

CAMPAÑA MEDIDA COVs, PLAN NACIONAL DE OZONO

TRANSFERENCIA DE MITERD AL CSIC, 2023TE002:
“TRANSFERENCIA A CSIC PARA TRABAJOS RELACIONADOS CON LA
CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA Y POR COPS”

INFORME PLAN OZONO



Realizado por:



Para:



Octubre de 2024

Autores:

Xavier Querol, Jordi Massagué, Andrés Alastuey

Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua (IDAEA)

Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)

Enrique Mantilla, Amalia Muñoz, Esther Borrás, Teresa Vera

Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo (CEAM)

Eliseo Monfort, Irina Celades, Ana López Lilao, Vicenta Sanfelix

Instituto de Tecnología Cerámica (ITC)

Universitat Jaume I (UJI)

Miguel Escudero

Departamento de Física Aplicada

Universidad de Zaragoza (UNIZAR)

Eduardo de la Torre, Gotzon Gangoiti

Escuela superior de Ingeniería

Universidad del País Vasco/Euskal Erriko Unibertsitatea

CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN	1
I.1. OZONO TROPOSFÉRICO Y SUS PRECURSORES	1
I.2. REGÍMENES DE FORMACIÓN DE OZONO	5
II. OBJETIVOS	6
III. METODOLOGÍA.....	8
IV. RESULTADOS	13
IV.1. NIVELES DE COVs	13
IV.1.1. Estaciones de tráfico de Barcelona	17
IV.1.2. Estación de tráfico de Valencia	17
IV.1.3. Estación de tráfico de Madrid.....	17
IV.1.4. Estación de tráfico de Castellón.....	18
IV.1.5. Estaciones de tráfico de Bilbao	18
IV.1.6. Estación de tráfico de Zaragoza	18
IV.1.7. Comparación con las mediciones cercanas a focos de emisiones de COVs de la campaña de 2023	21
IV.2. POTENCIAL MÁXIMO DE FORMACIÓN DE OZONO	22
IV.2.1. Comparación de los valores de PMFO calculados a partir de mediciones en estaciones de tráfico en la campaña de 2024.....	22
IV.2.2. Comparación de los valores de PMFO de mediciones cercanas a focos de emisiones de COVs de las campañas de 2022, 2023 y 2024	28
V. BIBLIOGRAFÍA.....	31

I. INTRODUCCIÓN

I.1. OZONO TROPOSFÉRICO Y SUS PRECURSORES

El ozono (O₃) troposférico afecta a la calidad del aire desde la atmósfera urbana contaminada a las áreas remotas del planeta. Su formación requiere reacciones fotoquímicas (gobernadas por la radiación solar) con la participación de óxidos de nitrógeno (NO_x) y compuestos orgánicos volátiles (COVs), y va acompañada de la producción de una gran variedad de compuestos secundarios intermedios y finales, importantes para la calidad del aire (US-EPA, 2006).

La formación fotoquímica de O₃ comienza con la oxidación del óxido nítrico (NO) a dióxido de nitrógeno (NO₂) por radicales peróxido-orgánicos (RO₂) o hidro-peróxido (HO₂), (Figura 1). Estos radicales se originan por oxidación de los COVs (de origen antrópico o biogénico), mayoritariamente mediante radical hidroxilo (OH). Una vez formado el NO₂, durante el día su fotólisis produce NO y un átomo de O en estado excitado (O*), que luego reacciona con O₂ para formar O₃. Téngase también en cuenta que los NO_x (= NO + NO₂) no se consumen en este proceso (es decir, es catalítico) y por tanto están constantemente disponibles para generar O₃.

Hay un gran número de compuestos de N oxidado en la atmósfera, tales como NO, NO₂, NO₃, HNO₂, HNO₃, N₂O₅, HNO₄, PAN en fase gas, así como otros nitratos orgánicos e inorgánicos en fase particulada. Colectivamente estas especies se conocen como NO_y y su formación se desencadena por la emisión de NO principalmente. El lavado de los NO_x atmosféricos se produce mayoritariamente a través de su conversión a ácido nítrico (HNO₃) y su deposición húmeda.

La oxidación de los COVs se inicia principalmente por reacción con el radical hidroxilo (OH) durante el día. La fuente primaria de radicales OH en la atmósfera es la reacción de átomos de O* (procedentes de la fotólisis de O₃) con vapor de agua. En áreas contaminadas, la fotólisis de aldehídos (por ejemplo, HCHO), ácido nitroso (HONO) y peróxido de hidrógeno (H₂O₂) también pueden ser fuentes significativas de OH, o de radicales HO₂ que rápidamente pueden convertirse en OH (Eisele et al., 1997). El O₃ también puede oxidar alquenos, especialmente por la noche, cuando son más abundantes los radicales NO₃. En ambientes costeros y otros ambientes específicos también pueden iniciar la oxidación de los COVs radicales Cl y Br.

La generación de radicales oxidantes para convertir NO a NO₂ sin consumir O₃ se produce en zonas remotas y rurales a partir de la oxidación de CH₄, CO y COVs-NM (no metánicos) de origen biogénico (isopreno, terpenos, metanol, etc.) y de sus productos inmediatos de reacción (epóxidos, nitratos y compuestos carboxílicos, como formaldehído y acetaldehído). En zonas menos remotas, además de los anteriores, contribuyen otros compuestos, como los hidrocarburos (aromáticos, alcanos y alquenos) y COVs oxigenados resultantes de la oxidación de hidrocarburos o de emisiones antropogénicas o biogénicas directas (formaldehído, acetaldehído, metanol, cetonas, etc.). Este conjunto de compuestos abarca una amplia gama de propiedades químicas y tiempos de vida en la atmósfera: el isopreno tiene una vida atmosférica de aproximadamente una hora, mientras que el metano tiene una vida atmosférica de aproximadamente una década.

- Alcanos
- Alquenos
- Carbonilos (aldehídos y cetonas)
- HAP
- Alcoholes
- Peróxidos orgánicos
- COVs halogenados

- Isopreno 1h
- Metano 10 años

[illegible]

han demostrado que la infiltración de O₃ al interior de aulas de escuelas suecas causa episodios de partículas ultra-finas en muy altas concentraciones.

La capacidad de los COVs para generar radicales, y por tanto O₃, puede variar enormemente según las diferentes especies y ambientes. Para caracterizar estas capacidades o potenciales de formación de O₃ de cada COV se utiliza el *Maximum Incremental Reactivity* (MIR, Carter, 2009; 2010; Venecek et al., 2018), que indica los valores máximos de potencial de formación de O₃, en g de O₃ que puede formarse por cada g de COV. La Figura 2 muestra como ejemplo los valores de MIR para los COVs con mayor capacidad de formación potencial de O₃ (rango 1-50 y 500-550). Estos valores MIR fueron actualizados para 1300 COVs por Venecek et al. (2018). Los valores más elevados alcanzan sobre 14 g O₃ g⁻¹ COV, mientras que en el rango más bajo hay COVs con valores próximos a 0, o incluso negativos. Para calcular la capacidad de formación de O₃ hay que tener en cuenta pues, tanto el MIR como la concentración de cada COV.

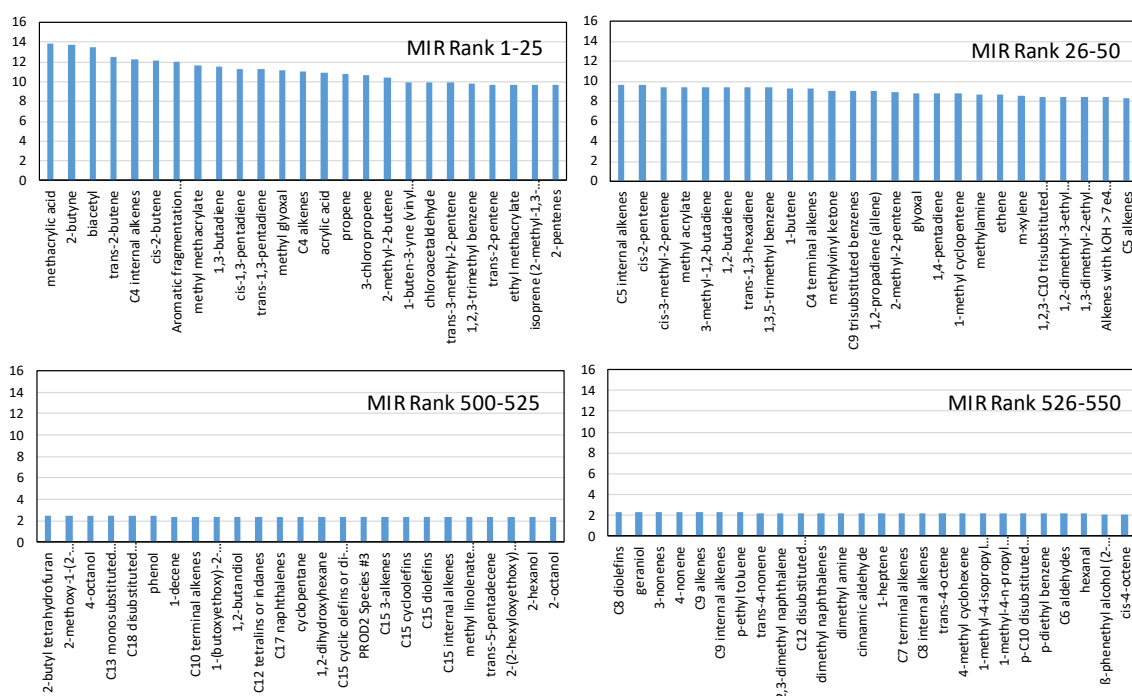


Figura 2. Ejemplos de valores altos (rango 1 a 50) y medios (500-550) de MIR (g O₃ g⁻¹ COV). Datos obtenidos de Venecek et al. (2018).

Es importante resaltar que la concentración de O₃ troposférico en un momento y lugar determinado es resultado no sólo de formación fotoquímica a partir de COVs biogénicos y antropogénicos de una zona concreta, sino, en gran medida, del transporte de O₃ desde zonas vecinas, del aporte regional y hemisférico, y de las inyecciones estratosféricas (Monks et al., 2015). Ello hace que la atribución de fuentes al origen de los episodios de O₃ sea una tarea extremadamente complicada y que solamente se pueda obtener mediante modelos complejos de calidad del aire.

Como se ha comentado anteriormente, durante la oxidación de los COVs se generan radicales oxidantes orgánicos que con el NO generan NO₂ que a su vez genera O₃, pero además se generan aerosoles orgánicos secundarios (SOA), un componente mayoritario de PM_{2.5}. Derwent et al. (2010) evaluaron la capacidad de formación de SOA (SOAP) de 113 COVs. Este SOAP refleja la

capacidad de formación de SOA respecto al tolueno, dándole una capacidad de 100 al mismo. De manera que un SOAP de 200 indica una capacidad de generación de SOA alta, equivalente a la de dos veces la del tolueno, mientras que un SOAP de 1 indica una capacidad equivalente al 1% de la del tolueno. En la Tabla 1 se muestran los 52 COVs, de los 108 evaluados por Derwent et al. (2010), con un SOAP >0.5, y a su derecha se han incluido los MIR (g O₃ g⁻¹ COV) respectivos según Venecek et al. (2018) para comparar los potenciales de formación de SOA y O₃ de estos 52 COVs. Además, se han sombreado aquellos que se analizan en el presente estudio. Esta tabla muestra que los COVs con mayor SOAP son aromáticos etilbenceno, estireno, propilbenceno, m-, p-etiltolueno, tolueno, o-, m-, p-xieno, benceno, y diferentes isómeros de trimetilbenceno, presentan un SOAP de entre 212 y 21. Destaca por sus valores máximos de SOAP (216) un aldehído derivado de aromáticos, el benzoaldehído. Siguen a los aromáticos, alcanos, como dodecano y undecano (35 y 16), aromáticos biogénicos, como los monoterpenos β- y α-pineno (18 y 17). Sin embargo, benzaldehído, estireno, benceno, dodecano y undecano presentan unos valores de MIR muy bajos, y por tanto son generadores de SOA pero no de O₃. El resto de los listados en este párrafo presentan SOAP >10 y MIR entre 3.5 y 9.4 μg O₃ g⁻¹ COV, y todos ellos se han analizado en el presente estudio. El isopreno, con alto MIR (9.7 μg O₃ g⁻¹ COV) solamente tiene un 2% de la capacidad de formación de SOA del tolueno.

Tabla 1. Los 52 COVs con mayor capacidad de formación de aerosoles orgánicos secundarios (SOAP) de los 113 evaluados por Derwent et al. (2010). SOAP refleja la capacidad de formación de SOA respecto al tolueno, dándole una capacidad de 100 al mismo. Además, se añaden para cada uno de los COVs los MIR (g O₃ g⁻¹ COV) respectivos, según Venecek et al. (2018) para comparar los potenciales de formación de SOA y O₃ de cada uno de ellos. Además, se han sombreado aquellos que se analizan en el presente estudio. En negrita se marcan los valores de SOAP>10 y MIR>3. Los COVs con valores en negrita en las dos columnas tienen alta capacidad de formar SOA y O₃.

Compuesto	SOAP	MIR	Compuesto	SOAP	MIR
Benzaldehído	216	-0.3	trans Pent-2-ene	3.1	9.7
Styrene	212	1.7	Nonane	1.9	1.0
Ethylbenzene	112	6.1	2-Methylbut-2-ene	1.9	10
Propylbenzene	110	5.6	Isoprene	1.9	9.7
m-Ethyltoluene	101	6.7	1,3-Butadiene	1.8	12
Toluene	100	4.0	Propylene	1.6	2.0
i-Propylbenzene	96	5.6	Ethylene	1.3	2.0
o-Xylene	96	7.2	cis Hex-2-ene	1.3	7.8
o-Ethyltoluene	95	5.3	trans Hex-2-ene	1.3	8.0
Benzene	93	0.8	But-1-ene	1.2	9.3
m-Xylene	85	8.5	2-Methylbut-1-ene	0.9	5.7
p-Ethyltoluene	70	4.3	Propylene glycol	0.9	2.5
p-Xylene	67	5.5	Octane	0.8	1.2
1,2,3-Trimethylbenzene	44	9.9	Ethylene glycol	0.8	3.4
Dodecane	35	0.8	Formaldehyde	0.7	7.2
1,2,4-Trimethylbenzene	21	7.9	Ethanol	0.6	1.8
β-Pinene	18	3.5	3-Pentanol	0.6	1.8
α-Pinene	17	4.0	sec-Butanol	0.6	1.5
Undecane	16	0.9	Butylene	0.6	9.3
1,3,5-Trimethylbenzene	14	9.4	3-Methylbut-1-ene	0.6	6.8
3,5-Dimethylethylbenzene	12	6.4	Acetaldehyde	0.6	6.1
3,5-Diethyltoluene	7.5	7.1	Methylethylketone	0.6	1.5
Decane	7.0	0.9	Methylpropylketone	0.6	2.0
trans But-2-ene	4.0	13	Methyl-i-butylketone	0.6	3.5
cis But-2-ene	3.6	13	Diacetone alcohol	0.6	0.1
cis Pent-2-ene	3.1	9.6	Propionaldehyde	0.5	6.8

I.2. RÉGIMENES DE FORMACIÓN DE OZONO

Como se ha expuesto en apartados anteriores el O₃ se genera a partir de los precursores COVs y NOx pero con relaciones de estos que no son lineales respecto a la producción de O₃. Además, la relación COVs/NOx puede variar drásticamente temporalmente y espacialmente en una misma zona. Así, a lo largo del día en un fondo urbano esta relación decrece drásticamente en horas punta del tráfico y aumenta anterior y posteriormente. Cuando nos alejamos de la ciudad la relación aumenta marcadamente. Así, se distinguen clásicamente dos regímenes de formación de O₃, al cual se añade otro propuesto recientemente. Estos se resumen en:

- **Formación de O₃ limitada por COVs**, en ambientes donde la concentración de NOx es tan elevada que el que se produzca O₃ depende de la concentración de COVs (Monks et al., 2015). En estos ambientes una disminución de NOx puede llegar a no tener efecto sobre los niveles de O₃, o incluso puede llegar a incrementarlo. Este tipo de ambiente de régimen se suele registrar en zonas urbanas e industriales (con altas emisiones de NOx).
- **Formación de O₃ limitada por NOx**, en ambientes donde la concentración de NOx son muy bajas. En este régimen la formación de O₃ depende de la concentración de COVs (Monks et al., 2015). En estos ambientes una disminución de COVs puede llegar a no tener efecto sobre los niveles de O₃, o incluso puede llegar a incrementarlo. Este tipo de ambiente de régimen se suele registrar fuera de zonas urbanas e industriales (con niveles de NOx de fondo).
- **Formación de O₃ limitada por PM**. Recientemente Li et al. (2019) e Ivatt et al. (2022) han propuesto que, en ambientes con altas concentraciones de partículas, estas actúan como eliminadoras de radicales HO₂ que de otro modo reaccionarían con el NO para producir O₃ en condiciones limitadas por COVs. Por tanto, una reducción marcada de niveles de PM en ambientes urbanos puede traducirse también en un incremento en O₃ debido a la mayor disponibilidad de HO₂.

II. OBJETIVOS

Para el estudio de la dinámica de formación del O₃ troposférico en el territorio español en el marco de las transferencias directas recibida por el CSIC en 2021-2023 se prevé realizar las actuaciones listadas debajo, con informes preliminares a finales en 2022 y 2024. Estas actuaciones cubren parte de las previstas en los planeados para un periodo de 4 años (mediados 2021 a mediados 2025). A continuación, se resumen las actuaciones previstas para el programa de 4 años.

Por parte del CSIC, CEAM, Universidad del País Vasco, Universidad de Huelva y Universidad de Zaragoza:

- Estudio de tendencias de concentraciones de O₃ y contaminantes relacionados, y datos meteorológicos disponibles en la base de datos de MITERD/AEMET en el período 2010-2023.
- Análisis en detalle de variabilidad espacial y temporal de las concentraciones de O₃ durante el período de confinamiento por la COVID-19.
- Integración de los resultados obtenidos relativos a las concentraciones de O₃ en los estudios llevados a cabo hasta el momento por equipo de investigación en las cuencas atmosféricas de: Vic, Madrid, Valle del Guadalquivir, Castilla-León, País Vasco, Puertollano, Comunidad Valenciana y Andalucía Occidental.
- **Integración de los resultados obtenidos relativos a las concentraciones de compuestos orgánicos volátiles (COVs) en los estudios llevados a cabo hasta el momento por equipo de investigación en las cuencas atmosféricas de: Vic, Madrid, Valle del Guadalquivir, Castilla-León, Aragón, La Rioja, País Vasco, Navarra, Barcelona, Castellón, Valencia, Tarragona, Huelva, y estaciones de tráfico de Barcelona, Bilbao, Castellón, Madrid, Valencia y Zaragoza, en 2019-2024.**

Por parte del BSC e ITC:

- Modelización de episodios de O₃. Configuración del sistema de modelización, estudio de sensibilidad a resolución numérica, condiciones meteorológicas, emisiones antropogénicas. Evaluación de los resultados del modelo con observaciones en las cuencas atmosféricas de interés (Vic, Madrid, Valle del Guadalquivir, Castilla-León).
- Análisis de contribución de fuentes a los niveles de O₃. Cálculo de la contribución de O₃ procedente de países europeos y Norte de África a las cuencas de interés y su importancia relativa a los niveles nacionales. Contribución del tráfico marítimo al O₃ nacional.
- Cuantificación del impacto del confinamiento por la COVID-19 en las emisiones antropogénicas y niveles de O₃ a nivel nacional mediante técnicas de modelización. Estimación de los cambios de emisiones a lo largo de 2020 mediante técnicas de inteligencia artificial.

En base a lo expuesto en el apartado anterior y en la actuación marcada en negrita unos párrafos más arriba, este informe tiene como objetivo la obtención de datos sobre niveles de COVs en diferentes cuencas españolas con problemas de calidad del aire en lo referente a O₃ troposférico. Así pues, este informe da respuesta a resultados parciales sobre mediciones de concentraciones de COVs en aire ambiente, en este caso en emplazamientos próximos a focos de emisión.

Para complementar el estudio de la fenomenología de los episodios de contaminación por O₃ en España se realizaron campañas de mediciones en superficie de O₃, NO₂ y COVs con dosímetros pasivos durante los meses de julio de 2019, 2020, 2021, 2022 y 2023 con los objetivos de:

- Determinar la distribución espacial y cuantificar los niveles promedio de O₃ y algunos de sus precursores (NO₂ y COVs) en diferentes cuencas aéreas; y
- Obtener una especiación detallada de una serie de COVs (oxigenados, OCOVs; e hidrogenados, HCOVs) y compararla entre las cuencas estudiadas.
- Medir concentraciones de COVs en las proximidades de focos de emisión relevantes, como clústers petroquímicos y químicos, tráfico rodado, gasolineras, talleres de pintura de automóviles, puertos y papeleras.

Con este fin se han realizado campañas de mediciones en el Valle del Guadalquivir (2019 y 2021), Barcelona y Plana de Vic (2019 y 2022), Castellón costa a interior (2020 y 2021), Portugal-Castilla y León (2020) y Madrid (2021), Aragón, La Rioja, País Vasco, Navarra y Tarragona (2022), así como en las proximidades de focos de emisión relevantes, tales como clústeres petroquímicos y químicos, gasolineras, talleres de pintura de automóviles, puertos y papeleras, en Castellón, Valencia, Huelva y Tarragona (2023), y y estaciones de tráfico de Barcelona, Bilbao, Castellón, Madrid, Valencia y Zaragoza (2024). El presente informe resume los resultados de la campaña de julio de 2024.

III. METODOLOGÍA

La campaña de muestreo y análisis de niveles de COVs se realizó entre el 10 y el 22 de julio de 2024. Los detalles de cada emplazamiento de medición se presentan en la Figuras 3 a 4 y Tabla 2, resaltando que los niveles de COVs son muy elevados por haberse realizado las mediciones en las proximidades de los focos de emisión, o incluso en el mismo foco, el tráfico rodado o un puerto en esta campaña, excepto una estación de fondo urbano.

Los resultados de la campaña de 2023 en las inmediaciones de focos diversos de emisión de COVs (gasolineras, petroquímicas, papelera, talleres de pintura, etc.) y la comparación con los resultados de 2021 en una estación de tráfico rodado en Madrid, permitieron concluir que los niveles de COVs más elevados se registraron en ésta última. Para confirmar los altos niveles de tráfico se decidió en 2024 hacer una campaña para determinar concentraciones de COVs en varios emplazamientos de tráfico de varias ciudades y repetir las mismas en la estación de la campaña de 2021 en Madrid.

Las concentraciones medias HCOVs y OCOVs durante aproximadamente 15 días fueron medidas utilizando cartuchos adsorbentes instalados en cuerpos difusivos (*Radiello* RAD165 + RAD1201 y RAD145 + RAD1202, respectivamente) (Figura 5). Los muestreos se realizaron en emplazamientos de **tráfico** de las siguientes ciudades (a mediados de julio, Tabla 2):

- **Barcelona (además de tráfico, fondo urbano y puerto).**
- **Bilbao.**
- **Castellón.**
- **Madrid.**
- **Valencia.**
- **Zaragoza.**

Los emplazamientos de tráfico cubrieron calles encañonadas con baja dispersión, y avenidas, rondas o calles más abiertas. Por ello los códigos de los muestreos llevan los acrónimos (TR_C y TR_A, respectivamente, además del de la ciudad, B, BI, CS, M, V y Z. Para el fondo urbano se identifican con UB y para el puerto con P.

Se muestro por duplicado, tanto HVOCs como OVOCs, en todos los emplazamientos.

Los dosímetros se instalaron y retiraron por diferentes equipos de trabajo operando simultáneamente en las diferentes ciudades.

Una vez recogidos se enviaron al Centro de Estudios del Mediterráneo (CEAM) y tras realizar la desorción, los niveles de COVs se analizaron mediante Cromatografía de Gases-Espectrometría de Masas (GC-MS) y Cromatografía líquida-espectrometría de masas (LCMS).

Mediante el uso de dosímetros de COVs y análisis por GC-MS, se midieron las concentraciones de 116 COVs. Con el objetivo de que todas las campañas fueran comparables entre ellas, se consideraron los COVs que presentan concentraciones superiores al límite de detección en al menos uno de todos los emplazamientos muestreados. Se seleccionaron 108 compuestos, de los cuales 49 son HCOVs y 59 OCOVs.



Figura 3. Localización de las mediciones de COVs en Julio de 2024 en Bilbao, Barcelona y Zaragoza.



Figura 4. Localización de las mediciones de COVs en julio de 2024 en Castellón, Valencia y Madrid.



Figura 5. Dosímetros Gradko (para O₃ y NO₂) y Radiello (para COVs) instalados en un emplazamiento de medida.

Las limitaciones más significativas del método empleado en este estudio para medida de niveles de COVs relevantes en la formación de O₃ son:

- No se puede determinar el isopreno correctamente ya que es un compuesto demasiado volátil para ser adsorbido por los dosímetros. La emisión de dicho compuesto en gran variedad de especies vegetales es muy característica.
- Del mismo modo no se pueden determinar COVs <C₅, también con alta capacidad de formación de O₃.

Las limitaciones propias de la metodología de muestreo son:

- El carácter pasivo de las muestras permite realizar una zonificación de los contaminantes, pero no tiene la resolución temporal necesaria para determinar procesos concretos y puntuales de contaminación ya que el tiempo de exposición es de 5 a 15 días; y
- El muestreo pasivo por difusión se puede ver afectado por elevadas velocidades del viento y por elevadas humedades continuadas en el tiempo.

Por último, en cuanto a la **metodología analítica**, existen dos limitaciones importantes:

- Se determinan gran cantidad de COVs, pero no todos ellos se calibran con su standard, sino con un isómero o semejante, bien por falta del standard o por falta de existencia en botellas de calibración; y
- Los factores de difusión Q (que tienen en cuenta tanto la difusión, como otros parámetros) no están determinados para todas las especies ni para todos los rangos de tiempos de exposición (5 o 15 días). En caso de no estar determinado experimentalmente, se ha utilizado el factor Q del compuesto estructuralmente más similar de los que sí tenían valor de Q experimental. En el caso de las cetonas, para las cuales no hay ningún valor de Q de referencia, se ha optado por realizar un promedio entre los aldehídos semejantes (por ejemplo, para la 2-pentanona se ha promediado entre el valor del isopentanal y el del pentanal)

Tabla 2. Detalles de los puntos de medición de COVs en la campaña 2024.

Ciudad	Nodo	Código	Hora puesta	Hora recogida	Coordenadas		Ubicación	Observaciones
Castellón	CS_01	CS-TR_A	10/07/2024 9:30	22/07/2024 9:45	39°59'25"N	00°01'22"E	Ronda Circunvalación, 12100 Castellón	Tráfico abierto
Castellón	CS_02	CS-TR_C	10/07/2024 9:45	22/07/2024 9:30	39°59'00"N	00°02'15"E	Carrer Asensi, 12002 Castellón	Tráfico encañonado
Valencia	VLC_01	V_TR_A	11/07/2024 10:00	23/07/2024 9:28	39°28'42"N	00°23'28"W	Puente de Ademuz 45	Tráfico abierto
Valencia	VLC_02	V_TR_C	11/07/2024 10:05	23/07/2024 9:30	39°28'34"N	00°23'22"W	Gran Vía Fernando el Católico 77	Tráfico encañonado
Bilbao	BI_01	BI_TR_C	11/07/2024 9:26	22/07/2024 9:30	43°15'32"N	02°56'44"W	María Díaz de Haro, 58-60, 48010, Bilbao	Tráfico encañonado
Bilbao	BI_02	BI_TR_C	11/07/2024 9:54	22/07/2024 9:50	43°15'27"N	02°56'12"W	Autonomía 14, 48012, Bilbao	Tráfico encañonado
Zaragoza	ZA_01	Z_TR_A	10/07/2024 10:09	22/07/2024 9:45	41°39'21"N	00°53'58"W	Estación CA tráfico Avda. Soria	Tráfico abierto
Zaragoza	ZA_02	Z_TR_C	10/07/2024 10:40	22/07/2024 10:05	41°38'59"N	00°53'06"W	Estación CA tráfico Centro	Tráfico encañonado
Madrid	MA_01	M_TR_A	11/07/2024 19:40	22/07/2024 19:40	40°25'18"N	03°40'57"W	Calle de Alcalá	Tráfico abierto
Barcelona	BA_01	B_UB	10/07/2024 10:20	22/07/2024 9:25	41°23'15"N	02°06'55"E	Estación Fondo Urbano Palau Reial	Fondo urbano
Barcelona	BA_02	B_TR_C1	10/07/2024 21:45	21/07/2024 21:00	41°22'49"N	02°08'59"E	C/ Entença 101 Tráfico Mar-Montaña	Tráfico encañonado
Barcelona	BA_03	B_P	10/07/2024 12:30	22/07/2024 9:55	41°22'21"N	02°10'39"E	Puerto Barcelona	Puerto
Barcelona	BA_04	B_TR_C2	10/07/2024 17:45	21/07/2024 19:50	41°24'43"N	02°11'09"E	C/ Valencia 601B Tráfico SW-NE	Tráfico encañonado

IV. RESULTADOS

IV.1. NIVELES DE COVs

Los niveles de COVs medidos en esta campaña se han obtenido muy cerca de los focos, tráfico y puerto, y solo en un caso en fondo urbano. Las proporciones relativas de los diferentes compuestos y grupos de COVs ayudan a identificar aquellos componentes que presentan una concentración superior en las posibles emisiones.

La Tabla 3 y Figura 6 muestran las concentraciones de cada COV analizado en cada emplazamiento indicado en la Tabla 2. En ellas se puede observar que las concentraciones de COVs totales más elevadas se obtuvieron en estaciones de tráfico encañonado de Barcelona, calles Valencia (170 $\mu\text{g m}^{-3}$, perpendicular a la brisa) y Entença (122 $\mu\text{g m}^{-3}$, paralelo a la brisa), seguidos por las estaciones de tráfico abierto y encañonado de Bilbao, Madrid, Valencia (encañonado solo) y Zaragoza (85 a 102 $\mu\text{g m}^{-3}$, con valores ligeramente más altos en los encañonados que en los abiertos, excepto en Zaragoza), las dos estaciones tráfico de Castellón y la de tráfico abierto de Valencia, y el puerto de Barcelona (58 a 75 $\mu\text{g m}^{-3}$) y el fondo urbano de Barcelona (51 $\mu\text{g m}^{-3}$). La concentración de COVs de Madrid en 2024 (94 $\mu\text{g m}^{-3}$) son algo inferiores, pero del mismo orden, que las obtenidas en julio de 2021 (120 $\mu\text{g m}^{-3}$).

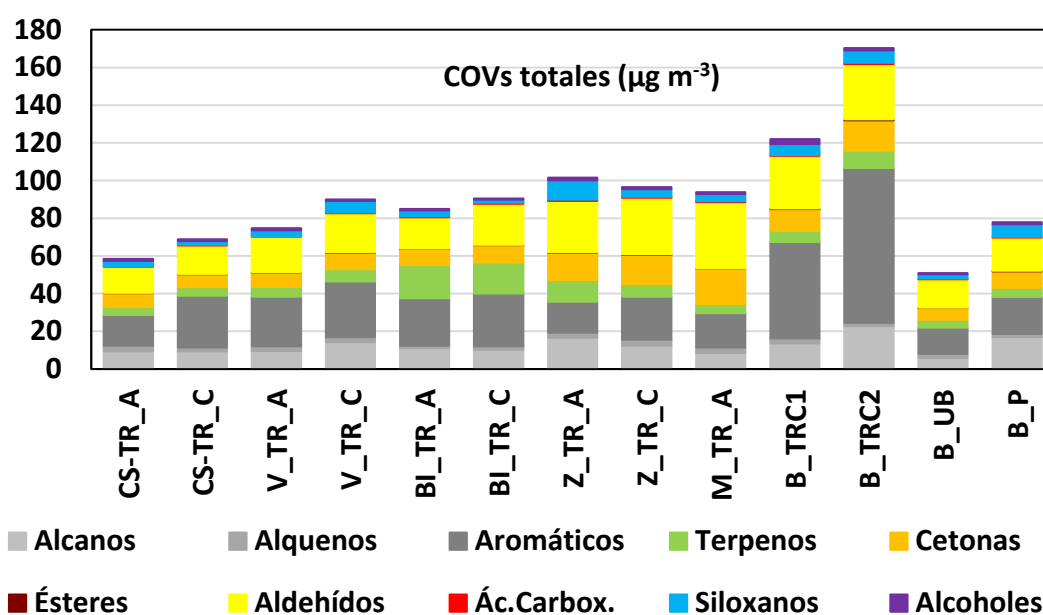


Figura 6. Concentraciones de COVs totales y distribuidos por grupos obtenidas durante la campaña de julio de 2024.

En cuanto al predominio de tipo de COVs (Figura 7), dominan los aromáticos en Barcelona, Bilbao, Valencia y Castellón (30-46% de los COVs), seguidos de aldehídos (20-24%), y los aldehídos en Madrid y Zaragoza (29-37%), seguidos de aromáticos (20%). Las contribuciones de cetonas son ligeramente mayores en Madrid y Zaragoza (15-20%) respecto al resto (9-11%), y las de los biogénicos son superiores en Bilbao (19%) y Zaragoza (9%), y similarmente inferiores en el resto (5-7%). Los siloxanos contribuyen alrededor de 3-4% excepto en Zaragoza y Valencia (6-7%, por la mayor contribución en las estaciones de tráfico abierto, 10%, probablemente

debida a contribuciones industriales). Finalmente, las de los alcanos, alquenos y alcoholes alcanzan, 9-15, 2-4, y 1-2% respectivamente.

Cabe resaltar que una elevada proporción de los compuestos oxigenados (aldehídos, cetonas y ácidos carboxílicos) es de origen secundario (generado en la atmósfera) y por tanto no se emiten por una fuente. Así pues, una alta concentración de OCOVs secundarios a nivel regional puede diluir los HCOVs primarios (como los aromáticos en Madrid y Zaragoza), pero también altas concentraciones de O₃ y radicales OH puede generar OCOVs por oxidación de los HCOVs, y por ello estos últimos estar en bajas concentraciones.

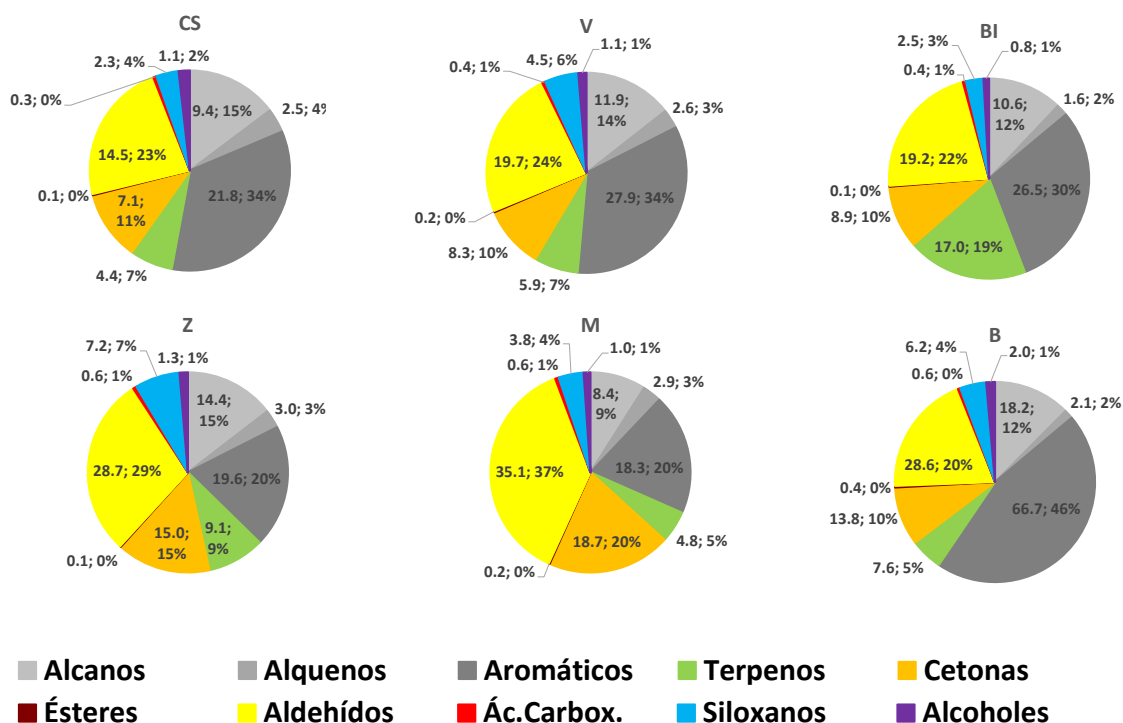


Figura 7. Contribuciones relativas de los grupos de COVs a las concentraciones totales obtenidas durante la campaña de julio de 2024.

Tabla 3. Concentraciones medias de COVs ($\mu\text{g m}^{-3}$) y MIR ($\mu\text{g O}_3 \text{ g}^{-1} \text{ COV}$, Venecek et al., 2018) para diferentes puntos de muestreo de la campaña de 2023. ND, no detectado; BLQD, bajo límite cuantitativo de detección.

Compuesto	MIR	CS-TR_A	CS-TR_C	V_TR_A	V_TR_C	BI_TR_A	BI_TR_C	Z_TR_A	Z_TR_C	M_TR_A	B_TR_C1	B_TR_C2	B_UB	B_P
Ácido propanoico	1.35	0.08	0.08	0.04	0.04	0.19	0.14	0.04	0.04	0.06	0.05	0.03	0.07	0.05
2,2-Dimetilbutano	1.30	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.01	0.01	0.01	<0.01	0.01	0.01	0.01	<0.01	0.01
2-Metilpentano	1.77	0.15	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.08	0.03
Decano	0.93	1.20	1.11	1.93	2.79	2.31	1.86	2.59	2.09	1.95	1.92	7.33	0.68	3.84
Dodecano	0.79	3.13	2.85	3.08	6.00	3.84	3.64	7.39	3.54	2.01	2.20	4.31	1.93	5.72
Heptano	1.37	0.43	0.83	0.87	0.80	0.98	1.33	0.41	0.90	0.68	3.14	1.69	0.68	1.04
Hexano	1.55	0.35	0.34	0.21	0.25	0.32	0.35	0.18	0.25	0.26	1.47	0.28	0.27	0.59
Metilciclohexano	1.86	0.09	0.05	0.02	0.02	0.03	0.04	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.04	0.02
Nonano	1.03	0.53	0.48	0.63	0.71	0.56	0.53	0.65	0.65	0.60	0.92	3.97	0.29	0.85
Octano	1.15	0.25	0.35	0.37	0.40	0.32	0.45	0.21	0.34	0.26	1.20	1.28	0.21	0.46
Tetradecano	0.75	2.85	2.66	1.65	2.51	1.71	1.47	3.67	3.93	2.11	2.14	1.54	1.36	3.27
Undecano	0.85	0.39	0.71	0.74	0.71	0.93	0.44	1.32	0.61	0.52	0.55	2.35	0.24	0.99
Benzilalcohol	4.71	0.59	0.12	0.60	0.36	0.24	0.41	0.40	0.47	0.43	2.26	0.61	0.23	0.65
Fenol	2.41	0.57	0.87	0.41	0.39	0.42	0.27	0.91	0.42	0.36	0.33	0.56	0.26	0.31
Hexilalcohol	2.87	0.02	0.12	0.19	0.21	0.09	0.13	0.18	0.27	0.23	0.16	0.18	0.14	0.13
Acetaldehído	6.07	2.31	2.23	2.94	3.32	3.01	3.61	3.93	3.99	4.54	3.97	4.13	2.76	3.29
Acroleína	6.98	0.17	0.25	0.27	0.27	0.26	0.52	0.42	0.48	0.64	0.39	0.53	0.17	0.21
Butanal	5.73	0.68	0.68	0.99	0.92	0.62	0.87	1.40	1.65	1.36	0.99	1.14	1.21	1.13
Crotonaldehído	8.18	0.15	0.18	0.26	0.22	0.23	0.39	0.57	0.57	0.08	0.05	0.06	0.03	0.03
Formaldehído	7.16	2.11	1.73	2.31	2.32	2.26	2.53	2.43	2.52	2.68	2.55	2.59	1.58	2.08
Glicolaldehído	4.68	0.69	0.92	1.38	1.08	0.63	0.88	2.20	2.07	2.63	2.79	2.37	0.94	1.18
Glutaraldehído	4.13	0.06	0.07	0.10	0.08	0.07	0.10	0.25	0.22	0.33	0.21	0.27	0.07	0.12
Heptanal	3.55	BLQD	0.02	0.02	0.03	0.08	0.05	0.05	0.07	0.04	0.03	0.04	BLQD	BLQD
Hexanal	4.17	0.59	0.84	0.95	1.48	0.75	1.17	1.09	1.41	1.30	1.63	2.16	0.63	0.72
Isobutanal	4.50	0.70	1.35	1.05	1.15	0.98	1.14	2.11	2.09	2.99	1.40	2.04	0.99	0.98
Isovaleraldehído	4.69	0.69	0.61	0.68	0.92	0.65	0.96	1.29	1.57	1.34	1.04	1.35	0.62	0.68
Metacroleína	5.43	0.20	0.06	0.32	0.38	0.61	0.79	1.87	1.83	5.08	0.43	0.58	0.08	0.14
Nonanal	3.00	0.97	1.47	1.50	2.65	1.80	2.52	1.21	1.86	1.71	3.68	2.92	1.29	1.39
Octanal	3.06	0.33	0.36	0.51	0.64	0.38	0.56	0.56	0.74	0.54	0.64	0.69	0.37	0.34
Pentanal	4.88	0.03	BLQD	0.05	0.05	0.03	0.04	0.06	0.08	0.08	0.05	0.05	0.05	0.05
Pinonaldehído	4.00	0.33	0.21	0.26	0.25	0.22	0.26	0.21	0.21	0.25	0.30	0.31	0.19	0.25
Pivalaldehído	4.60	0.32	0.31	0.46	0.51	0.38	0.54	1.03	1.08	1.50	0.57	1.06	0.42	0.36
Propanal	6.78	1.66	1.83	2.23	2.04	1.50	2.19	3.62	4.00	4.25	3.10	3.65	2.07	2.48
Glioxal	8.84	0.04	0.07	0.07	0.08	0.05	0.05	0.56	0.53	0.74	0.18	0.17	0.10	0.12
Hepteno	4.22	1.24	0.66	0.64	0.66	0.50	0.56	1.17	0.94	1.10	0.99	0.48	0.91	0.46
Octeno	3.46	1.73	1.32	1.86	1.94	0.86	1.16	1.53	2.25	1.79	1.62	1.18	1.28	1.20
1,2,4-Trimetilbenceno	7.88	2.97	5.37	5.82	8.85	3.09	1.63	0.98	1.28	1.13	3.36	8.70	0.65	1.25
1,3,5-Trimetilbenceno	9.35	0.90	1.90	1.71	1.92	1.76	2.33	1.21	1.74	1.35	4.03	10.34	0.78	1.40
4-Etiltolueno	4.28	1.90	3.60	3.48	3.84	2.67	4.40	2.12	3.33	2.49	6.76	17.63	1.35	2.71
Benceno	0.79	0.65	0.51	0.39	0.41	0.51	0.46	0.46	0.39	0.32	0.58	0.37	0.29	0.34
Dimetilestireno	1.00	0.55	0.38	0.34	0.28	0.98	0.80	0.85	0.40	0.22	0.38	0.52	0.23	0.31
Etilbenceno	6.12	1.28	2.97	2.74	2.49	2.24	3.20	1.50	2.93	2.36	6.92	9.27	1.50	2.35
Indano	3.25	0.41	0.61	0.69	0.70	0.85	1.01	0.52	0.73	0.57	1.57	3.46	0.38	0.47
m,p-Xileno	6.99	0.77	1.59	1.11	0.99	1.37	1.79	0.86	1.50	1.06	3.79	5.23	1.22	1.58

Campaña de COVs Plan Nacional de O₃ 2024

o-Xileno	7.17	0.90	2.29	2.00	1.80	1.55	2.37	1.01	2.18	1.74	6.13	8.50	1.13	1.86
m-Propiltolueno	4.00	0.42	0.45	0.85	0.85	1.22	1.03	0.83	0.75	0.65	1.00	2.38	0.30	0.98
o-Propiltolueno	4.18	0.22	0.23	0.46	0.42	0.69	0.53	0.44	0.41	0.32	0.50	1.30	0.16	0.57
o-Tolualdehído	-0.29	0.04	0.09	0.19	0.17	0.11	0.20	0.12	0.19	0.20	0.38	0.46	0.07	0.09
Propilbenceno	2.15	1.70	1.68	1.68	1.92	2.62	2.42	1.87	2.18	1.34	7.97	2.52	1.50	1.74
Tolueno	4.02	1.95	3.37	2.69	2.78	3.17	3.51	1.68	2.64	2.77	2.56	2.54	3.31	2.35
Trimetilbenceno is.1	9.00	0.90	1.45	1.56	1.51	1.36	1.62	1.19	1.42	1.19	4.22	7.68	0.63	1.10
Trimetilbenceno is.2	9.00	0.15	0.15	0.14	0.17	0.19	0.19	0.14	0.12	0.12	0.19	0.44	0.08	0.17
Metilglioxal	11.20	BLQD	0.02	BLQD	BLQD	BLQD	BLQD	0.15	0.14	0.26	0.03	0.04	0.02	0.03
2-Butanona	1.53	0.13	0.31	0.21	0.25	0.23	0.25	0.46	0.45	0.83	0.37	0.53	0.21	0.23
2-Pentanona	3.06	BLQD	BLQD	BLQD	BLQD	BLQD	0.02	0.05	0.06	0.06	0.03	0.08	BLQD	BLQD
4-Metil-2-pentanona	3.81	BLQD	BLQD	BLQD	0.04	0.06	0.07	0.08	0.15	0.15	0.05	0.07	0.03	0.07
Acetona	0.34	2.71	2.34	2.97	3.08	3.08	3.42	3.85	3.76	6.04	4.59	4.61	3.20	3.75
Hexanona	3.47	BLQD	BLQD	BLQD	BLQD	BLQD	BLQD	0.06	0.04	0.04	BLQD	BLQD	0.02	BLQD
Hidroxiacetona	3.08	0.77	0.59	1.21	1.32	0.95	1.29	3.64	4.07	4.49	2.36	2.37	0.68	1.37
Sabinaketona	4.05	0.13	0.16	0.28	0.36	0.30	0.28	0.83	0.28	0.29	0.40	1.78	0.13	0.44
2,3-Butanediona	13.50	0.10	0.13	0.18	0.16	0.17	0.28	0.41	0.41	0.63	0.24	0.31	0.14	0.12
Ciclohexanona	1.66	0.37	0.24	0.60	0.54	0.39	0.55	2.31	2.49	3.11	0.81	0.90	0.17	0.48
Heptanona	2.74	BLQD	BLQD	BLQD	BLQD	0.03	0.02	0.09	0.13	0.10	0.04	0.04	BLQD	BLQD
Nonanona	1.33	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Octanona	3.06	BLQD	BLQD	BLQD	BLQD	BLQD	0.02	BLQD	BLQD	BLQD	BLQD	BLQD	BLQD	BLQD
Butilacetato	1.00	0.13	0.11	0.17	0.16	0.11	0.13	0.13	0.14	0.13	0.28	0.45	0.08	0.24
n-Propilacetato	0.95	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01
Octametilciclotetrasilox.	-0.05	1.51	1.10	1.56	4.01	2.33	1.07	7.58	2.56	2.05	3.35	4.21	0.99	4.71
a-pineno	4.02	0.96	0.51	1.76	1.39	5.18	6.41	1.99	1.28	1.18	1.27	1.97	1.40	1.33
Camfeno	4.02	0.57	0.57	0.70	0.84	1.50	2.00	1.61	0.85	0.81	0.91	1.16	0.73	0.51
Limoneno	4.06	0.15	0.11	0.06	0.09	0.45	0.39	0.40	0.24	0.08	0.21	0.21	0.07	0.11
m-Cimeno	6.30	2.20	3.02	1.92	3.48	6.28	4.82	6.68	3.76	2.17	2.68	3.97	1.76	2.15
o-Cimeno	5.14	0.22	0.25	0.59	0.51	0.82	0.66	0.54	0.51	0.39	0.64	1.57	0.17	0.57
β-Pineno	3.47	0.14	0.11	0.20	0.20	3.37	2.15	0.26	0.16	0.21	0.22	0.36	0.13	0.19

La Tabla 4 muestra las medias de las concentraciones (ordenadas en orden decreciente) de las estaciones de tráfico de cada ciudad incluida en el estudio. A continuación, se indican las especies de COVs presentes en mayor concentración en los emplazamientos de tráfico de cada ciudad. La Tabla 5 muestra las concentraciones de los grupos de COVs basándose en las citadas medias, y la contribución relativa a los COVs totales de los diferentes grupos. Posteriormente se comparan los resultados de las mediciones de 2024 en emplazamientos de tráfico con los de las mediciones cercanas a focos de emisión (petroquímicas, gasolineras, talleres de pintura, puertos y una papelería) de COVs de la campaña de 2023, y con las mediciones de COVs realizadas en 2021 en la misma estación de tráfico de Madrid.

IV.1.1. Estaciones de tráfico de Barcelona

Las estaciones de tráfico de Barcelona registraron los niveles de COVs más elevados de los emplazamientos del presente informe. Son dos estaciones de tráfico encañonado. La Estación B-TR_C1 está en una calle paralela a la brisa marina y mejor ventilada, mientras que la B-TR_C2 lo está en una calle perpendicular a la brisa, y mucho peor ventilada. Es por ello que los niveles son más bajos en el primer caso.

Los compuestos que se encuentran en concentraciones de 17 a 0.9 $\mu\text{g m}^{-3}$:

- OCOVs (de 4.6 a 1.0 $\mu\text{g m}^{-3}$): Acetona > Octametilcyclotetrasiloxano > Acetaldehído > Propanal > Nonanal > Formaldehído > Glicolaldehído > Hidroxiacetona > Hexanal > Isobutanol > Sabinacetona > Isovaleraldehído.
- HCOVs (de 17 a 0.9 $\mu\text{g m}^{-3}$) en las dos estaciones: 4-Etiltolueno > 1,3,5-Trimetilbenceno > Etilbenceno > 1,2,4-Trimetilbenceno > o-Xileno > Trimetilbenceno is.1 > Decano > m,p-Xileno > Dodecano > Nonano > Indano > Tolueno > Propilbenceno > m-Propiltolueno

Las estaciones de fondo urbano y del puerto presentan unas concentraciones muy inferiores a las de tráfico.

IV.1.2. Estación de tráfico de Valencia

Los compuestos que se encuentran en concentraciones de 8.9 a 0.9 $\mu\text{g m}^{-3}$:

- OCOVs (de 4.0 a 0.9 $\mu\text{g m}^{-3}$): Octametilcyclotetrasiloxano > Acetaldehído > Acetona > Nonanal > Formaldehído > Propanal > Hexanal > Hidroxiacetona > Isobutanol > Glicolaldehído > Butanol > Isovaleraldehído.
- HCOVs (de 8.9 a 1.0 $\mu\text{g m}^{-3}$): 1,2,4-Trimetilbenceno > Dodecano > 4-Etiltolueno > Decano > Tolueno > Tetradecano > Etilbenceno > 1,3,5-Trimetilbenceno > Propilbenceno > o-Xileno > Trimetilbenceno is.1 > m,p-Xileno.

IV.1.3. Estación de tráfico de Madrid

Los compuestos que se encuentran en concentraciones de 6.0 a 1.0 $\mu\text{g m}^{-3}$:

- OCOVs (de 6.0 a 1.3 $\mu\text{g m}^{-3}$): Acetona > Metacroleína > Acetaldehído > Hidroxiacetona > Propanal > Ciclohexanona > Isobutanol > Formaldehído > Glicolaldehído >

Octametilciclotetrasiloxano > Nonanal > Pivalaldehído > Butanal > Isovaleraldehído > Hexanal.

- HCOVs (de 2.8 a 1.0 $\mu\text{g m}^{-3}$): Tolueno > 4-Etiltolueno > Etilbenceno > Tetradecano > Dodecano > Decano > o-Xileno > 1,3,5-Trimetilbenceno > Propilbenceno > Trimetilbenceno is.1 > 1,2,4-Trimetilbenceno > m,p-Xileno.

IV.1.4. Estación de tráfico de Castellón

Los compuestos que se encuentran en concentraciones de 5.4 a 0.9 $\mu\text{g m}^{-3}$:

- **

IV.1.5. Estaciones de tráfico de Bilbao

Los compuestos que se encuentran en concentraciones de 4.4 a 0.9 $\mu\text{g m}^{-3}$:

- OCOVs (de 3.6 a 1.0 $\mu\text{g m}^{-3}$): Acetaldehído > Acetona > Formaldehído > Nonanal > Propanal > Hidroxiacetona > Hexanal > Isobutanol > Octametilciclotetrasiloxano.
- HCOVs (de 4.4 a 0.9 $\mu\text{g m}^{-3}$): 4-Etiltolueno > Dodecano > Tolueno > Etilbenceno > Propilbenceno > o-Xileno > 1,3,5-Trimetilbenceno > Decano > m,p-Xileno > 1,2,4-Trimetilbenceno > Trimetilbenceno is.1 > Tetradecano > Heptano > Octeno > m-Propiltolueno > Indano.

IV.1.6. Estación de tráfico de Zaragoza

Los compuestos que se encuentran en concentraciones de 4.1 a 0.9 $\mu\text{g m}^{-3}$:

- OCOVs (de 4.1 a 1.1 $\mu\text{g m}^{-3}$): Hidroxiacetona > Propanal > Acetaldehído > Acetona > Octametilciclotetrasiloxano > Formaldehído > Ciclohexanona > Isobutanol > Glicolaldehído > Nonanal > Metacroleína > Butanal > Isovaleraldehído > Hexanal > Pivalaldehído.
- HCOVs (de 3.9 a 0.9 $\mu\text{g m}^{-3}$): Tetradecano > Dodecano > 4-Etiltolueno > Etilbenceno > Tolueno > Propilbenceno > o-Xileno > Decano > 1,3,5-Trimetilbenceno > m,p-Xileno > Trimetilbenceno is.1 > 1,2,4-Trimetilbenceno > Heptano.

Tabla 4. Concentraciones medias (en $\mu\text{g m}^{-3}$) de COVs para diferentes tipos de puntos de muestreo de la campaña de 2024.

	CS		V		Bi		Z		M		B
1,2,4-Trimetilbenc.	4.2	1,2,4-Trimetilbenc.	7.3	a-pineno	5.8	Dodecano	5.5	Acetona	6.0	4-Etiltolueno	12.2
Dodecano	3.0	Dodecano	4.5	m-Cimeno	5.6	m-Cimeno	5.2	Metacroleína	5.1	Etilbenceno	8.1
Tetradecano	2.8	4-Etiltolueno	3.7	Dodecano	3.7	Octametilciclotetrasilox.	5.1	Acetaldehído	4.5	o-Xileno	7.3
4-Etiltolueno	2.8	Acetaldehído	3.1	4-Etiltolueno	3.5	Acetaldehído	4.0	Hidroxiacetona	4.5	1,3,5-Trimetilbenc.	7.2
Tolueno	2.7	Acetona	3.0	Tolueno	3.3	Hidroxiacetona	3.9	Propanal	4.3	1,2,4-Trimetilbenc.	6.0
m-Cimeno	2.6	Octametilciclotetrasilox.	2.8	Acetaldehído	3.3	Propanal	3.8	Biacetil/2,3-Butanediona	3.1	Trimetilbenc. iso_1	6.0
Acetona	2.5	Tolueno	2.7	Acetona	3.2	Acetona	3.8	Isobutanol	3.0	Propilbenceno	5.2
Acetaldehído	2.3	m-Cimeno	2.7	Etilbenceno	2.7	Tetradecano	3.8	Tolueno	2.8	Decano	4.6
Etilbenceno	2.1	Etilbenceno	2.6	Propilbenceno	2.5	4-Etiltolueno	2.7	Formaldehído	2.7	Acetona	4.6
Formaldehído	1.9	Decano	2.4	Formaldehído	2.4	Formaldehído	2.5	Glicolaldehído	2.6	m,p-Xileno	4.5
Propanal	1.7	Formaldehído	2.3	1,2,4-Trimetilbenc.	2.4	Biacetil/2,3-Butanediona	2.4	4-Etiltolueno	2.5	Acetaldehído	4.1
Propilbenceno	1.7	Propanal	2.1	Nonanal	2.2	Decano	2.3	Etilbenceno	2.4	Octametilciclotetrasilox.	3.8
Ciclohexanona	1.6	Tetradecano	2.1	Ciclohexanona	2.1	Etilbenceno	2.2	m-Cimeno	2.2	Propanal	3.4
o-Xileno	1.6	Nonanal	2.1	Decano	2.1	Tolueno	2.2	Tetradecano	2.1	m-Cimeno	3.3
Octeno	1.5	o-Xileno	1.9	1,3,5-Trimetilbenc.	2.0	Glicolaldehído	2.1	Octametilciclotetrasilox.	2.1	Nonanal	3.3
1,3,5-Trimetilbenc.	1.4	Octeno	1.9	o-Xileno	2.0	Hexametilciclotrisilox.	2.1	Dodecano	2.0	Dodecano	3.3
Valerolactona	1.4	1,3,5-Trimetilbenc.	1.8	Propanal	1.8	Isobutanol	2.1	Decano	1.9	Glicolaldehído	2.6
Octametilciclotetrasilox.	1.3	Propilbenceno	1.8	Camfeno	1.8	Propilbenceno	2.0	Valerolactona	1.8	Formaldehído	2.6
Nonanal	1.2	Hexametilciclotrisilox.	1.7	Octametilciclotetrasilox.	1.7	Octeno	1.9	Octeno	1.8	Tolueno	2.6
m,p-Xileno	1.2	a-pineno	1.6	Tetradecano	1.6	Metacroleína	1.8	Hexametilciclotrisilox.	1.7	Indano	2.5
Trimetilbenc. iso_1	1.2	Trimetilbenc. iso_1	1.5	m,p-Xileno	1.6	a-pineno	1.6	o-Xileno	1.7	Nonano	2.4
Decano	1.2	Valerolactona	1.5	Trimetilbenc. iso_1	1.5	Valerolactona	1.6	Nonanal	1.7	Heptano	2.4
2,3-Pentanediona	1.1	Hidroxiacetona	1.3	Heptano	1.2	o-Xileno	1.6	Pivalaldehído	1.5	Hexametilciclotrisilox.	2.4
Isobutanol	1.0	Glicolaldehído	1.2	Hidroxiacetona	1.1	Nonanal	1.5	Butanal	1.4	Hidroxiacetona	2.4
Hexametilciclotrisilox.	1.0	Hexanal	1.2	m-Propiltolueno	1.1	Butanal	1.5	1,3,5-Trimetilbenc.	1.3	Ciclohexanona	2.3
Hepteno	0.9	Isobutanol	1.1	Isobutanol	1.1	1,3,5-Trimetilbenc.	1.5	Propilbenceno	1.3	Hexanal	1.9
Glicolaldehído	0.8	m,p-Xileno	1.0	Octeno	1.0	Isovaleraldehído	1.4	Isovaleraldehído	1.3	Tetradecano	1.8
a-pineno	0.7	Ciclohexanona	1.0	Hexanal	1.0	Trimetilbenc. iso_1	1.3	Hexanal	1.3	Isobutanol	1.7
Fenol	0.7	Butanal	1.0	Indano	0.9	Hexanal	1.3	Trimetilbenc. iso_1	1.2	m-Propiltolueno	1.7
Hexanal	0.7	m-Propiltolueno	0.9	Dimetilestireno	0.9	Camfeno	1.2	a-pineno	1.2	a-pineno	1.6
Hidroxiacetona	0.7	Heptano	0.8	Valerolactona	0.9	m,p-Xileno	1.2	1,2,4-Trimetilbenc.	1.1	Benzaldehído	1.5
Butanal	0.7	Isovaleraldehído	0.8	Benzaldehído	0.8	1,2,4-Trimetilbenc.	1.1	Hepteno	1.1	Undecano	1.4
Isovaleraldehído	0.6	Camfeno	0.8	Isovaleraldehído	0.8	Pivalaldehído	1.1	m,p-Xileno	1.1	Valerolactona	1.4
Heptano	0.6	Undecano	0.7	Hexametilciclotrisilox.	0.8	Hepteno	1.1	2-Butanona	0.8	Benzilalcohol	1.4
Benceno	0.6	Indano	0.7	Glicolaldehído	0.8	Undecano	1.0	Benzaldehído	0.8	Octeno	1.4
Camfeno	0.6	Benzaldehído	0.7	Butanal	0.7	Ciclohexanona	0.8	Camfeno	0.8	Octano	1.2
Undecano	0.5	Nonano	0.7	o-Cimeno	0.7	Benzaldehído	0.8	Glioxal	0.7	Isovaleraldehído	1.2

Benzonitrilo	0.5	Hepteno	0.6	Metacroleína	0.7	m-Propiltolueno	0.8	Endolim	0.7	o-Cimeno	1.1
Indano	0.5	Octanal	0.6	Undecano	0.7	Fenol	0.7	Heptano	0.7	Sabinaketona	1.1
Nonano	0.5	Endolim	0.6	o-Propiltolueno	0.6	Heptano	0.7	m-Propiltolueno	0.7	Butanal	1.1
Benzaldehído	0.5	Biacetil/2,3-Butanediona	0.6	Nonano	0.5	Octanal	0.7	Acroleína	0.6	Camfeno	1.0
Dimetilestireno	0.5	o-Cimeno	0.5	Hepteno	0.5	Nonano	0.6	Metil vinil cetona	0.6	o-Propiltolueno	0.9
2,4-Hexadiendial	0.4	Pivalaldehído	0.5	Benzonitrilo	0.5	2,4-Hexadiendial	0.6	Nonano	0.6	Hexano	0.9
m-Propiltolueno	0.4	2,4-Hexadiendial	0.5	Endolim	0.5	Indano	0.6	Indano	0.6	Biacetil/2,3-Butanediona	0.9
Endolim	0.4	Benzilalcohol	0.5	Benceno	0.5	Dimetilestireno	0.6	Octanal	0.5	Pivalaldehído	0.8
Caronaldehído	0.4	o-Propiltolueno	0.4	Biacetil/2,3-Butanediona	0.5	Crotonaldehído	0.6	2,4-Hexadiendial	0.5	Hepteno	0.7
Benzilalcohol	0.4	Fenol	0.4	Octanal	0.5	Sabinaketona	0.6	Undecano	0.5	Octanal	0.7
Hexano	0.3	Benceno	0.4	Pivalaldehído	0.5	Glioxal	0.5	Ciclohexanona	0.5	Benzonitrilo	0.6
Octanal	0.3	Caronaldehído	0.4	Limoneno	0.4	o-Cimeno	0.5	Benzilalcohol	0.4	2,4-Hexadiendial	0.6
Pivalaldehído	0.3	Octano	0.4	Acroleína	0.4	Benzonitrilo	0.5	Ácido pirúvico	0.4	Caronaldehído	0.5
Butanediona	0.3	Benzonitrilo	0.4	Octano	0.4	2-Butanona	0.5	o-Cimeno	0.4	Metacroleína	0.5
Octano	0.3	Metacroleína	0.3	Caronaldehído	0.3	Benzoquinona	0.5	Fenol	0.4	Endolim	0.5
Pinonaldehído	0.3	Sabinaketona	0.3	Fenol	0.3	Ácido pirúvico	0.5	Benzonitrilo	0.4	Benceno	0.5
m-Tolualdehído	0.3	Dimetilestireno	0.3	2,4-Hexadiendial	0.3	Acroleína	0.5	Benzoquinona	0.3	Acroleína	0.5
		Ácido pirúvico	0.3	Hexano	0.3	Benzilalcohol	0.4	Glutaraldehído	0.3	Dimetilestireno	0.4
		Acroleína	0.3	Benzilalcohol	0.3	Benceno	0.4	o-Propiltolueno	0.3	2-Butanona	0.4
		Pinonaldehído	0.3	Crotonaldehído	0.3	o-Propiltolueno	0.4	Benceno	0.3	Fenol	0.4
				Sabinaketona	0.3	Metil vinil cetona	0.4	Sabinaketona	0.3	o-Tolualdehído	0.4
						Endolim	0.4	Caronaldehído	0.3	Ácido pirúvico	0.4
						Limoneno	0.3	2-Hidroxibenzaldehído	0.3	Butilacetato	0.4
						Octano	0.3	Octano	0.3	2-Hidroxibenzaldehído	0.3
						2-Hidroxibenzaldehído	0.3	Hexano	0.3	Trimetilbenc. iso_2	0.3
										Pinonaldehído	0.3
										Metil vinil cetona	
										Toluquinona	

Tabla 5. Concentraciones (superior, $\mu\text{g m}^{-3}$) y proporciones (inferior, %) medias de COVs para diferentes grupos de COVs y ciudad (media de las estaciones de tráfico de cada una).

$\mu\text{g m}^{-3}$	Media de las estaciones de tráfico						Otras	
	CS	V	BI	Z	M	B	B_UB	B_P
Alcanos	9.4	11.9	10.6	14.4	8.4	18.2	5.8	16.8
Alquenos	2.5	2.6	1.6	3.0	2.9	2.1	2.2	1.7
Aromáticos	21.8	27.9	26.5	19.6	18.3	66.7	13.9	19.6
Terpenos	4.4	5.9	17.0	9.1	4.8	7.6	4.3	4.9
Cetonas	7.1	8.3	8.9	15.0	18.7	13.8	6.2	8.8
Ésteres	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.4	0.1	0.3
Aldehídos	14.5	19.7	19.2	28.7	35.1	28.6	15.2	17.7
Ác.Carbox.	0.3	0.4	0.4	0.6	0.6	0.6	0.3	0.4
Siloxanos	2.3	4.5	2.5	7.2	3.8	6.2	2.3	6.7
Alcoholes	1.1	1.1	0.8	1.3	1.0	2.0	0.6	1.1
Total	64	82	88	99	94	146	51	78
%								
	CS	V	BI	Z	M	B	B_UB	B_P
Alcanos	14.7	14.4	12.1	14.6	9.0	12.4	11.4	21.6
Alquenos	3.9	3.1	1.9	3.0	3.1	1.5	4.4	2.1
Aromáticos	34.3	33.9	30.2	19.8	19.5	45.6	27.3	25.2
Terpenos	6.9	7.1	19.4	9.2	5.2	5.2	8.4	6.3
Cetonas	11.2	10.0	10.1	15.1	19.9	9.4	12.1	11.3
Ésteres	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.3	0.2	0.3
Aldehídos	22.8	23.9	21.9	29.0	37.4	19.6	29.9	22.7
Ác.Carbox.	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.4	0.6	0.5
Siloxanos	3.6	5.5	2.8	7.3	4.0	4.2	4.5	8.6
Alcoholes	1.8	1.3	0.9	1.3	1.1	1.4	1.2	1.4

IV.1.7. Comparación con las mediciones cercanas a focos de emisiones de COVs de la campaña de 2023

La Figura 8 muestran una comparación de los valores de PMFO obtenidos a partir de las concentraciones de COVs medias para diferentes grupos de COVs y tipos de puntos de muestreo de las campañas de 2021, 2022, 2023 y 2024. En estas campañas se realizaron las siguientes mediciones:

- 2021: Estación de tráfico de Madrid.
- 2022: Clústers petroquímicos de Vizcaya y Tarragona.
- 2023: Gasolineras, clúster químico de Tarragona, clústers petroquímicos de Castellón Huelva, industria papelera Zaragoza, talleres automóviles Valencia y Castellón, puertos de Valencia, Barcelona y Huelva).
- 2024: Estaciones de tráfico de Castellón, Valencia, Zaragoza, Madrid y Barcelona.

Los resultados muestran que los niveles de COVs más elevados se han obtenido en las estaciones de tráfico de Barcelona (2024) y Madrid (2021) y la petroquímica de Huelva (2023), con medias de 146, 127 y 120 $\mu\text{g m}^{-3}$, respectivamente, seguidas de las estaciones de tráfico de Zaragoza, Madrid, Bilbao, Valencia y Castellón, y petroquímica de Castellón 99-64 $\mu\text{g m}^{-3}$. En las estaciones de tráfico domina la contribución de aromáticos, si descontamos los aldehídos y cetonas con gran proporción de COVs secundarios, mientras que en alguna petroquímicas la contribución de alcanos puede dominar. En la papelera los aldehídos son probablemente en su mayoría primarias y antropogénicos.

Así pues, las concentraciones de COVs registradas en estaciones de tráfico son relativamente superiores al resto, excepto algunas petroquímicas, que pueden llegar a ser del mismo orden pero con una proporción de aromáticos algo inferior.

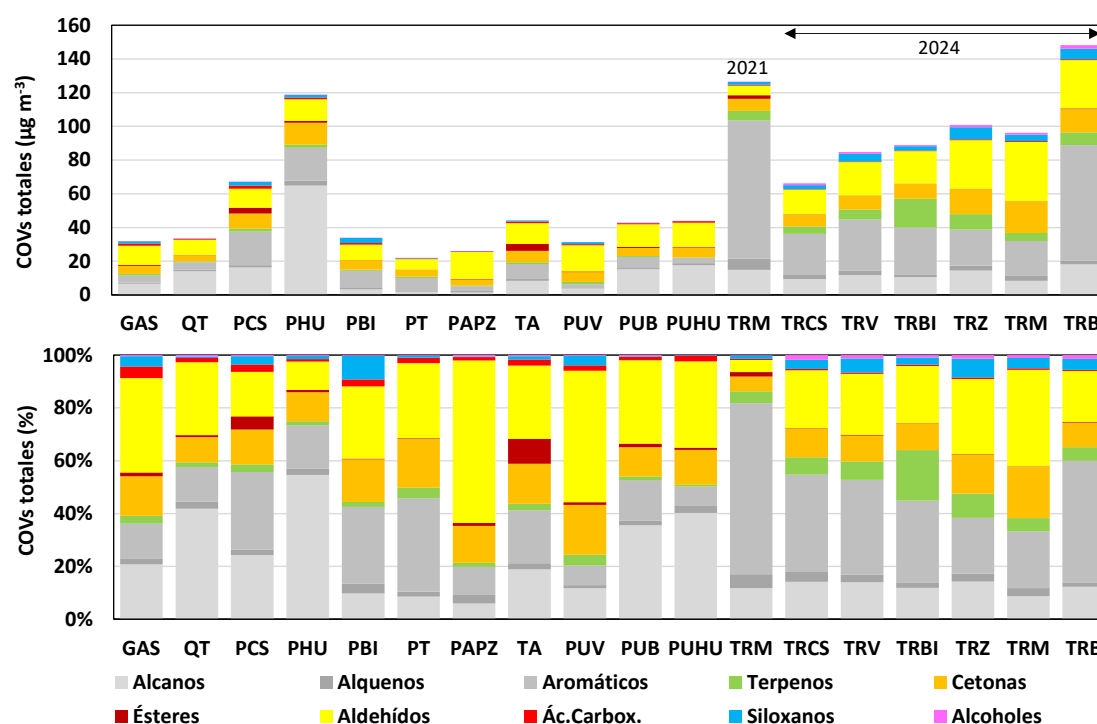


Figura 8. Concentraciones (superior, $\mu\text{g m}^{-3}$) y proporciones (inferior, %) medias de COVs para diferentes grupos de COVs y tipos de puntos de muestreo de las campañas de 2021, 2022, 2023 y 2024. GAS, gasolineras; QT, clúster químico de Tarragona; PCS, clúster petroquímico Castellón; PHU, clúster petroquímico Huelva (campana 2023); PBI, clúster petroquímico Petronor; PT, clúster petroquímico Tarragona (campana 2022); PAP, industria papelera Zaragoza; TA, talleres automóviles Valencia y Castellón; PUV, puerto Valencia; PUB, puerto Barcelona; PUH, puerto Huelva (campana 2023); TRM, estación de tráfico Madrid (campana 2021); TRCS, TRV, TRBI, TRZ, TRM, TRB, media estaciones de de tráfico de Castellón, Valencia, Zaragoza, Madrid y Barcelona (campana 2024).

IV.2. POTENCIAL MÁXIMO DE FORMACIÓN DE OZONO

IV.2.1. Comparación de los valores de PMFO calculados a partir de mediciones en estaciones de tráfico en la campaña de 2024

Los valores de PMFO para cada COV se obtienen de multiplicar su concentración ($\mu\text{g m}^{-3}$) y por su valor MIR (μg de O₃ que se puede formar por μg de COV).

La contribución relativa de los compuestos y grupos de COVs a el PMFO total pueden ayudar a identificar aquellos componentes que pueden presentar un mayor impacto en la formación de O₃. Sin embargo, el PMFO no contempla la competencia entre especies, y supone que todo el compuesto se oxida para contribuir a la generación de O₃. Estas suposiciones no son reales, y por eso lleva el término de 'potencial máximo'. Para evaluar las contribuciones d de los COVs a la formación de O₃, y por tanto identificar aquello con mayor interés en cuanto a su reducción, se necesitan herramientas complejas de modelización. Aun así, creemos interesante el producir una clasificación de estos compuestos en cuanto a su contribución relativa al PMFO.

La Tabla 6 y Figura 9 muestran los niveles de PMFO para los diferentes especies y grupos de COVs, para cada emplazamiento indicado en la Tabla 2. En ellas se puede observar que las los calores de PMFO totales más elevadas se obtuvieron en estaciones de tráfico encañonado de Barcelona, calles Valencia (767 $\mu\text{g O}_3 \text{ m}^{-3}$, perpendicular a la brisa) y Entença (504 $\mu\text{g O}_3 \text{ m}^{-3}$, paralelo a la brisa), seguidos por las estaciones de tráfico abierto y encañonado de Bilbao, Madrid, Valencia (encañonado solo) y Zaragoza (393 a 328 $\mu\text{g O}_3 \text{ m}^{-3}$, con valores ligeramente más altos en los encañonados que en los abiertos, excepto en Zaragoza), y las dos estaciones tráfico ed Castellón y la de tráfico abierto de Valencia, y el puerto y fondo urbano de Barcelona (309-191 $\mu\text{g m}^{-3}$). Los niveles de PMFO de Madrid en 2024 (393 $\mu\text{g O}_3 \text{ m}^{-3}$) son del lago inferiores, pero del mismo orden, que las obtenidas en julio de 2021 (460 $\mu\text{g O}_3 \text{ m}^{-3}$).

En cuanto al predominio de tipo de COVs con mayor contribución al PMFO total (Figuras 9 y 10 y Tabla 7), dominan los aromáticos en Barcelona, Bilbao, Valencia y Castellón (40-63% de los COVs), seguidos de aldehídos (21-28%), y los aldehídos en Madrid y Zaragoza (38-46%), seguidos de aromáticos (25-27%). Las contribuciones de cetonas son ligeramente mayores en Madrid y Zaragoza (15-17%) respecto al resto (5-6%), y las de los biogénicos son superiores en Bilbao (23%) y Zaragoza (13%), y similarmente inferiores en el resto (6-10%). Finalmente, las de los alcanos, alquenos y alcoholes alcanzan homogéneamente 2-3, 1-4, y 1% respectivamente.

La Tabla 7 muestra que, excepto en Madrid y Zaragoza, y en especial en Barcelona, los valores de PMFO más elevados en las estaciones de tráfico son (marcados en grise n la tabla): **1,2,4- y 1,3,5-Trimetilbeceno, Trimetilbeceno isómero 1 y 2, Etilbenceno, 4-etiltolueno, o,m,p, Xileno, Tolueno, Propilbenceno, y en algunas ciudades m-Propiltolueno e Indano**. Como se ha señalado anteriormente, cabe resaltar que una elevada proporción de los compuestos oxigenados (aldehídos, cetonas) es de origen secundario (generado en la atmósfera) y por tanto no se emiten por una fuente. Además, estos OCOVs suelen tener un elevado MIR y por tanto pueden contribuir mucho al PMFO. Así pues, una alta concentración de OCOVs secundarios a nivel regional puede diluir los HCOVs primarios (como los aromáticos en Madrid y Zaragoza), pero también altas concentraciones de O₃ y radicales OH puede generar OCOVs por oxidación de los HCOVs (tanto antrópicos como biogénicos), y por ello estos últimos estar en bajas concentraciones, y presentar un PMFO menor. Así, si se excluye el PMFO de aldehídos y cetonas (amarillo y naranja en Tabla 7) en las estaciones Madrid y Zaragoza, el PMFO está dominado por los mismos compuestos aromáticos que en el resto de las estaciones.

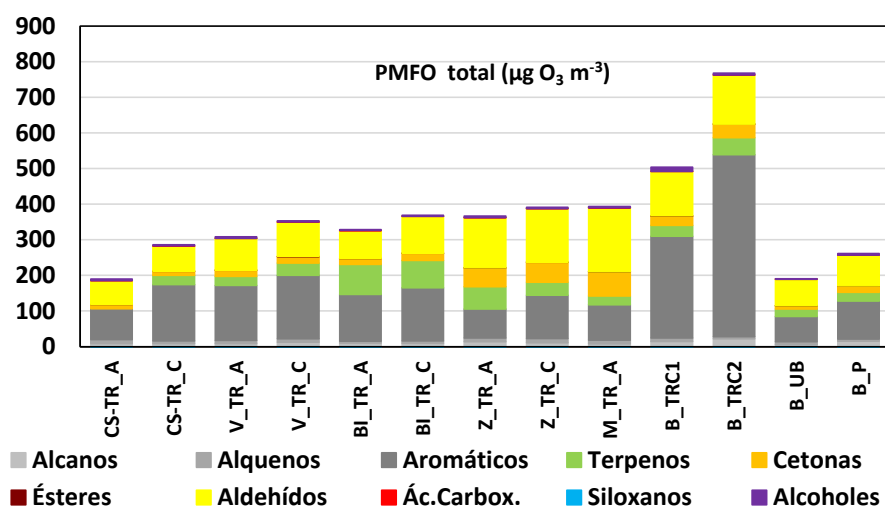


Figura 9. Valores ($\mu\text{g O}_3 \text{ m}^{-3}$) medios de PMFO para diferentes grupos de COVs y puntos de muestreo de la campaña de 2024.

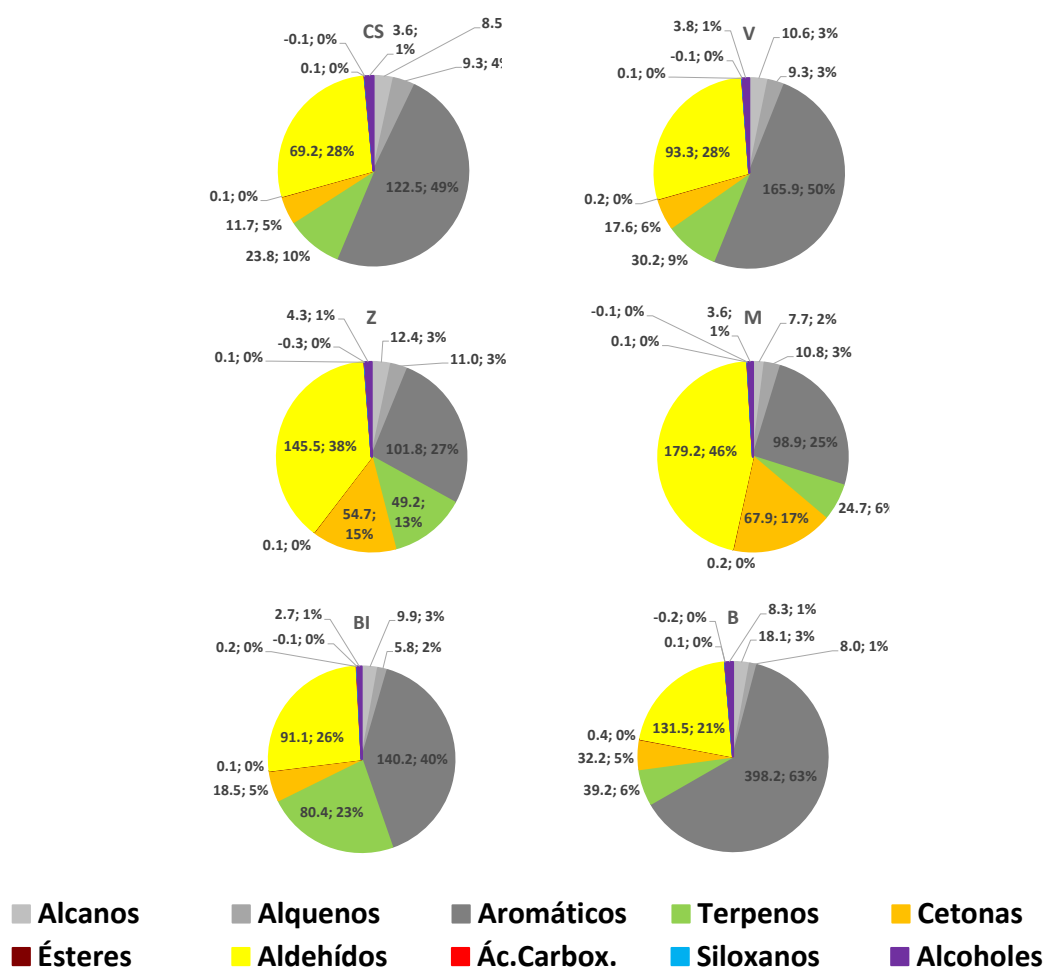


Figura 10. Contribuciones relativas de los grupos de COVs a los niveles de PMFO ($\mu\text{g O}_3 \text{ m}^{-3}$; %) medios de PMFO para diferentes grupos de COVs y puntos de muestreo de la campaña de 2024.

Tabla 6. Valores de PMFO ($\mu\text{g O}_3 \text{ m}^{-3}$) y MIR ($\mu\text{g O}_3 \mu\text{g}^{-1} \text{ COV}$, Venecek et al., 2018) para diferentes COVs y puntos de muestreo de la campaña de 2024. Celdas vacías, la especie de COVs no se detectó.

	MIR	CS-TR_A	CS-TR_C	V_TR_A	V_TR_C	BI_TR_A	BI_TR_C	Z_TR_A	Z_TR_C	M_TR_A	B_TRC1	B_TRC2	B_UB	B_P
Ácido propanoico	1.35	0.1	0.1	0.1	<0.1	0.3	0.2	<0.1	0.1	0.1	0.1	<0.1	0.1	0.1
2,2-Dimetilbutano	1.3	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
2-Metilpentano	1.77	0.3	0.1	0.1	<0.1	0.1	0.1	0.1	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	0.1	0.1
Decano	0.926	1.1	1.0	1.8	2.6	2.1	1.7	2.4	1.9	1.8	1.8	6.8	0.6	3.6
Dodecano	0.785	2.5	2.2	2.4	4.7	3.0	2.9	5.8	2.8	1.6	1.7	3.4	1.5	4.5
Heptano	1.37	0.6	1.1	1.2	1.1	1.3	1.8	0.6	1.2	0.9	4.3	2.3	0.9	1.4
Hexano	1.55	0.5	0.5	0.3	0.4	0.5	0.5	0.3	0.4	0.4	2.3	0.4	0.4	0.9
Metilciclohexano	1.86	0.2	0.1	<0.1	<0.1	0.1	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	<0.1
Nonano	1.03	0.5	0.5	0.6	0.7	0.6	0.5	0.7	0.7	0.6	0.9	4.1	0.3	0.9
Octano	1.15	0.3	0.4	0.4	0.5	0.4	0.5	0.2	0.4	0.3	1.4	1.5	0.2	0.5
Tetradecano	0.749	2.1	2.0	1.2	1.9	1.3	1.1	2.7	2.9	1.6	1.6	1.2	1.0	2.5
Undecano	0.849	0.3	0.6	0.6	0.6	0.8	0.4	1.1	0.5	0.4	0.5	2.0	0.2	0.8
Benzilalcohol	4.71	2.8	0.6	2.8	1.7	1.1	1.9	1.9	2.2	2.0	10.7	2.9	1.1	3.0
Fenol	2.41	1.4	2.1	1.0	0.9	1.0	0.6	2.2	1.0	0.9	0.8	1.4	0.6	0.7
Hexilalcohol	2.87	0.1	0.3	0.5	0.6	0.3	0.4	0.5	0.8	0.7	0.5	0.5	0.4	0.4
Acetaldehído	6.07	14.0	13.6	17.8	20.2	18.3	21.9	23.9	24.2	27.5	24.1	25.0	16.8	19.9
Acroleína	6.98	1.2	1.7	1.9	1.9	1.8	3.6	2.9	3.4	4.4	2.7	3.7	1.2	1.5
Butanal	5.73	3.9	3.9	5.7	5.3	3.5	5.0	8.0	9.5	7.8	5.7	6.5	6.9	6.5
Crotonaldehído	8.18	1.2	1.5	2.1	1.8	1.9	3.2	4.6	4.7	0.7	0.4	0.5	0.2	0.2
Formaldehído	7.16	15.1	12.4	16.6	16.6	16.2	18.1	17.4	18.1	19.2	18.3	18.6	11.3	14.9
Glicolaldehído	4.68	3.3	4.3	6.5	5.1	3.0	4.1	10.3	9.7	12.3	13.1	11.1	4.4	5.5
Glutaraldehído	4.13	0.2	0.3	0.4	0.3	0.3	0.4	1.0	0.9	1.4	0.9	1.1	0.3	0.5
Heptanal	3.55		0.1	0.1	0.1	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2		
Hexanal	4.17	2.5	3.5	4.0	6.2	3.1	4.9	4.5	5.9	5.4	6.8	9.0	2.6	3.0
Isobutanal	4.5	3.2	6.1	4.7	5.2	4.4	5.1	9.5	9.4	13.5	6.3	9.2	4.5	4.4
Isovaleraldehído	4.69	3.2	2.9	3.2	4.3	3.1	4.5	6.1	7.3	6.3	4.9	6.3	2.9	3.2
Metacroleína	5.43	1.1	0.3	1.8	2.0	3.3	4.3	10.2	9.9	27.6	2.3	3.1	0.4	0.7
Nonanal	3	2.9	4.4	4.5	8.0	5.4	7.6	3.6	5.6	5.1	11.0	8.8	3.9	4.2
Octanal	3.06	1.0	1.1	1.6	2.0	1.2	1.7	1.7	2.3	1.7	2.0	2.1	1.1	1.0
Pentanal	4.88	0.1		0.2	0.2	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4	0.2	0.3	0.2	0.2
Pinonaldehído	4	1.3	0.9	1.0	1.0	0.9	1.1	0.8	0.8	1.0	1.2	1.2	0.8	1.0
Pivalaldehído	4.6	1.5	1.4	2.1	2.3	1.8	2.5	4.7	5.0	6.9	2.6	4.9	1.9	1.7
Propanal	6.78	11.2	12.4	15.1	13.8	10.2	14.8	24.5	27.1	28.8	21.0	24.7	14.0	16.8
Glioxal	8.84	0.4	0.6	0.6	0.7	0.4	0.5	4.9	4.7	6.6	1.6	1.5	0.9	1.1
Hepteno	4.22	5.2	2.8	2.7	2.8	2.1	2.4	4.9	4.0	4.6	4.2	2.0	3.8	1.9
Octeno	3.46	6.0	4.6	6.4	6.7	3.0	4.0	5.3	7.8	6.2	5.6	4.1	4.4	4.2
1,2,4-Trimetilbenceno	7.88	23.4	42.3	45.8	69.7	24.3	12.9	7.7	10.1	8.9	26.5	68.5	5.1	9.8
1,3,5-Trimetilbenceno	9.35	8.4	17.8	16.0	18.0	16.4	21.8	11.4	16.2	12.6	37.6	96.7	7.3	13.1
4-Etiltolueno	4.28	8.1	15.4	14.9	16.4	11.4	18.8	9.1	14.3	10.6	28.9	75.4	5.8	11.6
Benceno	0.79	0.5	0.4	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.5	0.3	0.2	0.3
Dimetilestireno	1	0.6	0.4	0.3	0.3	1.0	0.8	0.9	0.4	0.2	0.4	0.5	0.2	0.3
Etilbenceno	6.12	7.9	18.2	16.8	15.2	13.7	19.6	9.2	18.0	14.5	42.4	56.7	9.2	14.4
Indano	3.25	1.3	2.0	2.2	2.3	2.8	3.3	1.7	2.4	1.8	5.1	11.2	1.2	1.5
m,p-Xileno	6.99	5.4	11.1	7.7	6.9	9.6	12.5	6.0	10.5	7.4	26.5	36.5	8.5	11.0

Campaña de COVs Plan Nacional de O₃ 2024

o-Xileno	7.17	6.5	16.4	14.4	12.9	11.1	17.0	7.3	15.7	12.4	43.9	60.9	8.1	13.3
m-Propiltolueno	4	1.7	1.8	3.4	3.4	4.9	4.1	3.3	3.0	2.6	4.0	9.5	1.2	3.9
o-Propiltolueno	4.18	0.9	1.0	1.9	1.8	2.9	2.2	1.9	1.7	1.4	2.1	5.4	0.7	2.4
o-Tolualdehído	-0.29	<0.1	<0.1	-0.1	<0.1	<0.1	-0.1	<0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	<0.1	<0.1
Propilbenceno	2.15	3.7	3.6	3.6	4.1	5.6	5.2	4.0	4.7	2.9	17.1	5.4	3.2	3.7
Tolueno	4.02	7.9	13.5	10.8	11.2	12.7	14.1	6.8	10.6	11.1	10.3	10.2	13.3	9.4
Trimetilbenceno is.1	9	8.1	13.0	14.1	13.6	12.3	14.6	10.7	12.8	10.7	38.0	69.1	5.7	9.9
Trimetilbenceno is.2	9	1.3	1.4	1.2	1.5	1.7	1.7	1.3	1.1	1.0	1.7	4.0	0.7	1.5
Metilglioxal	11.2		0.2					1.7	1.6	2.9	0.3	0.4	0.2	0.3
2-Butanona	1.53	0.2	0.5	0.3	0.4	0.4	0.4	0.7	0.7	1.3	0.6	0.8	0.3	0.4
2-Pentanona	3.06						0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2		
4-Metil-2-pentanona	3.81				0.1	0.2	0.3	0.3	0.6	0.6	0.2	0.3	0.1	0.3
Acetona	0.343	0.9	0.8	1.0	1.1	1.1	1.2	1.3	1.3	2.1	1.6	1.6	1.1	1.3
Hexanona	3.47							0.2	0.2	0.1			0.1	
Hidroxiacetona	3.08	2.4	1.8	3.7	4.1	2.9	4.0	11.2	12.5	13.8	7.3	7.3	2.1	4.2
Sabinaketona	4.05	0.5	0.7	1.2	1.5	1.2	1.1	3.4	1.1	1.2	1.6	7.2	0.5	1.8
2,3-Butanediona	9.06	0.9	1.2	1.7	1.5	1.5	2.5	3.7	3.7	5.7	2.2	2.8	1.2	1.1
Ciclohexanona	13.5	5.0	3.3	8.1	7.3	5.2	7.5	31.1	33.6	41.9	11.0	12.1	2.3	6.5
Heptanona	2.74					0.1	0.1	0.3	0.4	0.3	0.1	0.1		
Nonanona	1.33													
Octanona	3.06						0.1							
Butilacetato	1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.5	0.1	0.2
n-Propilacetato	0.95	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Octametilciclotetrasilox.	-<0.15	-0.1	-0.1	-0.1	-0.2	-0.1	-0.1	-0.4	-0.1	-0.1	-0.2	-0.2	<0.1	-0.2
a-pineno	4.02	3.9	2.0	7.1	5.6	20.8	25.8	8.0	5.1	4.7	5.1	7.9	5.6	5.3
Camfeno	4.02	2.3	2.3	2.8	3.4	6.0	8.1	6.5	3.4	3.3	3.7	4.6	2.9	2.1
Limoneno	4.06	0.6	0.4	0.2	0.4	1.8	1.6	1.6	1.0	0.3	0.8	0.8	0.3	0.4
m-Cimeno	6.3	13.9	19.0	12.1	21.9	39.6	30.4	42.1	23.7	13.7	16.9	25.0	11.1	13.6
o-Cimeno	5.14	1.1	1.3	3.0	2.6	4.2	3.4	2.8	2.6	2.0	3.3	8.0	0.9	3.0
β-Pineno	3.47	0.5	0.4	0.7	0.7	11.7	7.5	0.9	0.6	0.7	0.8	1.3	0.4	0.7

Tabla 7. Valores medios de PMFO ($\mu\text{g O}_3 \text{ m}^{-3}$) para los COVs medidos en estaciones de tráfico de diferentes ciudades (Cs, Castellón, V, Valencia, BI, Bilbao, Z, Zaragoza, M, Madrid, B, Barcelona) en la campaña de 2024, ordenados por orden decreciente.

CS	V	BI	Z	M	B
1,2,4-Trimetilben. 33	1,2,4-Trimetilben. 58	m-Cimeno 35	m-Cimeno 33	Ciclohexanona 42	1,3,5-Trimetilben. 67
m-Cimeno 16	Acetaldehído 19	a-pineno 23	Ciclohexanona 32	Propanal 29	Trimetilben. is.1 54
Acetaldehído 14	m-Cimeno 17	Acetaldehído 20	Propanal 26	Metacroleína 28	o-Xileno 52
Formaldehído 14	1,3,5-Trimetilben. 17	1,3,5-Trimetilben. 19	Acetaldehído 24	Acetaldehído 28	4-Etiltolueno 52
1,3,5-Trimetilben. 13	Formaldehído 17	1,2,4-Trimetilben. 19	Formaldehído 18	Formaldehído 19	Etilbenceno 50
Etilbenceno 13	Etilbenceno 16	Formaldehído 17	1,3,5-Trimetilben. 14	Etilbenceno 14	1,2,4-Trimetilben. 48
Propanal 12	4-Etiltolueno 16	Etilbenceno 17	Etilbenceno 14	Hidroxiacetona 14	m,p-Xileno 32
4-Etiltolueno 12	Propanal 14	4-Etiltolueno 15	Hidroxiacetona 12	m-Cimeno 14	Acetaldehído 25
o-Xileno 11	Trimetilben. is.1 14	o-Xileno 14	Trimetilben. is.1 12	Isobutanol 13	Propanal 23
Tolueno 11	o-Xileno 14	Trimetilben. is.1 13	4-Etiltolueno 12	1,3,5-Trimetilben. 13	m-Cimeno 21
Trimetilben. is.1 11	Tolueno 11	Tolueno 13	o-Xileno 11	o-Xileno 12	Formaldehído 18
m,p-Xileno 8	Ciclohexanona 8	Propanal 13	Metacroleína 10	Glicolaldehído 12	Glicolaldehído 12
Octeno 5	m,p-Xileno 7	m,p-Xileno 11	Glicolaldehído 10	Tolueno 11	Ciclohexanona 12
Isobutanol 5	Octeno 7	β -Pineno 10	Isobutanol 9	Trimetilben. is.1 11	Propilbenceno 11
Ciclohexanona 4	a-pineno 6	Camfeno 7	1,2,4-Trimetilben. 9	4-Etiltolueno 11	Tolueno 10
Hepteno 4	Nonanal 6	Nonanal 6	Butanal 9	1,2,4-Trimetilben. 9	Nonanal 10
Butanal 4	Glicolaldehído 6	Ciclohexanona 6	Tolueno 9	Butanal 8	Indano 8
Glicolaldehído 4	Butanal 5	Propilbenceno 5	m,p-Xileno 8	m,p-Xileno 7	Hexanal 8
Nonanal 4	Hexanal 5	Isobutanol 5	Isovaleraldehído 7	Pivalaldehído 7	Isobutanol 8
Propilbenceno 4	Isobutanol 5	m-Propiltolueno 4	a-pineno 7	Glioxal 7	Hidroxiacetona 7
Isovaleraldehído 3	Hidroxiacetona 4	Butanal 4	Octeno 7	Isovaleraldehído 6	Benzilalcohol 7
Hexanal 3	Propilbenceno 4	Hexanal 4	Hexanal 5	Octeno 6	m-Propiltolueno 7
a-pineno 3	Isovaleraldehído 4	o-Cimeno 4	Camfeno 5	2,3-Butanediona 6	a-pineno 7
Dodecano 2	Dodecano 4	Metacroleína 4	Pivalaldehído 5	Hexanal 5	Butanal 6
Camfeno 2	m-Propiltolueno 3	Isovaleraldehído 4	Glioxal 5	Nonanal 5	o-Cimeno 6
Hidroxiacetona 2	Camfeno 3	Glicolaldehído 4	Crotonaldehído 5	a-pineno 5	Isovaleraldehído 6
Tetradecano 2	o-Cimeno 3	Octeno 4	Nonanal 5	Hepteno 5	Octeno 5
m-Propiltolueno 2	Hepteno 3	Hidroxiacetona 3	Hepteno 4	Acroleína 4	Sabinaketona 4
Fenol 2	Benzilalcohol 2	Indano 3	Propilbenceno 4	Camfeno 3	Decano 4
Benzilalcohol 2	Indano 2	Dodecano 3	Dodecano 4	Propilbenceno 3	Camfeno 4
Indano 2	Pivalaldehído 2	Acroleína 3	2,3-Butanediona 4	Metilglioxal 3	o-Propiltolueno 4
	Decano 2	Crotonaldehído 3	m-Propiltolueno 3	m-Propiltolueno 3	Pivalaldehído 4
	Crotonaldehído 2	o-Propiltolueno 3	Acroleína 3	Acetona 2	Heptano 3
	Metacroleína 2	Hepteno 2	Tetradecano 3	Benzilalcohol 2	Acroleína 3
	Acroleína 2	Pivalaldehído 2	o-Cimeno 3	o-Cimeno 2	Hepteno 3
	o-Propiltolueno 2	2,3-Butanediona 2	Sabinaketona 2	Indano 2	Trimetilben. is.2 3
	Octanal 2	Decano 2	Decano 2	Decano 2	Metacroleína 3
	2,3-Butanediona 2	Limoneno 2	Benzilalcohol 2	Octanal 2	Dodecano 3
	Tetradecano 2	Trimetilben. is.2 2	Indano 2	Dodecano 2	Nonano 3
		Heptano 2	Octanal 2	Tetradecano 2	2,3-Butanediona 2
		Benzilalcohol 2	o-Propiltolueno 2		Octanal 2
			Metilglioxal 2		Acetona 2
			Fenol 2		Glioxal 2

Tabla 8. Valores de PMFO (superior, $\mu\text{g O}_3 \text{ m}^{-3}$) y proporciones (inferior, %) medios de PMFO para diferentes grupos de COVs y ciudades (para el tráfico, media de las dos estaciones)..

$\mu\text{g m}^{-3}$	Media de las estaciones de tráfico						Otras	
	CS	V	BI	Z	M	B	B_UB	B_P
Alcanos	8.5	10.6	9.9	12.4	7.7	18.1	5.5	15.2
Alquenos	9.3	9.3	5.8	11.0	10.8	8.0	8.3	6.1
Aromáticos	122.5	165.9	140.2	101.8	98.9	398.2	70.8	106.6
Terpenos	23.8	30.2	80.4	49.2	24.7	39.2	21.3	25.0
Cetonas	11.7	17.6	18.5	54.7	67.9	32.2	8.3	17.3
Ésteres	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.4	0.1	0.3
Aldehídos	69.2	93.3	91.1	145.5	179.2	131.5	74.5	86.4
Ác.Carbox.	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Siloxanos	-0.1	-0.1	-0.1	-0.3	-0.1	-0.2	0.0	-0.2
Alcoholes	3.6	3.8	2.7	4.3	3.6	8.3	2.1	4.2
Total	249	331	349	379	393	636	191	261
%								
	CS	V	BI	Z	M	B	B_UB	B_P
Alcanos	3.4	3.2	2.8	2.0	3.3	2.9	2.9	5.8
Alquenos	3.7	2.8	1.7	2.8	2.9	1.3	4.3	2.3
Aromáticos	49.2	50.1	40.2	25.2	26.9	62.6	37.1	40.9
Terpenos	9.6	9.1	23.1	6.3	13.0	6.2	11.2	9.6
Cetonas	4.7	5.3	5.3	17.3	14.4	5.1	4.4	6.6
Ésteres	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1
Aldehídos	27.8	28.2	26.1	45.6	38.4	20.7	39.0	33.1
Ác.Carbox.	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0
Siloxanos	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.0	-0.1
Alcoholes	1.5	1.1	0.8	0.9	1.1	1.3	1.1	1.6

IV.2.2. Comparación de los valores de PMFO de mediciones cercanas a focos de emisiones de COVs de las campañas de 2022, 2023 y 2024

La Figura 11 y Tabla 9 muestran una comparación de los valores de PMFO obtenidos a partir de las concentraciones de COVs medias para diferentes grupos de COVs y tipos de puntos de muestreo de las campañas de 2021, 2022, 2023 y 2024. En estas campañas se realizaron las siguientes mediciones:

- 2021: Estación de tráfico de Madrid.
- 2022: Clústers petroquímicos de Vizcaya y Tarragona.
- 2023: Gasolineras, clúster químico de Tarragona, clústers petroquímicos de Castellón Huelva, industria papelera Zaragoza, talleres automóviles Valencia y Castellón, puertos de Valencia, Barcelona y Huelva).
- 2024: Estaciones de tráfico de Castellón, Valencia, Zaragoza, Madrid y Barcelona.

Los resultados muestran que los niveles PMFO más elevados se han obtenido en las estaciones de tráfico de Barcelona (2024), Madrid (2021), y Valencia-Bilbao-Zaragoza-Madrid (2024) con medias de 636, 460 y 393 a 331 $\mu\text{g O}_3 \text{ m}^{-3}$, respectivamente; seguidas de las estaciones de tráfico de Castellón (2024), y la de los clústeres petroquímicos de Huelva y Castellón (2023), con 297-215 $\text{O}_3 \mu\text{g m}^{-3}$. Para el resto de focos se obtuvieron PMFOs muy inferiores, desde 68 $\mu\text{g O}_3 \text{ m}^{-3}$ (petroquímica Tarragona) a 131 $\mu\text{g O}_3 \text{ m}^{-3}$ (puerto de Barcelona).

En las estaciones de tráfico domina la contribución de aromáticos, con 77, 61 y 40-50 % del PMFO en Madrid (2021), Barcelona y Castellón-Valencia-Bilbao (2024), respectivamente. En las estaciones de tráfico de Madrid y Zaragoza (2024) los aromáticos solo aportan 25-27 % del PMFO, por presentar probablemente una atmósfera muy oxidante durante el muestreo y registrar altas contribuciones al PMFO de aldehídos y cetonas (53-63%). En los complejos

petroquímicos los aromáticos dominan también el PMFO, con 40-50%, excepto la de Huelva con una contribución más reducida (33%) debido a una alta contribución de alcanos (36%).

Las contribuciones al PMFO de aldehídos y cetonas dependen del estado de oxidación de la atmósfera en el muestreo, excepto la papelera de Zaragoza, con 73% de aldehídos en el PMFO, debido a altas emisiones de formaldehído primario. Los talleres presentan una mayor contribución de ésteres (3%, mientras que el resto de focos no suelen sobrepasar 0.5%) y las gasolineras no presentan niveles de PMFO de aromáticos superiores a la mayoría del resto de focos.

Así pues, los niveles de PMFO (dominado por aromáticos) son superiores en estaciones de tráfico respecto al resto de focos estudiados. Algunas petroquímicas también registran valores elevados. A destacar los elevados niveles de PMFO derivados de las emisiones primarias de formaldehído de las papeleras.

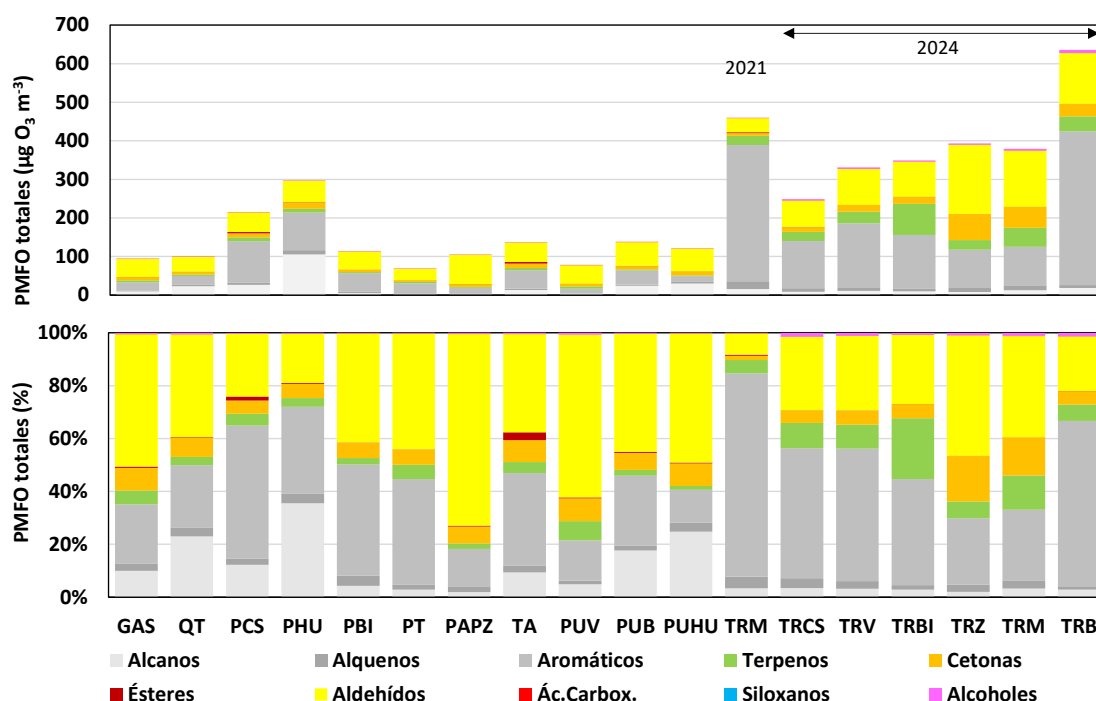


Figura 10. Valores (superior, $\mu\text{g O}_3 \text{ m}^{-3}$) y proporciones (inferior, %) medios de PMFO para diferentes grupos de COVs y tipos de puntos de muestreo de las campañas de 2021, 2022, 2023 y 2024. GAS, gasolineras; QT, clúster químico de Tarragona; PCS, clúster petroquímico Castellón; PHU, clúster petroquímico Huelva (campana 2023); PBI, clúster petroquímico Petronor; PT, clúster petroquímico Tarragona (campana 2022); PAP, industria papelera Zaragoza; TA, talleres automóviles Valencia y Castellón; PUV, puerto Valencia; PUB, puerto Barcelona; PUH, puerto Huelva (campana 2023); TRM, estación de tráfico Madrid (campana 2021); TRCS, TRV, TRBI, TRZ, TRM, TRB, media estaciones de de tráfico de Castellón, Valencia, Zaragoza, Madrid y Barcelona (campana 2024).

Tabla 9. Valores (superior, $\mu\text{g O}_3 \text{ m}^{-3}$) y proporciones (inferior, %) medios de PMFO para diferentes grupos de COVs y tipos de puntos de muestreo de las campañas de 2021, 2022, 2023 y 2024. GAS, gasolineras; QT, clúster químico de Tarragona; PCS, clúster petroquímico Castellón; PHU, clúster petroquímico Huelva (campana 2023); PBI, clúster petroquímico Petronor; PT, clúster petroquímico Tarragona (campaña 2022); PAP, industria papelera Zaragoza; TA, talleres automóviles Valencia y Castellón; PUV, puerto Valencia; PUB, puerto Barcelona; PUH, puerto Huelva (campaña 2023); TRM, estación de tráfico Madrid (campaña 2021); TRCS, TRV, TRBI, TRZ, TRM, TRB, media estaciones de tráfico de Castellón, Valencia, Zaragoza, Madrid y Barcelona (campaña 2024).

PMFO ($\mu\text{g O}_3 \text{ m}^{-3}$)	GAS	QT	PCS	PHU	PBI	PT	PAPZ	TA	PUV	PUB	PUHU	TRM	TRCS	TRV	TRBI	TRZ	TRM	TRB
Alcanos	9.4	22.9	26.4	105.5	4.8	1.9	2.0	12.8	3.8	24.4	29.9	15.4	8.5	10.6	9.9	7.7	12.4	18.1
Alquenos	2.6	3.2	5.1	10.7	4.4	1.3	2.0	3.7	1.0	2.5	4.3	20.2	9.3	9.3	5.8	10.8	11.0	8.0
Aromáticos	21.0	23.6	108.2	97.7	47.4	27.2	15.1	47.9	12.0	36.5	14.9	353.7	122.5	165.9	140.2	98.9	101.8	398.2
Terpenos	4.9	3.2	9.7	9.8	2.8	3.7	2.1	5.6	5.6	3.0	1.7	23.5	23.8	30.2	80.4	24.7	49.2	39.2
Cetonas	8.0	7.1	10.6	15.9	6.6	3.9	6.8	11.4	6.8	8.9	10.4	7.2	11.7	17.6	18.5	67.9	54.7	32.2
Ésteres	0.5	0.3	3.4	1.0	0.1	0.1	0.3	4.1	0.3	0.6	0.4	2.2	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1	0.4
Aldehídos	47.1	38.8	51.0	55.3	46.6	29.9	75.8	50.9	48.1	61.5	59.0	36.7	69.2	93.3	91.1	179.2	145.5	131.5
Ác.Carbox.	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.5	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1
Siloxanos	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.3	-0.2
Alcoholes	0.4	0.6	0.8	1.0	0.3	0.2	0.4	0.6	0.5	0.5	0.2	0.7	3.6	3.8	2.7	3.6	4.3	8.3
Tottal	94	100	215	297	113	68	105	137	78	138	121	460	249	331	349	393	379	636
(%)	GAS	QT	PCS	PHU	PBI	PT	PAPZ	TA	PUV	PUB	PUHU	TRM	TRCS	TRV	TRBI	TRZ	TRM	TRB
Alcanos	10.0	23.0	12.3	35.5	4.3	2.8	1.9	9.3	4.9	17.7	24.7	3.3	3.4	3.2	2.8	2.0	3.3	2.9
Alquenos	2.8	3.2	2.4	3.6	3.9	1.9	1.9	2.7	1.3	1.8	3.5	4.4	3.7	2.8	1.7	2.8	2.9	1.3
Aromáticos	22.3	23.7	50.3	32.9	41.9	39.9	14.4	35.0	15.3	26.5	12.3	76.9	49.2	50.1	40.2	25.2	26.9	62.6
Terpenos	5.3	3.2	4.5	3.3	2.5	5.4	2.0	4.1	7.2	2.2	1.4	5.1	9.6	9.1	23.1	6.3	13.0	6.2
Cetonas	8.5	7.2	4.9	5.4	5.9	5.8	6.5	8.3	8.6	6.4	8.6	1.6	4.7	5.3	5.3	17.3	14.4	5.1
Ésteres	0.5	0.3	1.6	0.3	0.1	0.1	0.3	3.0	0.4	0.4	0.3	0.5	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1
Aldehídos	50.1	38.9	23.7	18.6	41.2	43.8	72.5	37.1	61.6	44.6	48.9	8.0	27.8	28.2	26.1	45.6	38.4	20.7
Ác.Carbox.	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0
Siloxanos	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0
Alcoholes	0.4	0.6	0.4	0.3	0.2	0.2	0.4	0.5	0.7	0.4	0.2	0.2	1.5	1.1	0.8	0.9	1.1	1.3

V. BIBLIOGRAFÍA

- Carter, W.P.L.: Updated maximum incremental reactivity scale and hydrocarbon bin reactivities for regulatory applications, Calif. Air Resour. Board Contract, no. 2000, pp. 07–339, 2009
- Carter, W.P.L.: Development of the SAPRC-07 chemical mechanism, Atmos. Environ., vol. 44, no. 40, pp. 5324–5335, 2010
- Derwent R.G., Jenkin M.E., Utembe S.R., Shallcross D.E., Murrells T.P., Passant N.R., 2010. Secondary organic aerosol formation from a large number of reactive man-made organic compounds. Sci. Total Environ. 408, 16, 3374-3381. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.04.013>.
- Eisele F.L., Mount G.H., Tanner D., Jefferson A., Shetter R., Harder J.W., Williams E.J.: Understanding the production and interconversion of the hydroxyl radical during the Tropospheric OH Photochemistry Experiment. Journal Geophysical Research, 102, D5, 6457-6465, <https://doi.org/10.1029/96JD02207>, 1997
- EWG's Tap Water Database, p-isopropyltoluene. <https://www.ewg.org/tapwater/contaminant.php?contamcode=2030>, último acceso: 16 de enero de 2020, 2019
- Fischer A., Ljungström E., Langer S.: Ozone removal by occupants in a classroom. Atmos. Environ., 81, 11-17, 2013
- Ivatt P.D., Evans M.J., Lewis A.C. Suppression of surface ozone by an aerosol-inhibited photochemical ozone regime. Nature Geoscience 15, 536–540. <https://www.nature.com/articles/s41561-022-00972-9>, 2022
- Li K., Jacob, D.J., Liao H., Zhu J., Shah V., Shen L., Bates K.H., Zhang Q., Zhai S. A two-pollutant strategy for improving ozone and particulate air quality in China. Nature Geoscience 12, 906–910. <https://www.nature.com/articles/s41561-019-0464-x>, 2019
- Monks, P.S., Archibald, A.T., Colette, A., Cooper, O., Coyle, M., Derwent, R., Fowler, D., Granier, C., Law, K.S., Mills, G.E., Stevenson, D.S., Tarasova, O., Thouret, V., von Schneidemesser, E., Sommariva, R., Wild, O., Williams, M.L.: Tropospheric ozone and its precursors from the urban to the global scale from air quality to short-lived climate forcer, Atmospheric Chemistry and Physics, 15, 8889-8973, 2015
- Rossignol, S., Rio, C., Ustache A., et al.:2013 The use of a housecleaning product in an indoor environment leading to oxygenated polar compounds and SOA formation: gas and particulate phase chemical characterization. Atmos Environ. 75, 196-205, 2013
- US-EPA: Air Quality Criteria for Ozone and Related Photochemical Oxidants (Final Report, 2006), EPA 600/R-05/004aF, Volumes I, II & III, 2006
- Venecek, M.A., Carter, W.P.L., Kleeman, M.J.: Updating the SAPRC Maximum Incremental Reactivity (MIR) scale for the United States from 1988 to 2010, J. Air Waste Manag. Assoc., 68, 12, 1301–1316, 2018
- Wang, Ch., Waring, M.S.: Secondary organic aerosol formation initiated from reactions between ozone and surface-sorbed squalene. Atmospheric Environment 2014, 84 , 222-229. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.11.009>, 2014
- Weschler, C.J.: Chemistry in indoor environments: 20 years of research. Indoor Air 21, 3, 205-218. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2011.00713.x>, 2011
- Weschler, C.J., Shields, H.C.: Indoor ozone/terpene reactions as a source of indoor particles. Atmos. Environ., 33, 2301-2312, 1999