
Desviación estándar (ppm)	0,0035	Desviación estándar (ppm)	0,0032
Resultado de análisis de datos	Si, el candidato ASTM D 6007 se considera equivalente	Resultado de análisis de datos	Si, el candidato ASTM D 6007 se considera equivalente
Punto de equivalencia - 7		Punto de equivalencia - 7	
Muestra 2410207-01		Muestra 2410207-01	
Resultado ASTM E 1333-14 (ppm)	0,080	Resultado ASTM E 1333-14 (ppm)	0,080
Resultado ASTM D 6007-14 (ppm)	0,072	Resultado ASTM D 6007-14 (ppm)	0,075
¿Existe equivalencia?	Sí	¿Existe equivalencia?	Sí
Media (ppm)	0,0062	Media (ppm)	0,0034
Desviación estándar (ppm)	0,0035	Desviación estándar (ppm)	0,0032
Resultado de análisis de datos	Si, el candidato ASTM D 6007 se considera equivalente	Resultado de análisis de datos	Si, el candidato ASTM D 6007 se considera equivalente
Punto de equivalencia - 8		Punto de equivalencia - 8	
Muestra 2411126-01		Muestra 2411126-01	
Resultado ASTM E 1333-14 (ppm)	0,082	Resultado ASTM E 1333-14 (ppm)	0,082
Resultado ASTM D 6007-14 (ppm)	0,071	Resultado ASTM D 6007-14 (ppm)	0,076
¿Existe equivalencia?	Sí	¿Existe equivalencia?	Sí
Media (ppm)	0,0062	Media (ppm)	0,0034
Desviación estándar (ppm)	0,0035	Desviación estándar (ppm)	0,0032
Resultado de análisis de datos	Si, el candidato ASTM D 6007 se considera equivalente	Resultado de análisis de datos	Si, el candidato ASTM D 6007 se considera equivalente
Punto de equivalencia - 9		Punto de equivalencia - 9	
Muestra 2411126-02		Muestra 2411126-02	
Resultado ASTM E 1333-14 (ppm)	0,092	Resultado ASTM E 1333-14 (ppm)	0,092
Resultado ASTM D 6007-14 (ppm)	0,086	Resultado ASTM D 6007-14 (ppm)	0,089
¿Existe equivalencia?	Sí	¿Existe equivalencia?	Sí
Media (ppm)	0,0062	Media (ppm)	0,0034
Desviación estándar (ppm)	0,0035	Desviación estándar (ppm)	0,0032
Resultado de análisis de datos	Si, el candidato ASTM D 6007 se considera equivalente	Resultado de análisis de datos	Si, el candidato ASTM D 6007 se considera equivalente
Punto de equivalencia - 10		Punto de equivalencia - 10	
Muestra 2411189-02		Muestra 2411189-02	
Resultado ASTM E 1333-14 (ppm)	0,086	Resultado ASTM E 1333-14 (ppm)	0,086
Resultado ASTM D 6007-14 (ppm)	0,084	Resultado ASTM D 6007-14 (ppm)	0,088
¿Existe equivalencia?	Sí	¿Existe equivalencia?	Sí
Media (ppm)	0,0062	Media (ppm)	0,0034
Desviación estándar (ppm)	0,0035	Desviación estándar (ppm)	0,0032
Resultado de análisis de datos	Si, el candidato ASTM D 6007 se considera equivalente	Resultado de análisis de datos	Si, el candidato ASTM D 6007 se considera equivalente

“REALCOV” - Evaluación de sistemas de reducción de emisiones de COV en interiores por medio de sistemas de ventilación y uso de plantas

Tabla 14. Resultados de equivalencia entre cámara grande de 60 m³ y dos cámaras pequeñas de 0,225 m³ de diferente marca/modelo.

Cámara 0,225m ³ (Galli)		Cámara 0,225m ³ (CLR)	
Punto de equivalencia - 1	Muestra 2409099-02	Punto de equivalencia - 1	Muestra 2409099-02
Resultado ASTM E 1333-14 (ppm)	0,043	Resultado ASTM E 1333-14 (ppm)	0,043
Resultado ASTM D 6007-14 (ppm)	0,038	Resultado ASTM D 6007-14 (ppm)	0,029
¿Existe equivalencia?	Sí	¿Existe equivalencia?	Sí
Media (ppm)	0,0034	Media (ppm)	0,0006
Desviación estándar (ppm)	0,0011	Desviación estándar (ppm)	0,0089
Resultado de análisis de datos	Si, el candidato ASTM D 6007 se considera equivalente	Resultado de análisis de datos	Si, el candidato ASTM D 6007 se considera equivalente
Punto de equivalencia - 2	Muestra 2409099-03	Punto de equivalencia - 2	Muestra 2409099-03
Resultado ASTM E 1333-14 (ppm)	0,041	Resultado ASTM E 1333-14 (ppm)	0,041
Resultado ASTM D 6007-14 (ppm)	0,038	Resultado ASTM D 6007-14 (ppm)	0,051
¿Existe equivalencia?	Sí	¿Existe equivalencia?	Sí
Media (ppm)	0,0034	Media (ppm)	0,0006
Desviación estándar (ppm)	0,0011	Desviación estándar (ppm)	0,0089
Resultado de análisis de datos	Si, el candidato ASTM D 6007 se considera equivalente	Resultado de análisis de datos	Si, el candidato ASTM D 6007 se considera equivalente
Punto de equivalencia - 3	Muestra 2409099-04	Punto de equivalencia - 3	Muestra 2409099-04
Resultado ASTM E 1333-14 (ppm)	0,039	Resultado ASTM E 1333-14 (ppm)	0,039
Resultado ASTM D 6007-14 (ppm)	0,035	Resultado ASTM D 6007-14 (ppm)	0,043
¿Existe equivalencia?	Sí	¿Existe equivalencia?	Sí
Media (ppm)	0,0034	Media (ppm)	0,0006
Desviación estándar (ppm)	0,0011	Desviación estándar (ppm)	0,0089
Resultado de análisis de datos	Si, el candidato ASTM D 6007 se considera equivalente	Resultado de análisis de datos	Si, el candidato ASTM D 6007 se considera equivalente
Punto de equivalencia - 4	Muestra 2410212-01	Punto de equivalencia - 4	Muestra 2410212-01
Resultado ASTM E 1333-14 (ppm)	0,049	Resultado ASTM E 1333-14 (ppm)	0,049
Resultado ASTM D 6007-14 (ppm)	0,046	Resultado ASTM D 6007-14 (ppm)	0,048
¿Existe equivalencia?	Sí	¿Existe equivalencia?	Sí
Media (ppm)	0,0034	Media (ppm)	0,0006
Desviación estándar (ppm)	0,0011	Desviación estándar (ppm)	0,0089
Resultado de análisis de datos	Si, el candidato ASTM D 6007 se considera equivalente	Resultado de análisis de datos	Si, el candidato ASTM D 6007 se considera equivalente
Punto de equivalencia - 5	Muestra 2409207-01	Punto de equivalencia - 5	Muestra 2409207-01
Resultado ASTM E 1333-14 (ppm)	0,043	Resultado ASTM E 1333-14 (ppm)	0,043
Resultado ASTM D 6007-14 (ppm)	0,041	Resultado ASTM D 6007-14 (ppm)	0,041
¿Existe equivalencia?	Sí	¿Existe equivalencia?	Sí
Media (ppm)	0,0034	Media (ppm)	0,0006
Desviación estándar (ppm)	0,0011	Desviación estándar (ppm)	0,0089
Resultado de análisis de datos	Si, el candidato ASTM D 6007 se considera equivalente	Resultado de análisis de datos	Si, el candidato ASTM D 6007 se considera equivalente
Punto de equivalencia - 6	Muestra 2409099-01	Punto de equivalencia - 6	Muestra 2409099-01
Resultado ASTM E 1333-14 (ppm)	0,067	Resultado ASTM E 1333-14 (ppm)	0,067
Resultado ASTM D 6007-14 (ppm)	0,062	Resultado ASTM D 6007-14 (ppm)	0,083
¿Existe equivalencia?	Sí	¿Existe equivalencia?	Sí
Media (ppm)	0,0046	Media (ppm)	0,0016
Desviación estándar (ppm)	0,0055	Desviación estándar (ppm)	0,0100
Resultado de análisis de datos	Si, el candidato ASTM D 6007 se considera equivalente	Resultado de análisis de datos	Si, el candidato ASTM D 6007 se considera equivalente
Punto de equivalencia - 7	Muestra 2410207-01	Punto de equivalencia - 7	Muestra 2410207-01
Resultado ASTM E 1333-14 (ppm)	0,080	Resultado ASTM E 1333-14 (ppm)	0,080
Resultado ASTM D 6007-14 (ppm)	0,070	Resultado ASTM D 6007-14 (ppm)	0,073
¿Existe equivalencia?	Sí	¿Existe equivalencia?	Sí
Media (ppm)	0,0046	Media (ppm)	0,0016
Desviación estándar (ppm)	0,0055	Desviación estándar (ppm)	0,0100
Resultado de análisis de datos	Si, el candidato ASTM D 6007 se considera equivalente	Resultado de análisis de datos	Si, el candidato ASTM D 6007 se considera equivalente
Punto de equivalencia - 8	Muestra 2411126-01	Punto de equivalencia - 8	Muestra 2411126-01
Resultado ASTM E 1333-14 (ppm)	0,082	Resultado ASTM E 1333-14 (ppm)	0,082
Resultado ASTM D 6007-14 (ppm)	0,084	Resultado ASTM D 6007-14 (ppm)	0,079
¿Existe equivalencia?	Sí	¿Existe equivalencia?	Sí
Media (ppm)	0,0046	Media (ppm)	0,0016
Desviación estándar (ppm)	0,0055	Desviación estándar (ppm)	0,0100
Resultado de análisis de datos	Si, el candidato ASTM D 6007 se considera equivalente	Resultado de análisis de datos	Si, el candidato ASTM D 6007 se considera equivalente
Punto de equivalencia - 9	Muestra 2411126-02	Punto de equivalencia - 9	Muestra 2411126-02
Resultado ASTM E 1333-14 (ppm)	0,092	Resultado ASTM E 1333-14 (ppm)	0,092
Resultado ASTM D 6007-14 (ppm)	0,092	Resultado ASTM D 6007-14 (ppm)	0,085
¿Existe equivalencia?	Sí	¿Existe equivalencia?	Sí
Media (ppm)	0,0046	Media (ppm)	0,0016
Desviación estándar (ppm)	0,0055	Desviación estándar (ppm)	0,0100
Resultado de análisis de datos	Si, el candidato ASTM D 6007 se considera equivalente	Resultado de análisis de datos	Si, el candidato ASTM D 6007 se considera equivalente
Punto de equivalencia - 10	Muestra 2411189-02	Punto de equivalencia - 10	Muestra 2411189-02
Resultado ASTM E 1333-14 (ppm)	0,086	Resultado ASTM E 1333-14 (ppm)	0,086
Resultado ASTM D 6007-14 (ppm)	0,076	Resultado ASTM D 6007-14 (ppm)	0,079
¿Existe equivalencia?	Sí	¿Existe equivalencia?	Sí
Media (ppm)	0,0046	Media (ppm)	0,0016
Desviación estándar (ppm)	0,0055	Desviación estándar (ppm)	0,0100
Resultado de análisis de datos	Si, el candidato ASTM D 6007 se considera equivalente	Resultado de análisis de datos	Si, el candidato ASTM D 6007 se considera equivalente

2.3 Influencia de biosistemas con la utilización de especies de plantas en maceta (pasiva) en la reducción de COVs y formaldehído.

Introducimos en cámara de 225 L tres especies de plantas purificadoras de aire junto con una mini bombilla de luz UV de bajo consumo tipo espiral, **Figura 30**.



Figura 30. Izquierda: Tres especies de plantas: Lirio de la paz, Sansevieria y Helecho respectivamente. Derecha: Cámara con fuente COV y especies de plantas, luz UV de 15 W con longitud de onda 350 nm.

El ensayo se realiza programando la cámara a norma ISO 16000-9 (a 23 °C y 50 % Hr) y sin renovación de aire. Para cada fuente COV, se genera un espectro diferente. Después seleccionamos algunos de los componentes orgánicos emitidos, con el fin de estudiar su evolución por el efecto de la influencia de plantas en el interior.

Los resultados se detallan a continuación:

- **Cámara 225 L**
- ❖ **Ambientador de coche**

En la **Figura 31** representamos la comparativa entre cromatogramas de los barridos de COVs emitidos tanto sin renovación de aire y con la inclusión de las tres especies de plantas.

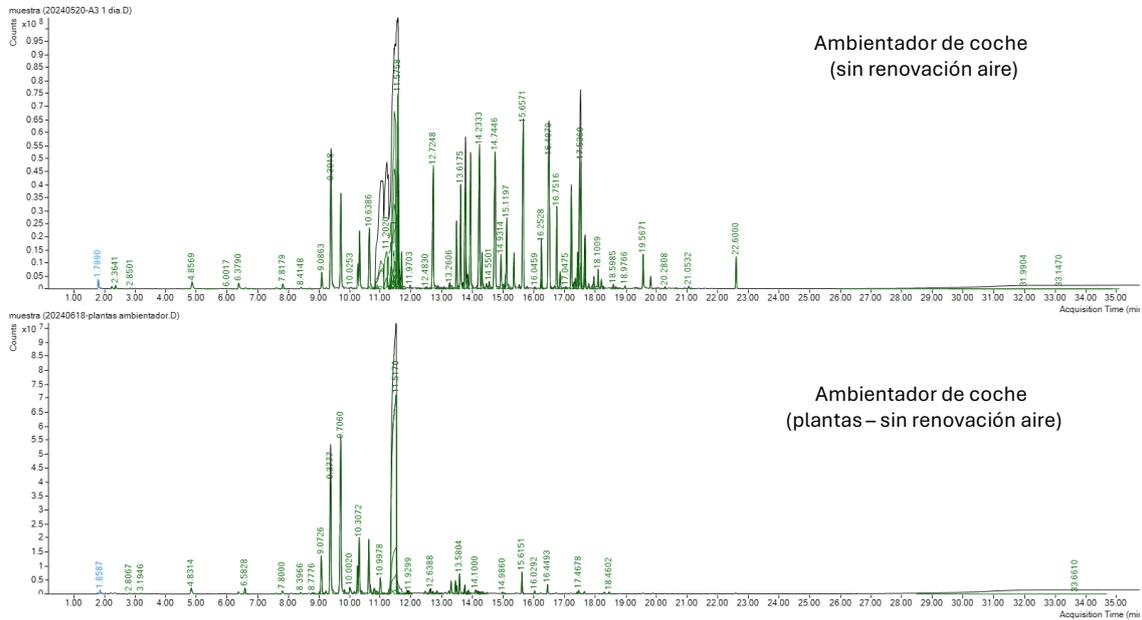


Figura 31. Ambientador de coche. Comparativa de espectros COVs sin/con la influencia de especies de plantas en cámara pequeña.

En la siguiente **Tabla 15**, se detallan los tiempos de respuesta, áreas cromatográficas y concentraciones de algunos de los componentes orgánicos volátiles que se han emitido en cámara sin/con la influencia de las especies de plantas.

“REALCOV” - Evaluación de sistemas de reducción de emisiones de COV en interiores por medio de sistemas de ventilación y uso de plantas

Tabla 15. Barrido de COVs con un ambientador de coche en cámara de emisión de 225 L.

AMBIENTADOR COCHE - (SIN RENOVACIÓN AIRE)						
TR ^(a) componente	Nombre del componente	Match Factor ^(b)	CAS# ^(c)	Área componente	µg	(µg/m ³)
9,39	2,4,6-Octatriene, 2,6-dimethyl-, (E,E)-	81,4	3016-19-1	116493178	1,58	328,31
11,58	Cyclohexene, 3-methyl-6-(1-methylethylidene)-	84,4	586-63-0	267988645	0,0013	< 2
11,58	Bicyclo[2.2.1]heptane, 7,7-dimethyl-2-methylene-	86,1	471-84-1	278564432	3,78	784,70
12,72	Linalool	98,4	78-70-6	116394725	1,58	328,04
13,62	l-Menthone	98,9	14073-97-3	78144472	1,06	220,33
14,23	L-.alpha.-Terpineol	97,8	10482-56-1	144759591	1,96	407,91
14,74	Citronellol	98,6	106-22-9	154407267	2,09	435,08
15,66	Bicyclo[2.2.1]heptan-2-ol, 1,7,7-trimethyl-, acetate, (1S-endo)-	98,9	5655-61-8	159452816	2,16	449,29
16,50	.delta.-Terpineol, acetate	87,9	93836-50-1	174163864	2,36	490,71
17,54	Tetracyclo[3.3.1.1(2,7).0(4,6)]fegan-3-ol, acetate	83,1	1000188-03-8	161948317	2,20	456,31
22,60	7-Acetyl-6-ethyl-1,1,4,4-tetramethyltetralin	97,4	88-29-9	21203645	0,29	59,98

^(a)TR: Tiempo de respuesta; ^(b) Match Factor: Factor de confianza de identificación del componente; ^(c) CAS#: Número de registro químico.

"REALCOV" - Evaluación de sistemas de reducción de emisiones de COV en interiores por medio de sistemas de ventilación y uso de plantas

AMBIENTADOR COCHE - (TRES ESPECIES DE PLANTAS + FOCO UV 15 W + SIN RENOVACIÓN AIRE)

TR ^(a) componente	Nombre del componente	Match Factor ^(b)	CAS# ^(c)	Área componente	µg	(µg/m ³)
9,38	Cyclopropane, trimethyl(2-methyl-1-propenylidene)-	81,4	14803-30-6	111744364,1	1,52	194,67
9,71	Camphene	99,0	79-92-5	152153690,8	2,06	265,01
10,31	.beta.-Pinene	98,4	127-91-3	42110021,36	0,57	73,47
11,52	Tricyclo[5.2.1.0(1,5)]decane	81,5	1000190-80-8	656559554,3	0,00	< 2
11,52	Tricyclo[5.2.1.0(1,5)]decane	81,6	1000190-80-8	656441507,2	8,90	1142,78
12,64	Linalool	96,0	78-70-6	3313277,712	0,05	5,94
13,58	I-Menthone	99,0	14073-97-3	12660249,19	0,17	22,21
15,62	Bicyclo[2.2.1]heptan-2-ol, 1,7,7-trimethyl-, acetate, (1S-endo)-	99,4	5655-61-8	13074488,34	0,18	22,93

^(a) TR: Tiempo de respuesta; ^(b) Match Factor: Factor de confianza de identificación del componente; ^(c) CAS#: Número de registro químico.

Nos centramos en tres componentes orgánicos de los espectros mostrados y datos de la **Tabla 15** y estudiamos su reducción con la influencia de las tres especies vegetales y sin renovación de aire en cámara, **Tabla 16** y **Figura 32**. En este caso según los resultados mostrados, la reducción es prácticamente total.

Tabla 16. COVs seleccionados y variación de la concentración con la influencia de las tres especies de plantas.

T. Respuesta	Contaminantes	Sin renovación aire	Tres especies de plantas
		c (µg/m ³)	c (µg/m ³)
12,72	Linalool	328,04	5,94
13,62	l-Menthone	220,33	22,21
15,66	Bicyclo[2.2.1]heptan-2-ol, 1,7,7-trimethyl-, acetate, (1S-endo)-	449,29	22,93

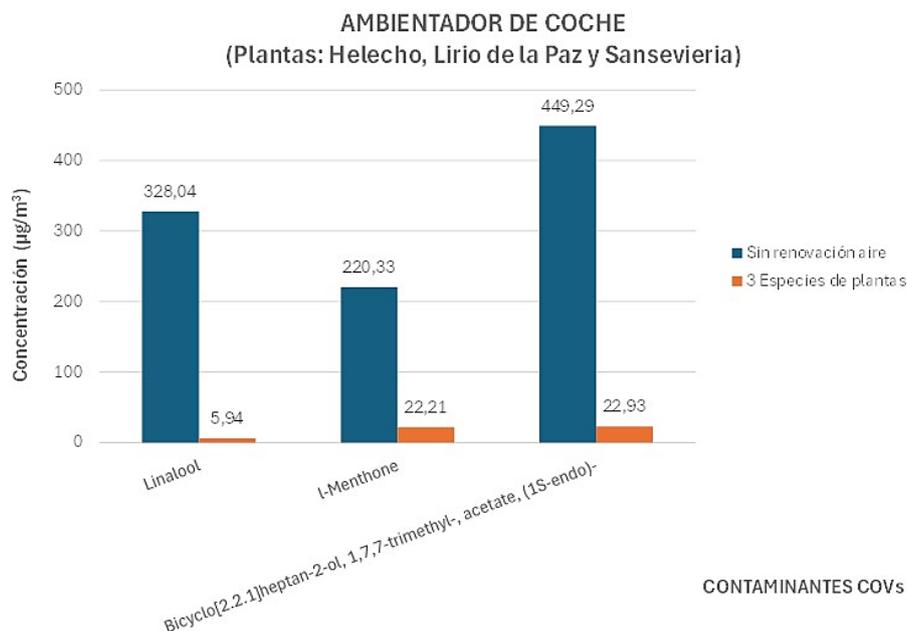


Figura 32. Ambientador de coche. Comparativa de las concentraciones de COVs seleccionados con la influencia de las tres especies vegetales.

En este sentido, en términos de % de reducción, existe una disminución de las concentraciones de los compuestos orgánicos volátiles por la presencia de plantas, con valores en torno al (90-98) %, **Figura 33**. Por tanto, la presencia de estas tres especies de plantas purificadoras de aire, impactan sobre los contaminantes generados en el interior, eliminándolos casi al completo.

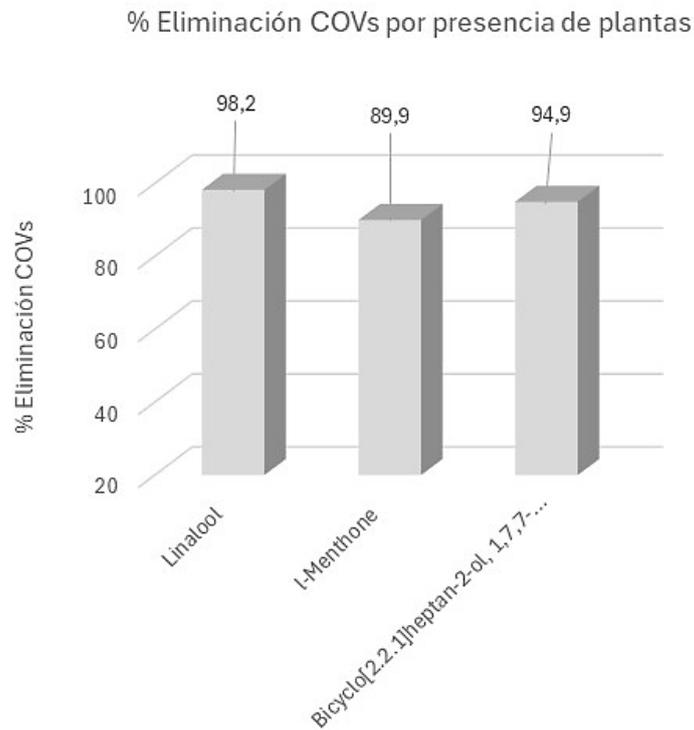


Figura 33. Ambientador de coche. % de eliminación de COVs seleccionados con la influencia de las tres especies vegetales.

❖ Vela aromatizada

En la **Figura 34** representamos la comparativa entre cromatogramas de los barridos de COVs emitidos por dicha muestra tanto sin renovación de aire y con la inclusión de las tres especies de plantas.

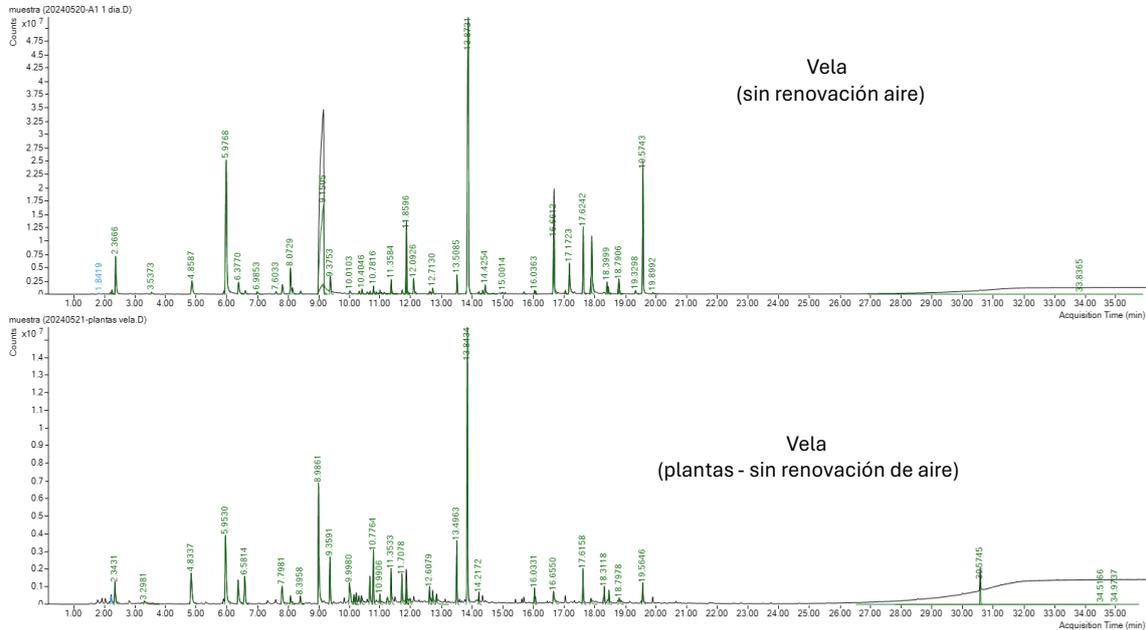


Figura 34. Vela aromatizada. Comparativa de espectros COVs sin/con la influencia de especies de plantas en cámara pequeña.

Los tiempos de respuesta, áreas cromatográficas y concentraciones de algunos de los componentes orgánicos volátiles que se han emitido en cámara sin/con la influencia de las especies de plantas son mostrados en la siguiente **Tabla 17**.

“REALCOV” - Evaluación de sistemas de reducción de emisiones de COV en interiores por medio de sistemas de ventilación y uso de plantas

Tabla 17. Barrido de COVs con una vela aromatizada en cámara de emisión de 225 L.

VELA AROMATIZADA - SIN RENOVACIÓN AIRE						
TR^(a) componente	Nombre del componente	Match Factor^(b)	CAS#^(c)	Área componente	µg	(µg/m³)
2,37	Ethyl Acetate	99,1	141-78-6	15962943,95	0,22	40,77
5,98	Butanoic acid, ethyl ester	98,3	105-54-4	79002160,32	1,07	200,80
9,15	Hydrazine, 1-methyl-1-(2-propenyl)-	69,0	20240-70-4	14970800,7	0,20	38,25
11,86	Butanoic acid, 3-methylbutyl ester	95,0	106-27-4	20560546,61	0,28	52,44
13,87	3,5,5-Trimethylhexyl acetate	99,1	58430-94-7	136991413	1,86	348,01
16,66	3H-1,2,4-Triazol-3-one, 1,2-dihydro-	97,1	930-33-6	27347634,31	0,37	69,67
17,62	Oxiranecarboxylic acid, 3-methyl-3-phenyl-, ethyl ester, cis-	98,8	19464-95-0	20667441,86	0,28	52,71
19,57	Diethyl Phthalate	98,9	84-66-2	48695700,87	0,66	123,87

^(a) TR: Tiempo de respuesta; ^(b) Match Factor: Factor de confianza de identificación del componente; ^(c) CAS#: Número de registro químico.

"REALCOV" - Evaluación de sistemas de reducción de emisiones de COV en interiores por medio de sistemas de ventilación y uso de plantas

VELA AROMATIZADA - (TRES ESPECIES DE PLANTAS + FOCO UV 15 W + SIN RENOVACIÓN AIRE)

TR ^(a) componente	Nombre del componente	Match Factor ^(b)	CAS# ^(c)	Área componente	µg	(µg/m ³)
2,34	Ethyl Acetate	97,1	141-78-6	2565206,613	0,04	5,12
5,95	Butanoic acid, ethyl ester	98,4	105-54-4	11244098,15	0,15	21,79
8,99	3-Methoxy-3-methylbutanol	98,5	56539-66-3	14412274,62	0,20	27,88
10,78	Cyclotetrasiloxane, octamethyl-	93,3	556-67-2	5002950,053	0,07	9,80
11,86	Butanoic acid, 3-methylbutyl ester	91,7	106-27-4	2156405,424	0,03	4,33
13,50	Cyclopentasiloxane, decamethyl-	98,6	541-02-6	5538011,398	0,08	10,83
13,84	3,5,5-Trimethylhexyl acetate	99,6	58430-94-7	26427256,72	0,36	50,96
17,62	Oxiranecarboxylic acid, 3-methyl-3-phenyl-, ethyl ester, cis-	97,8	19464-95-0	3244731,758	0,05	6,42
19,56	Diethyl Phthalate	98,1	84-66-2	2333495,643	0,03	4,67

^(a) TR: Tiempo de respuesta; ^(b) Match Factor: Factor de confianza de identificación del componente; ^(c) CAS#: Número de registro químico.

Para este caso, nos centramos en seis componentes orgánicos de los espectros mostrados y datos de la **Tabla 17** y estudiamos la reducción de dichos componentes con la influencia de las tres especies vegetales empleadas, **Tabla 18** y **Figura 35**. De los valores mostrados, la reducción de estos contaminantes es muy completa para esta muestra COV.

Tabla 18. COVs seleccionados y variación de la concentración con la influencia de las tres especies de plantas.

T. Respuesta	Contaminantes	Sin renovación aire	Tres especies de plantas
		c ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	c ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
2,37	Ethyl Acetate	40,77	5,12
5,98	Butanoic acid, ethyl ester	200,80	21,79
11,86	Butanoic acid, 3-methylbutyl ester	52,44	4,33
13,87	3,5,5-Trimethylhexyl acetate	348,01	50,96
17,62	Oxiranecarboxylic acid, 3-methyl-3-phenyl-, ethyl ester, cis-	52,71	6,42
19,57	Diethyl Phthalate	123,87	4,67

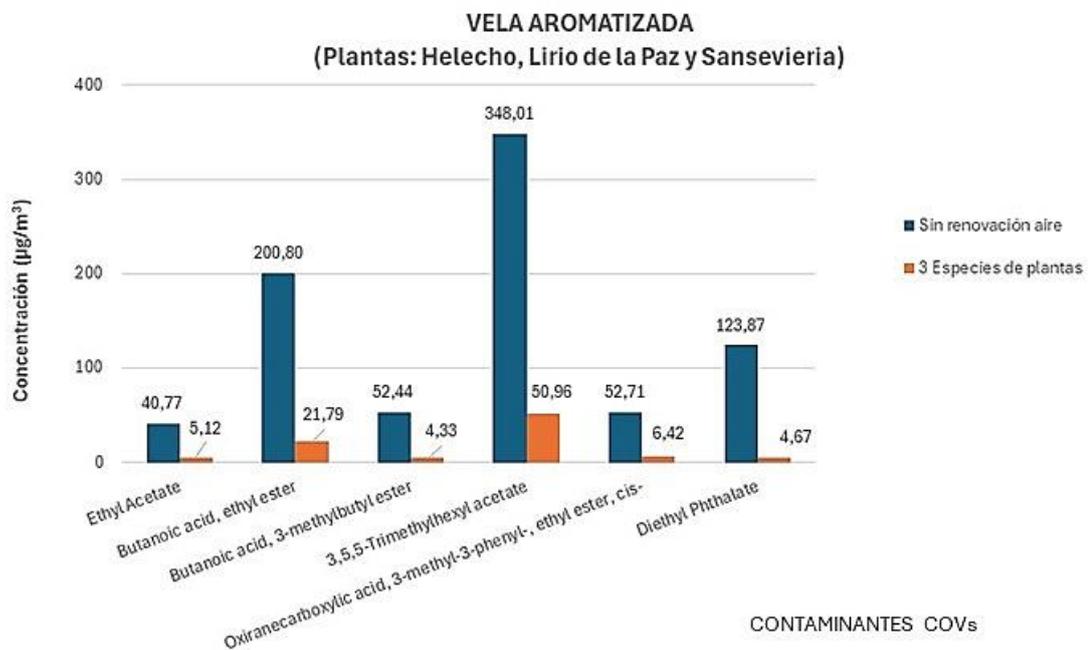


Figura 35. Vela aromatizada. Comparativa de las concentraciones de COVs seleccionados con la influencia de las tres especies vegetales.

Cabe destacar que los compuestos orgánicos volátiles emitidos por la vela aromatizada disminuyen considerablemente con valores superiores al 85 % de reducción, por la presencia de las tres especies de plantas purificadoras de aire, **Figura 36**.

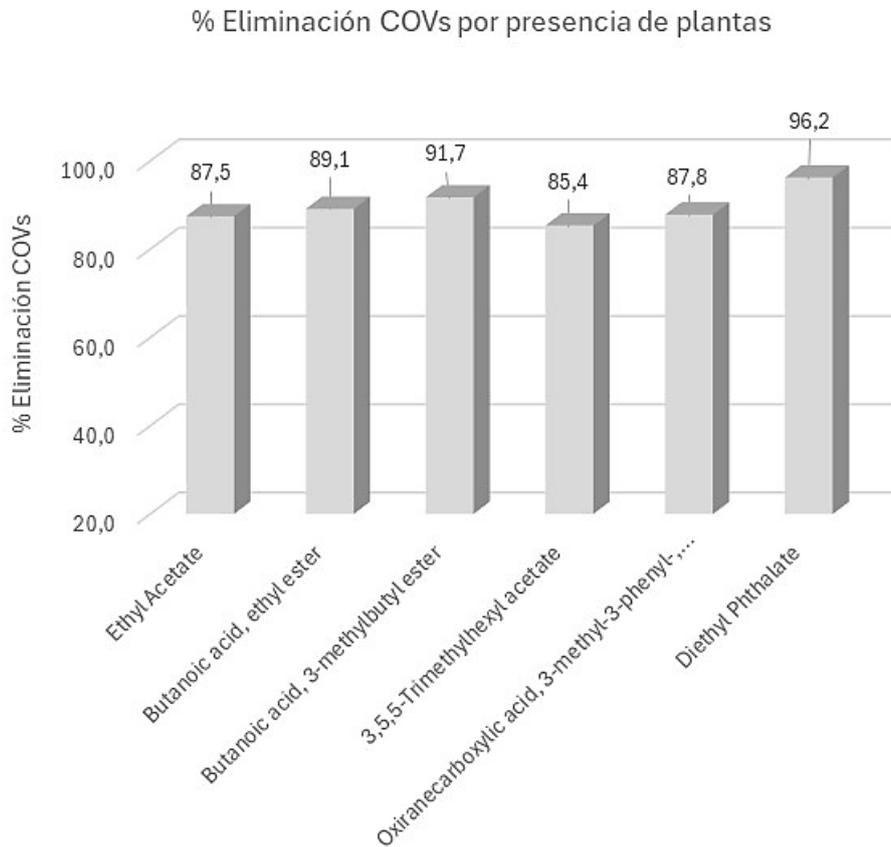


Figura 36. Vela aromatizada. % de eliminación de COVs seleccionados con la influencia de las tres especies vegetales.

❖ **Barniz al agua para interiores**

Para esta fuente de COV, en la **Figura 37**, representamos la comparativa entre cromatogramas de los barridos de componentes orgánicos emitidos tanto sin renovación de aire y con la presencia de las tres especies vegetales.

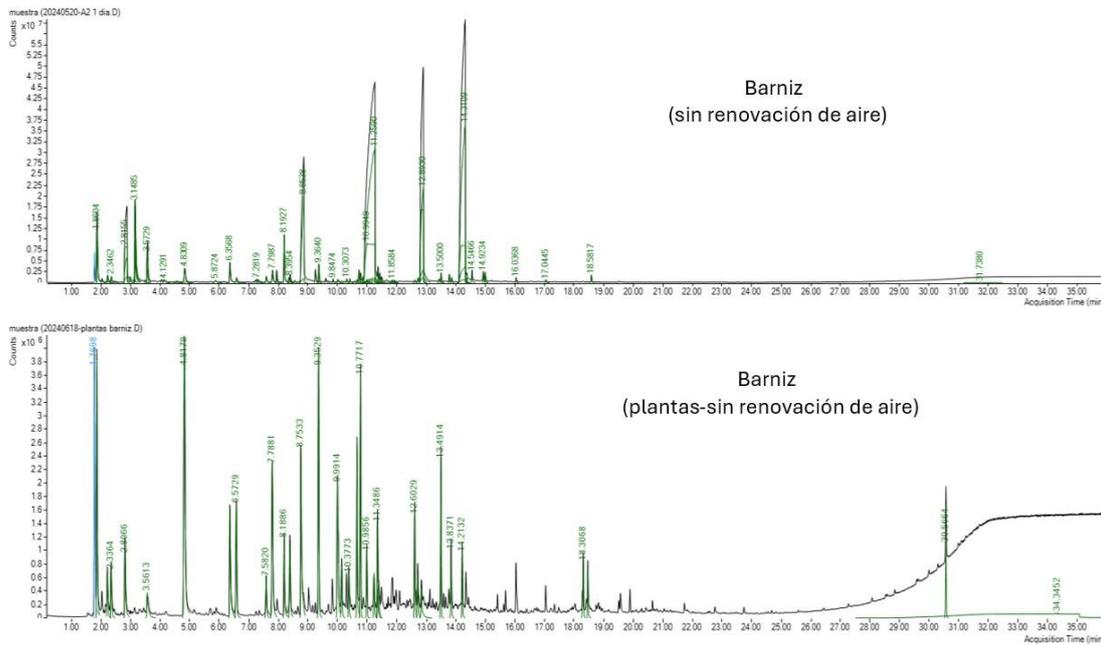


Figura 37. Barniz al agua para interiores. Comparativa de espectros COVs sin/con la influencia de especies de plantas en cámara pequeña.

Los tiempos de respuesta, áreas cromatográficas y concentraciones de algunos de los componentes orgánicos volátiles que se han emitido en cámara sin/con la influencia de las especies de plantas son mostrados en la siguiente **Tabla 19**.

“REALCOV” - Evaluación de sistemas de reducción de emisiones de COV en interiores por medio de sistemas de ventilación y uso de plantas

Tabla 19. Barrido de COVs con un barniz al agua para interiores en cámara de emisión de 225 L.

BARNIZ - (SIN RENOVACIÓN AIRE)						
TR ^(a) componente	Nombre del componente	Match Factor ^(b)	CAS# ^(c)	Área componente	µg	(µg/m ³)
1,86	2-Propanol, 2-methyl-	96,7	75-65-0	37883007,71	0,10	17,43
2,81	1-Butanol	92,0	78-92-2	949366,301	0,03	5,94
3,15	Triethylamine	98,6	121-44-8	60484580,71	0,82	139,67
4,82	Toluene	99,2	108-88-3	10599005,56	0,20	33,43
6,58	Cyclotrisiloxane, hexamethyl-	98,6	541-05-9	2653916,439	0,06	10,01
7,80	Benzene, 1,3-dimethyl-	98,9	108-38-3	7508664,155	0,08	14,23
8,75	Ethanol, 2-butoxy-	98,6	111-76-2	93963481,14	1,28	216,85

^(a) TR: Tiempo de respuesta; ^(b) Match Factor: Factor de confianza de identificación del componente; ^(c) CAS#: Número de registro químico.

“REALCOV” - Evaluación de sistemas de reducción de emisiones de COV en interiores por medio de sistemas de ventilación y uso de plantas

BARNIZ - (TRES ESPECIES DE PLANTAS + FOCO UV 15 W + SIN RENOVACIÓN AIRE)

TR ^(a) componente	Nombre del componente	Match Factor ^(b)	CAS# ^(c)	Área componente	µg	(µg/m ³)
1,86	2-Propanol, 2-methyl-	96,7	75-65-0	37883007,71	0,51	60,39
2,81	1-Butanol	95,6	71-36-3	2479075,736	0,03	4,10
3,15	Triethylamine	98,6	121-44-8	60484580,71	0,82	96,32
4,82	Toluene	99,5	108-88-3	14403941,08	0,20	23,06
6,57	Cyclotrisiloxane, hexamethyl-	98,9	541-05-9	4242049,96	0,06	6,90
7,79	Benzene, 1,3-dimethyl-	99,2	108-38-3	6242978,124	0,09	10,08
8,75	Ethanol, 2-butoxy-	98,8	111-76-2	6576108,24	0,09	10,61

(a) TR: Tiempo de respuesta; (b) Match Factor: Factor de confianza de identificación del componente; (c) CAS#: Número de registro químico.

De los espectros mostrados y datos de la **Tabla 19**, estudiamos la reducción de sus concentraciones en seis de ellos por la influencia de las tres especies vegetales, **Tabla 20 y Figura 38**.

Tabla 20. COVs seleccionados y variación de la concentración con la influencia de las tres especies de plantas.

T. Respuesta	Contaminantes	Sin renovación aire	Tres especies de plantas
		c (µg/m³)	c (µg/m³)
2,81	1-Butanol	5,94	4,10
3,15	Triethylamine	139,67	96,32
4,82	Toluene	33,43	23,06
6,58	Cyclotrisiloxane, hexamethyl-	10,01	6,90
7,80	Benzene, 1,3-dimethyl-	14,23	10,08
8,75	Ethanol, 2-butoxy-	216,85	10,61

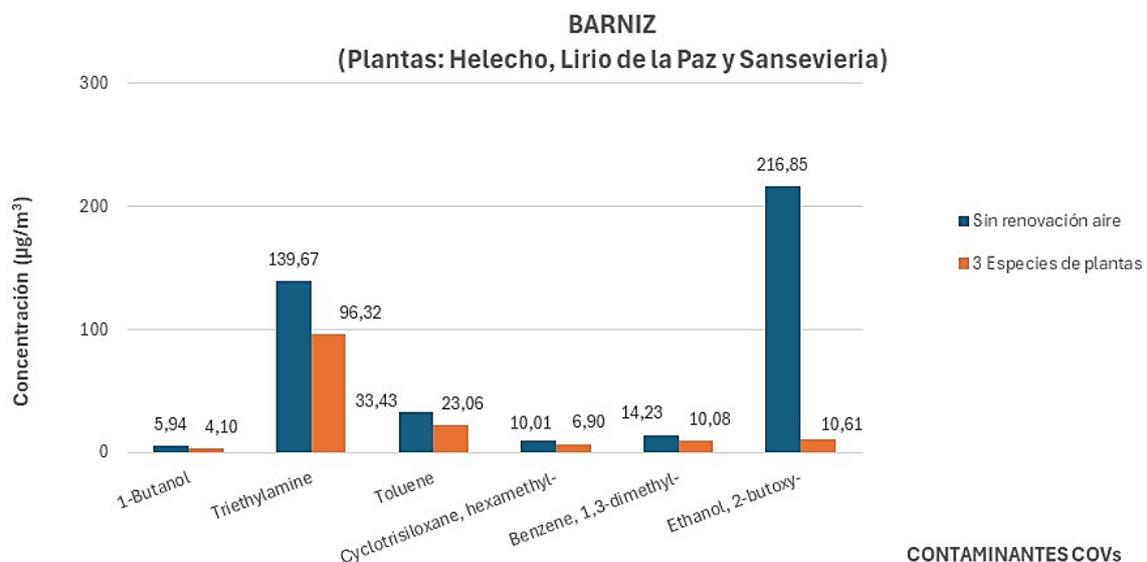


Figura 38. Barniz al agua para interiores. Comparativa de las concentraciones de COVs seleccionados con la influencia de las tres especies vegetales.

Para dicha muestra de barniz, la reducción de dichos COVs estudiados ha sido mínimamente parcial, por debajo del 35 % para la mayoría de ellos. Esto induce, a que en este caso existen ciertos componentes orgánicos volátiles difíciles de eliminar con la influencia de estas tres especies vegetales en cámara, **Figura 39**. Por otra parte, de forma contraria ha sido para el Ethanol, 2-butoxy-, alcanzando un 95 % en su reducción.

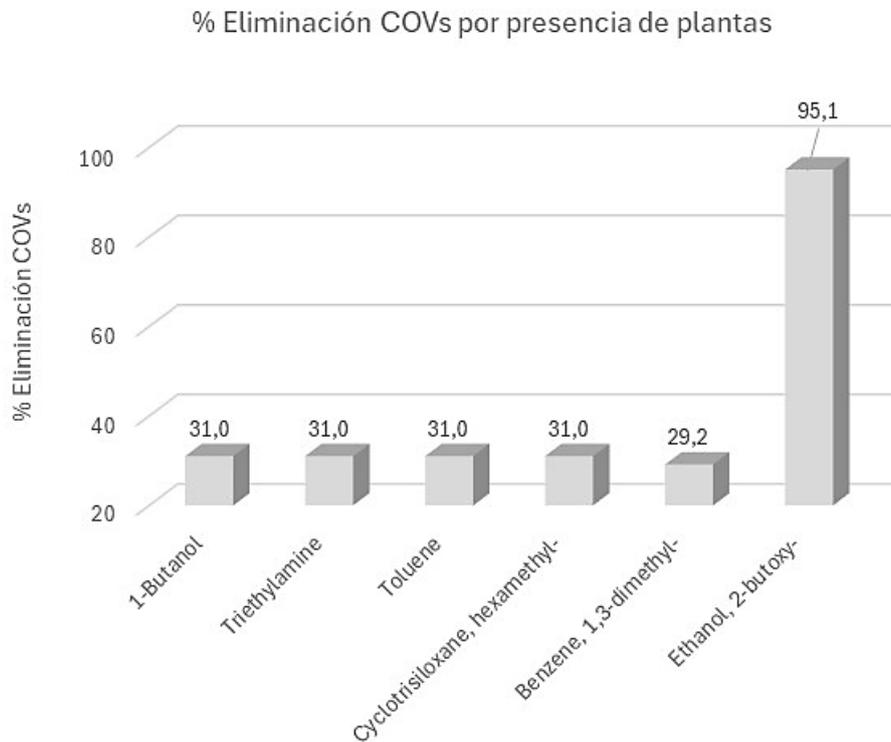


Figura 39. Barniz al agua para interiores. % de eliminación de COVs seleccionados con la influencia de las tres especies vegetales.

- **Detección de formaldehído en cámara pequeña por el método acetil-acetona según normativa UNE EN 717-1:2006.**

Al igual que en el caso de la renovación de aire, realizamos un estudio sobre la emisión de formaldehído en cámara con cada una de las fuentes COVs planteadas. Para ello determinamos la emisión de formaldehído gas con la presencia de las tres especies vegetales, **Tabla 21**.

- ✓ **Utilización de especies de plantas como biosistemas:**

Tabla 21. Emisión de formaldehído en cámara de 225 L con la introducción de tres especies de plantas en maceta (pasiva).

	Ambientador de coche Plantas + Luz UV ^(a) (ppm)	Vela aromatizada Plantas + Luz UV (ppm)	Barniz para interiores Plantas + Luz UV (ppm)
Sin renovación aire	< Q.L. ^(b)	< Q.L.	< Q.L.

^(a) Luz UV: Mini bombilla de bajo consumo de tipo espiral T3 – 15 W – 240 V – E27 - UV A, intensidad 850 lm, longitud de onda 350 nm. ^(b) Q.L. ≡ Límite de cuantificación (0,0182 ppm) para UNE EN 717-1:2006.

▪ **Cámara 60 m³**

Otro de los objetivos definidos y a llevar a cabo, es adicionar diferentes especies y número de plantas en maceta (pasiva) a la oficina recreada anteriormente como un espacio real habitable interior, **Figura 40**. Trabajando en cámara a norma ISO 16000-9 (a 23 °C y 50 % Hr), estudiamos el comportamiento de ciertos componentes orgánicos volátiles con la influencia de dichos biosistemas de plantas en cámara grande y sin renovación de aire en el interior.

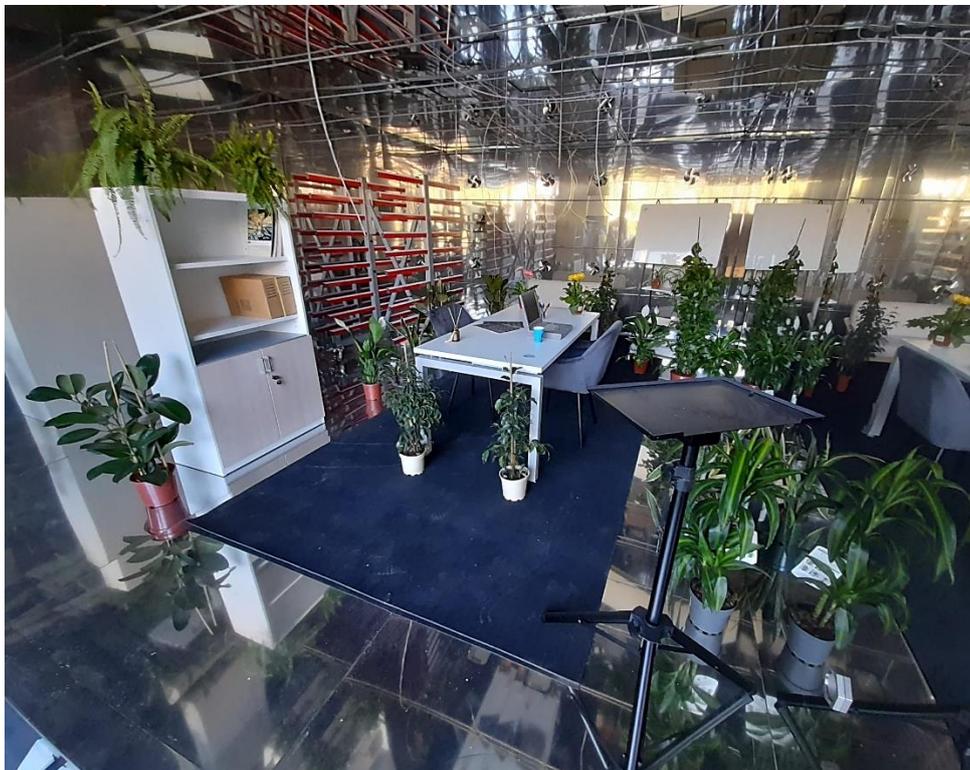


Figura 40. Simulación de oficina en cámara grande con la adición de biosistemas vegetales.

La **Figura 41** describe las especies de plantas introducidas a la oficina simulada en cámara, junto con el encendido y orientación de dos focos LED de 100 W, **Figura 42**, cuyo fin es dar luz ultravioleta al biosistema vegetal que configura el espacio habitable interior durante el ensayo programado y tomas de muestras:

Especies de plantas purificadoras de aire interior



HELECHO COLGANTE
(*Neprolepsis exaltata*)

Filtro contaminante para el formaldehído, xileno, tolueno, benceno y otros.



FICUS ROBUSTA
(*Ficus elástica*)

Filtro contaminante para el xileno, formaldehído, monóxido de carbono y tolueno.



GERBERA “Margarita africana”
(*Gerbera jamesonii*)

Filtro contaminante para el benceno, formaldehído, y tricloroetileno.



DRACENA
(*Dracaena spp.*)

Filtro contaminante para el triclorobenceno, formaldehído, benceno y xileno.



SPATHIPHYLLUM “Lirio de la Paz”
(*Spathiphyllum wallisii*)

Filtro contaminante para el formaldehído, xileno, acetona, benceno, amoníaco, monóxido de carbono y tricloroetileno.



FICUS DANIELLE
(*Ficus benjamina*)

Filtro contaminante para el formaldehído, xileno, y tolueno



CINTA “Cinta, planta araña, malamadre”
(*Chlorophytum comosum*)

Filtro contaminante para el formaldehído, xileno, tolueno, benceno y monóxido de carbono.



SANSEVIERIA “Lengua de Tigre, Espada de San Jorge”
(*Sansevieria trifasciata prain*)

Filtro contaminante para el formaldehído, tricloroetileno, tolueno, xileno, amoníaco, benceno y dióxido de carbono.

Figura 41. Listado de especies de plantas introducidas en cámara 60 m³ como biosistemas para la eliminación de COVs en aire interior [7,41].

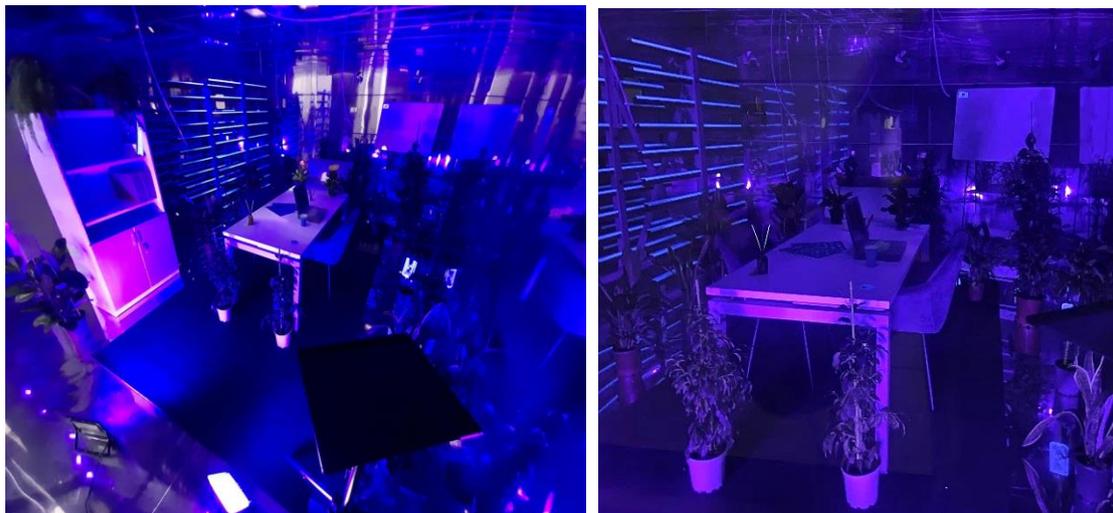


Figura 42. Iluminación con luz UV al biosistema vegetal interior con el empleo de dos focos LED de 100 W y longitud de onda [385-400] nm durante el ensayo y toma de muestras de COVs y aldehídos.

Los resultados se describen a continuación:

❖ **Cámara COV con mobiliario de oficina y adición de diferentes especies y nº de plantas**

Tras los ensayos realizados obtenemos los espectros de COVs emitidos por el mobiliario de oficina y fuentes de emisión, definiendo una comparativa entre cromatogramas, **Figura 43**. Como en casos anteriores, existe una reducción parcial de ciertos componentes COVs en cuanto a la intensidad de sus áreas cromatográficas, debido a la influencia de las diferentes especies vegetales y al aumento del número de plantas en maceta.

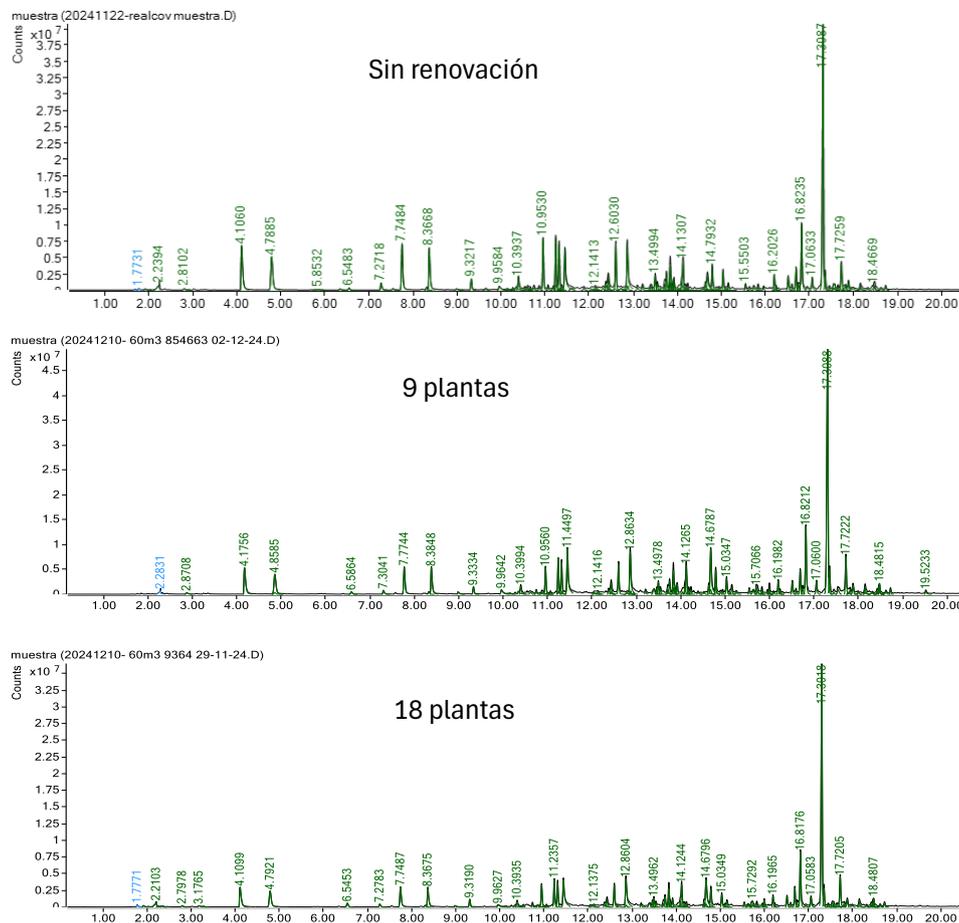


Figura 43. Simulación de oficina en cámara de 60 m³ con la influencia de las diferentes especies vegetales. Comparativa entre cromatogramas conforme aumenta el número de plantas en maceta (pasiva).

En la siguiente **Tabla 22**, se detallan los tiempos de respuesta, áreas cromatográficas y concentraciones de algunos de los componentes orgánicos volátiles que se han emitido en cámara, junto con la presencia de un número de especies de plantas en maceta.

"REALCOV" - Evaluación de sistemas de reducción de emisiones de COV en interiores por medio de sistemas de ventilación y uso de plantas

Tabla 22. Barrido de COVs en cámara 60 m³ simulando una oficina real y con la influencia de diferentes biosistemas vegetales.

MOBILIARIO DE OFICINA - (SIN RENOVACIÓN AIRE)					
TR ^(a) componente	Nombre del componente	Match Factor ^(b)	CAS# ^(c)	(µg/m ³)	
4,11	Methyl Isobutyl Ketone	99,0	108-10-1	75,52	
4,79	Toluene	100,0	108-88-3	67,66	
7,75	Benzene, 1,3-dimethyl-	99,0	108-38-3	68,50	
8,37	Cyclohexanone	99,0	108-94-1	57,67	
10,95	3-Carene	98,0	13466-78-9	55,40	
11,24	o-Cymene	95,0	527-84-4	55,88	
11,32	D-limonene	98,0	5989-27-5	49,78	
11,45	Benzyl alcohol	99,0	100-51-61	64,76	
12,60	Linalool	98,0	78-70-6	46,37	
12,86	Phenylethyl Alcohol	99,0	60-12-8	67,89	
13,84	Levomenthol	98,0	2216-51-5	26,64	
14,13	alpha.-Terpineol	91,0	98-55-5	32,59	
14,79	Cyclohexane, isothiocyanato-	97,0	1122-82-3	25,84	
15,04	Linalyl acetate	97,0	115-95-7	18,41	
16,70	4-tert-Butylcyclohexyl acetate	98,0	32210-23-4	21,43	
16,82	1,2,4-Methenoazulene, decahydro-1,5,5,8a-tetramethyl-, [1S-(1.alpha.,2.alpha.,3a.beta.,4.alpha.,8a.beta.,9R*)]-	98,0	1137-12-8	77,55	
17,31	Longifolene	99,0	475-20-7	322,00	
17,73	Quinoline, 1,2-dihydro-2,2,4-trimethyl	98,0	147-47-7	29,61	

^(a) TR: Tiempo de respuesta; ^(b) Match Factor: Factor de confianza de identificación del componente; ^(c) CAS#: Número de registro químico.

"REALCOV" - Evaluación de sistemas de reducción de emisiones de COV en interiores por medio de sistemas de ventilación y uso de plantas

MOBILIARIO DE OFICINA + 9 PLANTAS + LUZ UV 100 W - (SIN RENOVACIÓN AIRE)

TR ^(a) componente	Nombre del componente	Match Factor ^(b)	CAS# ^(c)	(µg/m ³)
4,11	Methyl Isobutyl Ketone	99,0	108-10-1	32,26
4,79	Toluene	100,0	108-88-3	29,46
7,75	Benzene, 1,3-dimethyl-	99,0	108-38-3	28,77
8,37	Cyclohexanone	99,0	108-94-1	26,14
10,95	3-Carene	98,0	13466-78-9	19,92
11,24	o-Cymene	95,0	527-84-4	27,38
11,32	D-limonene	98,0	5989-27-5	23,11
11,45	Benzyl alcohol	99,0	100-51-61	47,77
12,60	Linalool	98,0	78-70-6	22,16
12,86	Phenylethyl Alcohol	99,0	60-12-8	40,73
13,84	Levomenthol	98,0	2216-51-5	18,90
14,13	alpha.-Terpineol	91,0	98-55-5	22,41
14,79	Cyclohexane, isothiocyanato-	97,0	1122-82-3	18,94
15,04	Linalyl acetate	97,0	115-95-7	11,47
16,70	4-tert-Butylcyclohexyl acetate	98,0	32210-23-4	16,62
16,82	1,2,4-Methenoazulene, decahydro-1,5,5,8a-tetramethyl-, [1S-(1.alpha.,2.alpha.,3a.beta.,4.alpha.,8a.beta.,9R*)]-	98,0	1137-12-8	52,38
17,31	Longifolene	99,0	475-20-7	215,72
17,73	Quinoline, 1,2-dihydro-2,2,4-trimethyl	98,0	147-47-7	28,73

^(a) TR: Tiempo de respuesta; ^(b) Match Factor: Factor de confianza de identificación del componente; ^(c) CAS#: Número de registro químico.

“REALCOV” - Evaluación de sistemas de reducción de emisiones de COV en interiores por medio de sistemas de ventilación y uso de plantas

MOBILIARIO DE OFICINA + 18 PLANTAS + LUZ UV 100 W - (SIN RENOVACIÓN AIRE)

TR ^(a) componente	Nombre del componente	Match Factor ^(b)	CAS# ^(c)	(µg/m ³)
4,11	Methyl Isobutyl Ketone	99,0	108-10-1	26,19
4,79	Toluene	100,0	108-88-3	25,79
7,75	Benzene, 1,3-dimethyl-	99,0	108-38-3	24,17
8,37	Cyclohexanone	99,0	108-94-1	21,55
10,95	3-Carene	98,0	13466-78-9	18,60
11,24	o-Cymene	95,0	527-84-4	22,79
11,32	D-limonene	98,0	5989-27-5	19,35
11,45	Benzyl alcohol	99,0	100-51-61	37,43
12,60	Linalool	98,0	78-70-6	18,10
12,86	Phenylethyl Alcohol	99,0	60-12-8	36,31
13,84	Levomenthol	98,0	2216-51-5	15,08
14,13	alpha.-Terpineol	91,0	98-55-5	18,12
14,79	Cyclohexane, isothiocyanato-	97,0	1122-82-3	16,03
15,04	Linalyl acetate	97,0	115-95-7	10,13
16,70	4-tert-Butylcyclohexyl acetate	98,0	32210-23-4	14,99
16,82	1,2,4-Methenoazulene, decahydro-1,5,5,8a-tetramethyl-, [1S-(1.alpha.,2.alpha.,3a.beta.,4.alpha.,8a.beta.,9R*)]-	98,0	1137-12-8	45,74
17,31	Longifolene	99,0	475-20-7	209,83
17,73	Quinoline, 1,2-dihydro-2,2,4-trimethyl	98,0	147-47-7	25,44

^(a) TR: Tiempo de respuesta; ^(b) Match Factor: Factor de confianza de identificación del componente; ^(c) CAS#: Número de registro químico.

A partir de los cromatogramas mostrados y **Tabla 22**, nos centramos en cinco de sus componentes orgánicos volátiles emitidos y estudiamos sus efectos con la influencia de diferentes especies de plantas como biosistemas en el interior de la cámara grande, **Tabla 23** y **Figura 44**. Según los valores obtenidos y gráfico representado, la reducción de COVs es parcialmente significativa para cada componente orgánico seleccionado cuando empleamos diferentes especies de plantas, pero sin embargo, la reducción es mínima cuando aumentamos en número dichas especies.

Tabla 23. COVs seleccionados y variación de la concentración en el aire interior con la influencia de diferentes especies vegetales y nº de plantas.

T. Respuesta	Contaminantes	SIN PLANTAS c (µg/m ³)	9 PLANTAS c (µg/m ³)	18 PLANTAS c (µg/m ³)
7,75	Benzene, 1,3-dimethyl-	68,50	28,77	24,17
8,37	Cyclohexanone	57,67	26,14	21,55
12,60	Linalool	46,37	22,16	18,10
12,86	Phenylethyl Alcohol	67,89	40,73	36,31
17,31	Longifolene	322,00	215,72	209,83

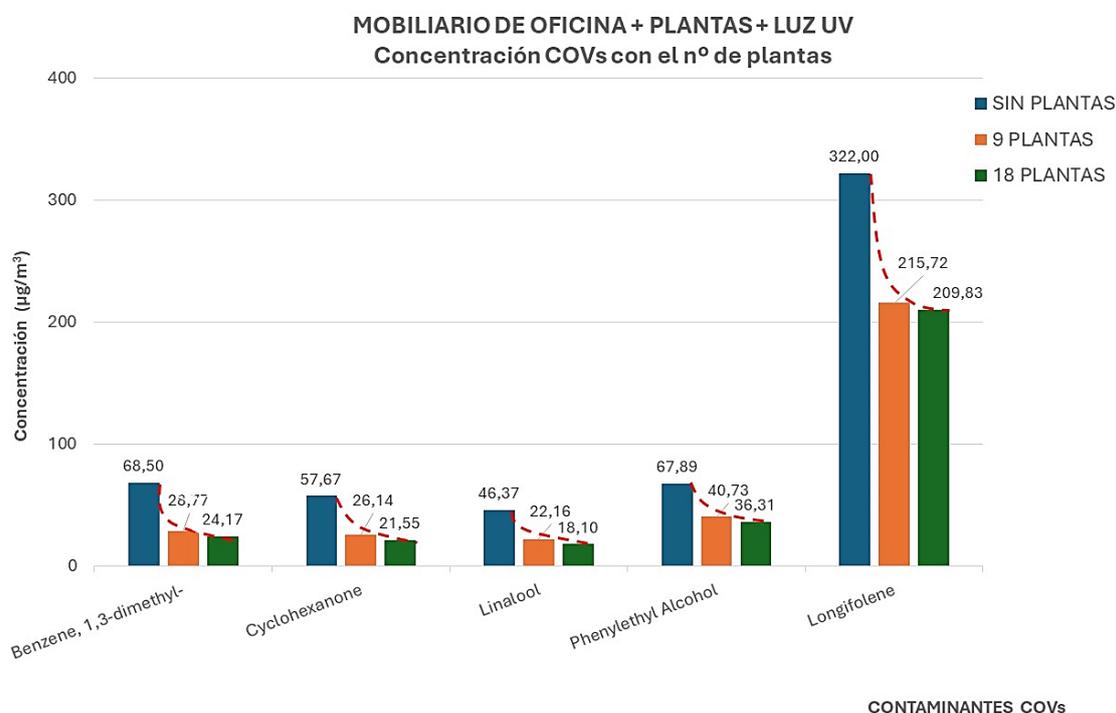


Figura 44. Mobiliario de oficina con especies vegetales. Comparativa de la concentración de COVs seleccionados conforme aumenta el nº de especies y plantas vegetales en maceta (pasiva).

Para cada componente orgánico volátil estudiado, el % de eliminación no supera el 65 % tanto para el caso de la introducción de 9 como de 18 plantas en maceta respectivamente, **Figura 45**. Por tanto en nuestro caso, el aumentar el número de plantas en maceta en el interior de la cámara grande no afecta en una reducción o eliminación más completa de dichos contaminantes.



Figura 45. Mobiliario de oficina con especies vegetales. Comparativa del % de eliminación de COVs seleccionados conforme aumenta el nº de especies y plantas vegetales en maceta (pasiva).

- **Detección de formaldehído en cámara grande con cartuchos DNPH y separación por cromatografía líquida (HPLC) según normativa UNE ISO 16000-3:2022 e UNE-EN 16516:2018 + A1.**

Aplicando este procedimiento de ensayo, detectamos la emisión gaseosa de otros compuestos orgánicos como son la presencia de aldehídos. Hemos de indicar de antemano, que ha habido una acumulación previa de formaldehído en cámara grande como se detalla en los valores de la **Tabla 24**, tanto en la introducción de las 18 plantas con la mitad. Valores por encima al formaldehído primario sin renovación de aire y solo con el mobiliario de oficina. Por lo tanto, los resultados para este COV son anómalos.

✓ **Utilización de especies de plantas como biosistemas:**

Tabla 24. Detección de componentes aldehídos en cámara de 60 m³ con la introducción de diferentes especies y número de plantas en maceta (pasiva).

	[HCHO] ^(a) (ppb)	[CH ₃ CHO] ^(b) (ppb)
Sin renovación de aire	52,55	< 16
18 plantas + Luz UV^(c)	62,40	< 16
9 plantas + Luz UV	76,28	17,75

^(a) HCHO: Formaldehído; ^(b) CH₃CHO: Acetaldehído. ^(c) Luz UV: Dos focos LED de aluminio – 100 W – Voltaje de entrada AC 110V/220 V y longitud de onda [385-400] nm.

3 Resultados obtenidos.

Durante el transcurso del presente proyecto se han extraído los siguientes resultados:

- Se han empleado tres emisores de COVs y tres especies de plantas para estudiar la reducción de COVs en cámara pequeña de 225 L. Las fuentes de COV seleccionadas han sido una vela aromatizada, una muestra de barniz al agua para interiores y un ambientador de automóvil. En cuanto a las especies de plantas seleccionadas, el lirio de la paz, la sansevieria y el helecho han sido las utilizadas. Tanto para el caso ensayado con solo los emisores de COVs y por otro lado con la introducción de tres especies de plantas en cámara, detectamos una reducción parcial y casi total de ciertos componentes COVs por el método de termo desorción térmica, en cuanto a la intensidad de sus áreas cromatográficas y concentraciones de los picos que representan cada contaminante gaseoso, provocado tanto por el efecto de la dilución del aire en cámara como por la presencia de biosistemas con estas tres especies de plantas.
- En todas las muestras emisoras de COVs, el aumento de la renovación de aire en cámara disminuye o reduce parcialmente el contaminante orgánico gaseoso en mayor medida. Para el caso del ambientador de coche y vela aromatizada, con tan solo media renovación de aire el efecto es muy significativo en cada componente seleccionado, pero sin embargo, para el caso del barniz al agua para interiores, la reducción de los contaminantes estudiados tiende a aumentar si aumentamos a una renovación de aire, es decir, son más resistentes de eliminar o degradarse en cámara con menor renovación de aire. Por otra parte, el mismo efecto se genera en cámara de 225 L con la introducción de las tres especies de plantas sin regulación de aire, observamos una reducción significativa de los contaminantes estudiados para los casos del ambientador de coche y vela aromatizada, con valores superiores al 90 % de eliminación. No obstante para el caso del barniz al agua, la reducción de dichos COVs bajo la influencia vegetal ha sido mínimamente parcial, por debajo del 35 % para la mayoría de los contaminantes gaseosos.

- De forma paralela se ha intentado detectar formaldehído en el aire interior de la cámara pequeña por el método acetil acetona y espectrofotometría UV-Vis. Para ambos casos, con solo los emisores de COVs y el aumento de la renovación de aire, como además después, con la adición de especies vegetales sin regulación de aire, los valores de formaldehído han sido despreciables, por debajo del límite de cuantificación.
- Se ha recreado un escenario habitable con mobiliario de oficina y fuentes COV en una cámara grande de 60 m³, dimensionando la exposición de COVs a un entorno real donde una persona podría estar expuesta inhalando aire de interior. En este volumen mayor con solo media renovación de aire, la reducción ha sido significativa alcanzando valores hasta el 87 % de reducción en algunos de los componentes orgánicos estudiados. Por otro lado, elevando la renovación de aire en cámara, el % de eliminación aumenta genéricamente para todos los contaminantes, como por ejemplo es el caso de la ciclohexanona y el benceno, 1-3-dimetil, reduciéndose ambos hasta valores en torno a un 90 %. Destacar por otra parte, que existen contaminantes emitidos que son difíciles de eliminar, pudiéndose ser debido a la complejidad de su composición. En lo que respecta con la adición de diferentes especies de plantas en maceta (pasiva) sin aireación en el interior, hasta ocho especies diferentes hemos introducido, ver **Tabla 8**. En este caso, estudiamos no solo la influencia de las especies vegetales en el espacio habitable interior, sino también, que ocurre cuando aumentamos el nº de plantas en cámara. De acuerdo a los ensayos realizados, la reducción de COVs es parcialmente significativa para cada componente orgánico seleccionado bajo la influencia de diferentes especies de plantas, pero sin embargo, la reducción es mínima cuando aumentamos de 9 a 18 plantas.
- De la misma manera que en cámara pequeña, detectamos formaldehído y acetaldehído con cartuchos DNPH y separación por cromatografía líquida en cámara grande, existiendo una clara reducción del formaldehído gas y trazas de acetaldehído con el aumento de la renovación de aire, mientras que con la presencia de biosistemas vegetales el resultado ha sido anómalo, debido a una acumulación del formaldehído primario y sin renovación de aire en cámara.

- Por último, se ha desarrollado una intercomparación de la emisión de formaldehído procedente de tableros certificados derivados de la madera entre volúmenes de cámara grande y pequeña. Para cada muestra ensayada y según norma, se ha establecido un punto de equivalencia entre volúmenes y emisiones de acuerdo a la estadística calculada, aplicado a muestras seleccionadas con rangos de emisión por debajo de 0,05 ppm y rango intermedio [0,07 – 0,15] ppm según establece la legislación americana CARB/EPA.

4 Resumen y conclusiones.

Los compuestos orgánicos volátiles (COV) presentes en productos cotidianos, pueden acumularse en espacios mal ventilados, causando irritación, alergias y problemas respiratorios. Para reducir su impacto hay que ventilar, usar productos con bajas emisiones y priorizar la calidad del aire en interiores de un hogar o inmueble para proteger nuestra salud.

Modular los niveles de aireación tanto en cámara pequeña y grande, han permitido eliminar en mayor medida los contaminantes emitidos por las fuentes COVs y mobiliario de oficina, lo que indica que el principio de dilución de aire renovado mejora las condiciones ambientales del aire interior, aunque en algunos casos implica un coste energético por la ventilación.

A modo comparativo y según lo estudiado, se concluye que para purificar más rápido el aire interior de un inmueble es más efectivo emplear un sistema de ventilación, que introducir diferentes especies vegetales y número de plantas. No obstante, emplear plantas siempre será positivo para limpiar el ambiente donde respiramos y diseñar por tanto, nuestros espacios de convivencia pensando en la salud de las personas que los ocupan, en línea con las directrices de la construcción circular. En este sentido, convendría desarrollar un estudio más exhaustivo estudiando la selectividad de las especies vegetales, hacia que contaminantes determinados pueden llegar a degradar en mayor medida, dentro del aire interior de un espacio confinado o bien estudiar la variación de la concentración de un contaminante específico con el tiempo.

Simular un escenario real habitable con una cámara de grandes dimensiones, donde los seres humanos podemos estar expuestos a la emisión continua de contaminantes es clave para entender la naturaleza del problema. Los resultados de reducción parcial/total tanto de COVs y aldehídos han sido significativos tanto con el aumento de la renovación de aire como con la influencia de diferentes especies vegetales. Dentro de cámara hemos adoptado la disposición de plantas en maceta (pasiva), escogiendo según bibliografía las más efectivas para minimizar los compuestos tóxicos que pudieran estar presentes en un hogar.

Por último, concluimos que matemáticamente la emisión de formaldehído entre cámaras de diferente volumen, muestran claramente una equivalencia aproximada en cada muestra ensayada.

5 Anexos y bibliografía

- [1] Kumar, R., et al., **2023**. A systematic review on mitigation of common indoor air pollutants using plant-based methods: a phytoremediation approach. *Air Quality, Atmosphere and Health. Springer Science and Business Media B.V.* [https://doi.org/ 10.1007/s11869-023-01326-z](https://doi.org/10.1007/s11869-023-01326-z).
- [2] A. A. Alvarado-Alvarado, W. Smets, P. Irga, S. Denys., *Journal of Hazardous Materials* 465, (2024), 133491.
- [3] González-Martín, J., et al., **2021**. A state of-the-art review on indoor air pollution and strategies for indoor air pollution control. *Chemosphere* 262. [https://doi.org/ 10.1016/j.chemosphere.2020.128376](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128376).
- [4] A. Pillariseti, W. Ye and S. Chowdhury, *Annu. Rev. Environ. Resour, Indoor Air Pollution and Health*, et al., **2022**, 47:197–229,
- [5] World Health Organization. WHO Guidelines for Indoor Air Quality: Selected Pollutants; **2010**. Available at: www.euro.who.int
- [6] Pettit, T., Irga, P.J., Torpy, F.R. Towards practical indoor air phytoremediation: A review. *Chemosphere*; (2018), 208, 960–974. [https://doi.org/ 10.1016/j.chemosphere.2018.06.048](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.06.048).
- [7] R. Kumar, V. Verma. M. Thakur, G. Singh, B. Bhargava, *Air Quality, Atmosphere & Health*; (2023), 16:1501–1527.
- [8] Ukaogo PO, Ewuzie U, Onwuka CV. Environmental pollution: causes, effects, the remedies. *Microorganisms for sustainable environment, health*; (2020). pp 419–429. [https:// doi. org/ 10. 1016/ B978-0- 12- 819001- 2. 00021-8](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819001-2.00021-8).
- [9] S. Kowatsch, Formaldehyde, “Phenolic Resins: A Century of Progress”, L. Pilato (ed.), *Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg* (2010), Cap.3.
- [10] Hodgson AT, Levin H. Volatile organic compounds in indoor air: A review of concentrations measured in North America since 1990-LBNL-51715; (2003).
- [11] Mata, T.M., et al., **2022**. Indoor air quality: a review of cleaning technologies. *Environments - MDPI*. <https://doi.org/10.3390/environments9090118>.
- [12] Szczotko, M., et al., **2022**. A review of selected types of indoor air purifiers in terms of microbial air contamination reduction. *Atmosphere. MDPI*. [https://doi.org/ 10.3390/atmos13050800](https://doi.org/10.3390/atmos13050800).
- [13] US EPA. Air Cleaners and Air Filters in the Home; **2022a**.
- [14] Montgomery, J.F., et al., **2012**. Predicting the energy use and operation cost of HVAC air filters. *Energy Build* 47, 643–650. [https://doi.org/10.1016/j. enbuild.2012.01.001](https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.01.001).

- [15] Pérez-Lombard, L.; Ortiz, J.; Pout, C. A review on buildings energy consumption information. *Energy Build*; (2008), 40, 394–398.
- [16] *Int. J. Environ. Res. Public Health*; (2022), 19, 1016. <https://doi.org/10.3390/ijerph19021016>.
- [17] Liu, Z.; Ma, S.; Cao, G.; Meng, C.; He, B.-J. Distribution characteristics, growth, reproduction and transmission modes and control strategies for microbial contamination in HVAC systems: A literature review. *Energy Build*; (2018), 177, 77–95.
- [18] <https://friobensal.com/servicios/aire-acondicionado-por-conductos/>.
- [19] Fleck, R., et al., 2020. Botanical biofiltration for reducing indoor air pollution. Bio- Based Mater Biotechnol Eco-Effic Constr Ltd. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-819481-2.00015-5>.
- [20] Wei, X., et al., 2017. Phylloremediation of air pollutants: Exploiting the potential of plant leaves and leaf-associated microbes. *Front Plant Sci* 8 (2), 1–23. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01318>.
- [21] Kiurski JS, Marić BB, Aksentijević SM, Oros IB, Kecić VS, Kovac̄ević IM. Indoor air quality investigation from screen printing industry. *Renewable, Sustainable Energy Reviews*; (2013), 28:224–231. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.07.039>.
- [22] Maslauskas T., Green walls—the vertical planting systems. VIA University College, Horsens, Denmark; (2015), p 43.
- [23] Gunawardena K., Steemers K. Living walls in indoor environments. *Building, Environment*; (2019), 148:478–487. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.11.014>.
- [24] Torpy, F., et al., 2018. Testing the single-pass VOC removal efficiency of an active green wall using methyl ethyl ketone (MEK). *Air Qual Atmos Health* 11, (2), 163–170. <https://doi.org/10.1007/s11869-017-0518-4>.
- [25] Junglify (2023). Project archive. <https://www.junglify.com.au/projects#>.
- [26] *Environments*; (2022), 9, 118. <https://doi.org/10.3390/environments9090118>.
- [27] <https://www.levante-emv.com/valencia/2019/05/03/edificio-verde-adelantado-tiempo-icno-13665601.html>.
- [28] Guieysse B., Hort C., Platel V., Munoz R., Ondarts M., Revah S. Biological treatment of indoor air for VOC removal: Potential, Challenges. *Biotechnology advances*; (2008), 26(5):398–410. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2008.03.005>.
- [29] Xu Z., Wang L., Hou H. Formaldehyde removal by potted plant–soil systems. *Journal of Hazardous Materials*; (2011), 192(1):314–318. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.05.020>.

- [30] <https://www.aepjp.es/la-descontaminacion-de-suelos-mediante-fitorremediacion/>.
- [31] Setsungnern A., Treesubuntorn C., Thiravetyan P. The influence of different light quality N and benzene on gene expression and benzene degradation of *Chlorophytum comosum*. *Plant Physiology and Biochemistry*; (2017), 120:95–102.
<https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.09.021>.
- [32] UNE-ISO 16000-6:2019 Aire de interiores. Parte 6: Determinación de compuestos orgánicos volátiles en aire de interiores y de cámaras de ensayo mediante muestreo activo con adsorbente Tenax TA, desorción térmica y cromatografía de gases, empleando MS o MS-FID.
- [33] UNE 16000-6:2021 Indoor air - Part 6: Determination of organic compounds (VVOC, VOC, SVOC) in indoor and test chamber air by active sampling on sorbent tubes, thermal desorption and gas chromatography using MS or MS FID.
- [34] ISO 16000-3:2022 “Determinación de formaldehído y otros compuestos carbonílicos en aire interior y cámara de ensayo - Método del muestreo activo”. UNE 77260-3 “Aire de interiores. Parte 3: Determinación de formaldehído y otros compuestos carbonílicos. Método de muestreo activo”.
- [35] UNE-EN 16516:2018 + A1 “Productos de construcción: Evaluación de la emisión de sustancias peligrosas. Determinación de las emisiones al aire interior”.
- [36] https://www.waters.com/webassets/cms/library/docs/720001988es.pdf?srltid=AfmBOoogJ61Bs7ZWck5Y8pr3F6L8UHCMzajqkrzQZhs2XblqWFGyEc_
- [37] ASTM E 1333-14 “Standard test method for determining formaldehyde concentrations in Air and emissions rates from Wood Products using a large chamber”.
- [38] ASTM D 6007-14 “Standard test method for determining formaldehyde concentrations in Air from Wood Products using a small-scale chamber”.
- [39] UNE EN 717-1:2006 “Determinación de la emisión de formaldehído (Método de la cámara pequeña)”
- [40] Anil Saini, Sanjay Kumar and Jagir S. Sandhu. “Hantzsch reaction: Recent advances in Hantzsch 1,4 dihydropyridines”. *Journal of Scientific & Industrial Research*. Vol. 67, February 2008, pp. 95-111.
- [41] <https://verdecora.es/316989-comprar-plantas-flores-y-semillas>.
- [42] AIDIMME/RC-PM-CARB-EPA/R4. “Reglamento de Certificación de Productos Derivados de la Madera de baja emisión de formaldehído conforme a la US EPA TSCA Title VI y CCR 17 ATCM 93120”, Septiembre 2019.

AIDIMME

INSTITUTO TECNOLÓGICO

Domicilio fiscal —

C/ Benjamín Franklin 13. (Parque Tecnológico)
46980 Paterna. Valencia (España)
Tlf. 961 366 070 | Fax 961 366 185

Domicilio social —

Leonardo Da Vinci, 38 (Parque Tecnológico)
46980 Paterna. Valencia (España)
Tlf. 961 318 559 - Fax 960 915 446

aidimme@aidimme.es

www.aidimme.es