



INFORME SOBRE LA CALIDAD DEL AIRE DE EXTREMADURA

Año 2021

JUNTA DE EXTREMADURA

Consejería para la Transición Ecológica
y Sostenibilidad

Índice

1	Introducción.....	3
1.1	Principales fuentes de emisiones contaminantes por sectores.....	4
1.2	Parámetros indicadores de la calidad del aire	5
1.2.1	Monóxido de carbono (CO)	5
1.2.2	Dióxido de azufre (SO ₂)	6
1.2.3	Partículas en suspensión (PM)	7
1.2.4	Óxidos de nitrógeno (NO _x)	8
1.2.5	Ozono troposférico (O ₃)	8
1.2.6	Compuestos orgánicos volátiles (COV).....	9
1.2.7	Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP)	10
1.2.8	Metales Pesados	11
2	Normativa.....	12
2.1	Normas específicas en vigor.....	12
2.2	Valores, niveles y umbrales.....	13
2.3	Niveles de concentración de los contaminantes regulados por la legislación.....	17
3	Estructura de la Red	23
3.1	Objetivos de la red REPICA.....	24
3.2	Parámetros que se miden en la red REPICA.....	24
3.3	Unidades Fijas	25
3.4	Unidad Móvil	28
3.5	Equipamiento de la red	28
4	Resultados	29
4.1	Monóxido de carbono (CO).....	29
4.2	Dióxido de azufre (SO ₂)	30
4.3	Material particulado (PM).....	32
4.4	Dióxido de nitrógeno (NO ₂).....	34
4.5	Ozono (O ₃).....	36
4.6	Benceno (C ₆ H ₆)	38
4.7	Benzopireno (BaP).....	40
4.8	Arsénico (As).....	41
4.9	Cadmio (Cd).....	42
4.10	Níquel (Ni)	43
4.11	Plomo (Pb).....	44

5	<i>Actividades de investigación</i>	46
5.1	Campanñas específicas de investigación de la calidad del aire	46
5.2	Líneas de investigación.....	46
5.3	Publicaciones.....	47
5.4	Trabajos académicos.....	47
5.5	Comunicaciones a congresos	48
6	<i>Actividades de divulgación</i>	49

1 Introducción

La calidad del aire de la Comunidad Autónoma de Extremadura forma parte del Patrimonio Natural de la Región y es, junto con otros aspectos relevantes como la biodiversidad y la existencia de ecosistemas de gran valor ecológico, uno de sus elementos más importantes. La calidad del aire tiene una incidencia directa en la salud de los ciudadanos, en la protección de la vegetación y de los ecosistemas. En efecto, la contaminación atmosférica supone una importante amenaza para la salud en todo el mundo, y se ha comprobado que una gestión adecuada de la calidad del aire ayuda a mejorar la salud pública.

Por ello, una de las principales líneas de trabajo de la gestión medioambiental en la Comunidad Autónoma de Extremadura está orientada a la protección y mejora de la calidad del aire, junto con la mitigación y adaptación al cambio climático.

En este sentido, la Administración de la Comunidad Autónoma de Extremadura, a través de la Consejería para la Transición Ecológica y Sostenibilidad, dispone de la Red Extremeña de Protección e Investigación de la Calidad del Aire (REPICA) en cumplimiento de las directrices establecidas en la Directiva 2008/50/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21 de mayo de 2008, relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa, y en el Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire (y sus modificaciones), para lograr una mejora de la calidad del aire en la región. La propia legislación extremeña recoge la necesidad de una red de vigilancia de la calidad del aire en la Ley 16/2015 de 23 de abril de Protección Ambiental, como un compromiso por el desarrollo sostenible de la región. Además, se considera una fuente idónea de información para la población y para la gestión ambiental del importante recurso natural que constituye una atmósfera limpia.

El presente documento tiene como objetivo principal proporcionar una visión global del estado de la calidad del aire en la Comunidad Autónoma de Extremadura durante el año 2021. Para ello, y dentro del marco legal en vigor, se analiza la evolución de los niveles de los principales contaminantes atmosféricos cuyos niveles en el aire ambiente se miden en las unidades de vigilancia de la calidad del aire pertenecientes a REPICA. También se incluyen las actividades llevadas a cabo desde REPICA durante 2021 para informar adecuada y continuamente a la ciudadanía sobre la calidad del aire que respiramos y la influencia de las actividades antropogénicas sobre la misma, así como una serie de recomendaciones para que día a día la sociedad consiga disfrutar de un aire limpio en favor de la protección de la salud y del entorno natural.

El concepto de contaminación atmosférica hace referencia a la presencia en el aire de materias, sustancias o formas de energía que pueden implicar grave molestia, riesgo o daño para los seres vivos, para el medioambiente, y para los demás bienes materiales. La contaminación atmosférica puede tener carácter local, regional o global, dependiendo del alcance espacial de los impactos derivados. De igual modo, es posible detectar impactos transitorios, que cesan rápidamente cuando cede la emisión, y otros más permanentes, que reflejan la inercia del medioambiente ante cambios en las relaciones causa-efecto.

A la hora de evaluar la calidad del aire, es importante distinguir entre los términos emisión e inmisión, por lo que es conveniente explicar la diferencia. El término emisión se refiere a la cantidad de contaminantes liberados a la atmósfera durante un cierto período de tiempo y

desde una determinada fuente, mientras que el término inmisión se aplica a la concentración de contaminantes cerca de la superficie del suelo. El término inmisión es el más relacionado con la calidad del aire ambiente que respiramos en la superficie de la Tierra, por lo que las unidades de vigilancia de la calidad del aire miden niveles de inmisión, habitualmente en forma de masa de sustancia contaminante por unidad de volumen de aire (por ejemplo microgramos de monóxido de carbono por metro cúbico de aire).

Para reducir los niveles de inmisión, es necesario reducir y controlar las emisiones a la atmósfera desde las diferentes fuentes emisoras, además de establecer sistemas de seguimiento y control de contaminantes para conocer la calidad del aire ambiente.

Entre las sustancias contaminantes de la atmósfera, se puede establecer una diferenciación clara entre contaminantes primarios y secundarios. Los contaminantes primarios son aquellos que se liberan directamente a la atmósfera, como el dióxido de azufre, el monóxido de nitrógeno, el monóxido de carbono, el material particulado primario, los compuestos orgánicos volátiles, etc. Los contaminantes secundarios son aquellos que se forman en la atmósfera por reacciones químicas entre dos o más contaminantes primarios o sustancias no contaminantes; entre éstos se encuentran el ácido sulfúrico (H_2SO_4), el ácido nítrico (HNO_3), el ozono (O_3), etc. Ambos tipos de contaminantes pueden depositarse en la superficie terrestre por deposición seca o húmeda, afectando a receptores específicos como el ser humano, las plantas, los animales y demás componentes de los ecosistemas.

1.1 Principales fuentes de emisiones contaminantes por sectores

Los contaminantes atmosféricos pueden ser emitidos por fuentes de dos tipos: fuentes de origen natural, biogénicas o geogénicas, y fuentes de origen antropogénico, causadas por las actividades humanas.

Entre las fuentes de emisión de origen natural se encuentran:

- Polvo producido por resuspensión del suelo y transportado por el viento.
- Humo procedente de combustiones naturales.
- Aerosoles marinos.
- Compuestos de azufre y partículas generados en las erupciones volcánicas.
- Compuestos nitrogenados, principalmente en forma de monóxido de nitrógeno (NO), emitidos por los suelos como subproductos de actividades microbianas (nitrificación y desnitrificación).
- Óxidos de nitrógeno generados en las descargas eléctricas de las tormentas.
- Compuestos orgánicos volátiles biogénicos emitidos por la vegetación.

Por su parte, las fuentes antropogénicas de emisión de contaminantes atmosféricos son principalmente:

- Emisiones de transporte urbano y de carreteras.
- Emisiones industriales.
- Emisiones domésticas.

- Actividades extractivas (extracción de mineral, manejo de materiales, manipulación polvos, vehículos en carreteras y superficies pavimentadas o no pavimentadas).
- Residuos Sólidos Urbanos.
- Emisiones del sector agrario.
- Incendios forestales provocados y quema de rastrojos.

1.2 Parámetros indicadores de la calidad del aire

Los parámetros de calidad del aire más relevantes que se monitorizan en las unidades de las redes de vigilancia de la calidad del aire en la Unión Europea, por aplicación de la Directiva 2008/50/CE, son los siguientes:

- Monóxido de carbono (CO).
- Dióxido de azufre (SO₂).
- Partículas en suspensión (PM₁₀, PM_{2,5}).
- Óxido de nitrógeno (NO, NO₂ y NO_x).
- Ozono troposférico (O₃).
- Compuestos orgánicos volátiles (COV).
- Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP).
- Metales pesados (Pb, As, Cd Y Ni).

A continuación se describen brevemente las principales características de cada uno de estos contaminantes atmosféricos.

1.2.1 Monóxido de carbono (CO)

El CO es un gas incoloro e inodoro, más ligero que el aire, consta de un átomo de oxígeno y uno de carbono. Se origina por la combustión incompleta de carbono en ambientes pobres en oxígeno. Ejemplos típicos de esta situación son el empleo de sistemas de calefacción en recintos cerrados (un brasero de carbón, un brasero de gas, o una estufa catalítica), un motor de explosión encendido en un garaje, el centro de una gran ciudad en condiciones de escasa ventilación, o una cocina cerrada donde se guisa con fuegos de gas.

El CO termina oxidándose a CO₂ (principal gas responsable del efecto invernadero que existe en la atmósfera terrestre). La principal fuente antropogénica de emisiones de CO a la atmósfera son los motores de combustión interna. Por ello, las normas de inspección técnica de vehículos a motor estipulan el control de las emisiones de CO en los gases de escape. El envenenamiento por inhalación del CO generado por estufas y chimeneas domésticas también es lamentablemente un fenómeno común con consecuencias a menudo trágicas, como vemos con relativa frecuencia en los medios de comunicación.

El efecto tóxico del CO se debe a que se une irreversiblemente a una sustancia presente en la sangre llamada hemoglobina, encargada de transportar el oxígeno. El CO provoca así una reducción del transporte de O₂, provocando un trastorno al organismo expuesto a este contaminante. Los síntomas varían desde dolor de cabeza y dificultad para respirar hasta

pérdida del conocimiento y muerte por asfixia, según la concentración de CO en el aire y el tiempo de exposición.

Para medir la concentración de CO en el aire se utiliza habitualmente una técnica analítica basada en la medida de la absorción de la radiación infrarroja por parte del CO, utilizando el método descrito en la norma UNE-EN 14626:2013 «Calidad del aire ambiente-método normalizado de medida de la concentración de monóxido de carbono por espectroscopía infrarroja no dispersiva».

1.2.2 Dióxido de azufre (SO₂)

El SO₂ es un gas compuesto por dos átomos de oxígeno y uno de azufre, más pesado que el aire, incoloro y con un olor picante muy característico. Su presencia en el medioambiente deriva principalmente de la combustión del azufre.

La quema de carbón y otros combustibles fósiles (derivados del petróleo) constituyen una de las principales fuentes de emisión antropogénica de SO₂. Esta combustión tiene lugar principalmente en centrales térmicas que queman carbón o fueloil para producir electricidad, sistemas de calefacción, o motores de combustión interna, aunque la metalurgia también produce una cantidad considerable. La fuente natural más importante son las erupciones volcánicas.

Este compuesto genera efectos muy nocivos para la salud humana, especialmente para colectivos vulnerables como ancianos, niños o personas con problemas respiratorios, ya que se trata de un irritante pulmonar muy perjudicial. Por otra parte, el SO₂ liberado a la atmósfera se oxida a trióxido de azufre (SO₃) que posteriormente se combina con agua para dar lugar a ácido sulfúrico (H₂SO₄), uno de los principales componentes de la lluvia ácida.

Los aerosoles de ácido sulfúrico tienen un efecto tóxico directo sobre los seres vivos, ya que, por ejemplo, las gotitas submicrométricas de H₂SO₄ pueden afectar las funciones pulmonares en humanos. La lluvia ácida, que se puede describir como la caída de lluvia con un pH igual o menor que 5 (significativamente inferior al pH natural del agua de lluvia), provoca efectos devastadores en el medio ambiente, tales como la deforestación o desequilibrios químicos en algunos suelos y aguas (ríos y lagos), debido a su acidificación. Otro de sus efectos es la destrucción de materiales como el mármol. Así, se ven afectadas obras de arte y otras piezas de mármol que se encuentran al aire libre, ya que el ácido sulfúrico disuelve el carbonato de calcio, CaCO₃ del que están formadas.

La medición de la concentración de SO₂ en el aire se realiza mediante la técnica de emisión de fluorescencia, según el método normalizado descrito en la norma UNE-EN 14212:2013 «Calidad del aire ambiente-método normalizado de medida de la concentración de dióxido de azufre por fluorescencia de ultravioleta».

1.2.3 Partículas en suspensión (PM)

Las partículas en suspensión (PM, por las siglas de su denominación en inglés “Particulate Matter”) se pueden definir como partículas de material sólido suspendido en la atmósfera en forma de polvo o de humos. Esta es la forma más visible de contaminación del aire porque se aprecia a simple vista. Las PM son de origen, tamaño y composición muy variable. Los componentes inorgánicos más comunes son sales como sulfatos, nitratos, silicatos, etc., de diversos elementos químicos como metales alcalinos y alcalinotérreos, metales moderadamente tóxicos como el hierro, aluminio, cobre o zinc, y metales pesados tóxicos como plomo, níquel, mercurio o cadmio. Entre los componentes orgánicos, los más peligrosos son los hidrocarburos aromáticos policíclicos y otros hidrocarburos como los alquitranes (humos de tabaco).

Las partículas se clasifican en función de su tamaño aerodinámico. Las fracciones más relevantes a efectos regulatorios son: PM₁₀, partículas que pasan a través del cabezal de un tamaño selectivo determinado en el método estándar de muestreo y medición, que tienen un diámetro aerodinámico de 10 micras, y PM_{2.5}, partículas que pasan por el selector de tamaño definido anteriormente, con un diámetro aerodinámico de 2,5 micras. También pueden medirse los niveles de las partículas más pequeñas que una micra (PM₁) y las partículas totales en el aire (PST), aunque no están reguladas por ley.

El PM puede ser de origen natural o antrópico. Dependiendo de las condiciones ambientales, las contribuciones relativas de ambas fuentes pueden ser muy variables. Los principales factores antrópicos incluyen la combustión en motores de combustión interna, incineradores, centrales térmicas, así como muchos otros procesos industriales relacionados con minería, metalurgia, producción de cemento, etc. Las fuentes naturales más características son incendios forestales, erupciones volcánicas, erupciones marinas o vientos que resuspenden materia del suelo, especialmente en regiones desérticas (son típicas en el suroeste de Europa las intrusiones de aire cargado de partículas procedente del desierto del Sáhara).

Las partículas en suspensión son el vehículo para que muchas sustancias tóxicas entren en los pulmones y causen o agraven enfermedades pulmonares, desde el asma hasta el cáncer de pulmón. Por otro lado, las partículas sólidas en el aire actúan también adsorbiendo otros contaminantes sobre ellas, provocando efectos tóxicos crónicos al ser inhaladas y atrapadas en los pulmones. Las partículas con cargas tóxicas también producen un efecto adverso sobre las plantas. Cuanto mayor menor es su tamaño, mayor es el riesgo de efectos tóxicos, ya que las partículas más pequeñas atraviesan más fácilmente las mucosas que actúan como filtros en el sistema respiratorio.

Para la medición de la fracción másica PM₁₀ y PM_{2.5} en el aire ambiente, la técnica de referencia es la gravimetría según la norma UNE-EN 12341:2015 «Calidad del aire ambiente-método de medición gravimétrico normalizado para la determinación de la concentración másica PM₁₀ o PM_{2.5} de la materia particulada en suspensión».

1.2.4 Óxidos de nitrógeno (NO_x)

El nitrógeno puede reaccionar con el oxígeno para dar lugar a diferentes óxidos, pero los más destacables por su impacto en la calidad del aire son el monóxido (NO), gas incoloro y fuertemente irritante por inhalación, que se oxida rápidamente al aire para formar NO₂; y el dióxido (NO₂), un gas rojo pardo, de olor penetrante y tóxico por inhalación que se forma por oxidación del nitrógeno molecular (N₂). La mayor parte del NO₂ atmosférico se emite en forma de NO, que se oxida rápidamente a NO₂ por la acción de ozono. En la Directiva 2008/50/CE sólo está regulado el NO₂.

Entre las principales fuentes antropogénicas, se pueden destacar la combustión de carbón y combustibles fósiles (derivados del petróleo). Esto es debido a la oxidación del nitrógeno del aire que alimenta la combustión, y también la combustión del nitrógeno orgánico presente en el combustible. Aunque el nitrógeno es un gas inerte, las altas temperaturas alcanzadas durante la combustión reaccionan con pequeñas cantidades de oxígeno para formar óxidos, principalmente monóxido.

Los vehículos y las industrias que utilizan estos procesos térmicos constituyen la principal fuente de emisiones, siendo generalmente los vehículos propulsados por motor diésel los que emiten más óxidos de nitrógeno a igualdad de otros factores técnicos. Las fuentes naturales de NO y NO₂ son los procesos biológicos en los suelos y las tormentas eléctricas.

Los óxidos de nitrógeno causan o agravan las enfermedades respiratorias, siendo el NO₂ unas cuatro veces más tóxico que el NO. Por otra parte, son precursores de la lluvia ácida porque se oxidan en la atmósfera hasta ácido nítrico, HNO₃. Asimismo, contribuyen al desarrollo de episodios de contaminación del aire en zonas urbanas (smog fotoquímico) junto con las partículas en suspensión y los compuestos orgánicos volátiles.

Las concentraciones de NO y NO₂ en el aire ambiente se miden mediante quimioluminiscencia, según el método descrito en la norma UNE-EN 14211:2013 «Calidad del aire ambiente-Método normalizado de medida de la concentración de dióxido de nitrógeno y monóxido de nitrógeno por quimioluminiscencia».

1.2.5 Ozono troposférico (O₃)

El O₃ está formado por tres átomos de oxígeno y es un gas altamente reactivo con un fuerte carácter oxidante. Desde un punto de vista ambiental, es necesario diferenciar ozono estratosférico y ozono troposférico. El ozono estratosférico, de origen natural, absorbe la radiación ultravioleta solar más energética, actuando como capa protectora para los seres vivos susceptibles a ese tipo de radiación; mientras que el ozono troposférico es un contaminante atmosférico secundario. A efectos de la calidad del aire, únicamente es relevante el ozono troposférico, específicamente los niveles que existen a nivel del suelo donde respiran los seres vivos terrestres. Este contaminante no es emitido directamente a la atmósfera, sino que se forma mediante reacciones fotoquímicas a partir de contaminantes primarios. Los principales precursores de ozono son los óxidos de nitrógeno (NO y NO₂), los compuestos orgánicos volátiles, el metano (CH₄) y el monóxido de carbono (CO).

Dado que para la formación de O₃ es necesaria la presencia de luz solar, las concentraciones de ozono presentan pronunciados ciclos diurnos y estacionales. Las mayores concentraciones de O₃ se dan durante los meses de primavera-verano. Durante el día, los valores máximos de O₃ se alcanzan durante la tarde, poco después del mediodía solar, cuando la radiación solar es más alta. Durante la noche, las concentraciones de O₃ disminuyen debido a que los procesos de formación fotoquímica están inactivos, pero siguen operando diferentes reacciones de consumo de O₃. Esta variación diurna depende de la ubicación. Así, en las zonas rurales las concentraciones de O₃ pueden permanecer relativamente altas durante las horas nocturnas.

Debido a su alta reactividad y baja solubilidad, la absorción de O₃ se produce casi exclusivamente por inhalación. En este sentido, existen evidencias experimentales de efectos perjudiciales sobre la salud ante cortas exposiciones a elevadas concentraciones de O₃, que generalmente afectan a la reducción de la capacidad respiratoria y alteración de la función pulmonar. Al igual que otros contaminantes fotoquímicos, el O₃ produce irritación de los ojos, fosas nasales, garganta y bronquios. Además, el ozono troposférico contribuye significativamente al calentamiento global, debido a que es el tercer gas de efecto invernadero antropogénico más importante después del CO₂ y CH₄.

La concentración de ozono se mide mediante un método de absorción de radiación UV. La técnica de referencia para la medición de ozono se describe en la norma UNE-EN 14625:2013 «Calidad del aire ambiente-método normalizado de medida de la concentración de ozono por fotometría ultravioleta».

1.2.6 Compuestos orgánicos volátiles (COV)

Los COVs son hidrocarburos que o bien son gaseosos a temperatura ambiente o bien son muy volátiles a esa temperatura. Suelen tener una cadena con un número de carbonos inferior a doce, y a veces contienen además de C y H otros elementos como oxígeno, flúor, cloro, bromo, azufre o nitrógeno. Su número supera el millar, pero los más comunes en el aire son el metano, el tolueno, el xileno, el n-butano, el i-pentano, el etano, el benceno, el n-pentano, el propano y el etileno. El benceno es el único que está regulado por la Directiva 2088/50/CE.

Los COVs pueden ser de origen natural (COVs biogénicos) y antropogénicos (derivados de la evaporación de disolventes orgánicos, combustión de combustibles, transporte, etc.). Todos ellos participan activamente en muchas reacciones en la troposfera y la estratosfera, contribuyendo a la formación de smog fotoquímico y al efecto invernadero. También son precursores del ozono troposférico.

Se obtienen principalmente del petróleo y el carbón, pero también se forman cuando se queman y descomponen sustancias orgánicas como la madera.

Los más representativos que se monitorizan en REPICA son el benceno, tolueno y xileno.

El benceno (C₆H₆) es un hidrocarburo cíclico, derivado del petróleo, constituido por una estructura de seis átomos de carbono, en la que cada átomo de carbono está unido a un átomo de hidrógeno. El tolueno (C₆H₅ – CH₃) se obtiene al sustituir un átomo de hidrógeno del benceno

por un grupo metilo (CH_3). El xileno ($\text{C}_6\text{H}_4 - (\text{CH}_3)_2$) se obtiene sustituyendo un segundo átomo de hidrógeno del benceno. .

El benceno es un compuesto clasificado como carcinógeno del Grupo 1 por la Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer, lo que significa que existe evidencia científica suficiente para demostrar una asociación positiva entre la exposición al C_6H_6 y el desarrollo de cáncer. En particular, se ha encontrado que los trabajadores expuestos al benceno tienen un mayor riesgo de leucemia aguda que la población general. También se sabe que el benceno tiene efectos hematológicos, inmunológicos y del sistema nervioso central.

La exposición a tolueno, ya sea por exposición aguda o crónica, afecta directamente al sistema nervioso central. Algunos de los síntomas que pueden aparecer son fatiga, somnolencia, dolor de cabeza y náuseas. La exposición a largo plazo al tolueno puede causar irritación crónica de las vías respiratorias superiores, irritación de los ojos, náuseas, dolor de cabeza y dificultad para dormir.

La exposición al xileno suele ocurrir normalmente en personas que están expuestas a este contaminante por motivos laborales. La exposición a altas concentraciones de xileno causa irritación en los ojos, enrojecimiento de la piel y dificultades respiratorias. Además puede causar efectos adversos en el feto.

La concentración de benceno, tolueno y xileno en el aire se miden mediante cromatografía de gases. El método de referencia para la medición de benceno es el que se describe en la norma UNE-EN 14662:2016 "Calidad del aire ambiente. Método normalizado de medida de las concentraciones de benceno".

1.2.7 Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP)

Los HAP son compuestos químicos semivolátiles que constan de anillos de benceno fusionados. Se obtienen principalmente del petróleo y el carbón, pero también se forman cuando se queman y descomponen sustancias orgánicas como la madera.

Un indicador de la presencia de los HAP en la atmósfera es el benzo(a)pireno (BaP), compuesto formado por cinco anillos de benceno. El BaP es el único HAP que está regulado en la Directiva 2008/50/CE. El BaP es carcinógeno para los humanos según la Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer.

El método de referencia para la medición de las concentraciones de benzo(a)pireno en el aire ambiente es el que se describe en la norma UNE-EN 15549:2008 «Calidad del aire. Método normalizado para la medición de la concentración de benzo(a)pireno en el aire ambiente».

1.2.8 Metales Pesados

Aunque la definición estricta de “metal pesado” se refiere a elementos que en estado metálico sólido tienen una alta densidad, bajo la denominación de metales pesados se engloban coloquialmente elementos químicos que son potencialmente tóxicos (muchos de ellos pertenecientes de forma estricta a la categoría). En las muestras de material particulado atmosférico, se analizan el plomo (Pb), el cadmio (Cd), el arsénico (As) y el níquel (Ni), cuyos contenidos en la fracción PM₁₀ están regulados por la Directiva 2008/50/CE.

Los metales pesados se encuentran naturalmente en la corteza terrestre, desde donde pueden ser liberados a la atmósfera por causas naturales o antropogénicas, principalmente actividades mineras y procesos industriales utilizados para fabricar muchos productos de uso habitual.

La exposición a metales pesados provoca una variedad de efectos en la salud, desde trastornos leves hasta enfermedades graves. Por ejemplo, la exposición al Pb es particularmente peligrosa para los niños y los fetos en desarrollo, causando problemas tales como nacimientos prematuros, enanismo, discapacidad intelectual y problemas de aprendizaje.

Los metales pesados no se degradan en el medio ambiente, por lo que las emisiones continuas conducen a que sus niveles aumenten gradualmente en las muestras ambientales.

Las concentraciones de metales pesados en el aire ambiente se determinan a partir de muestras de PM. El método estándar de medida es el descrito en la norma UNE-EN 14902:2006 "Calidad del aire ambiente - Método normalizado de medida de Pb, Cd, As y Ni en PM₁₀ de polvo fino en forma de suspensión".

2 Normativa

La normativa en materia de contaminación atmosférica y calidad del aire comprende las disposiciones legales vigentes a nivel de la Unión Europea, el Gobierno de España y la Comunidad Autónoma de Extremadura.

2.1 Normas específicas en vigor

En el año 2007 se publicó la Ley 34/2007 de Calidad del Aire y Protección de la Atmósfera, que constituye una norma básica de acuerdo con las exigencias del actual ordenamiento jurídico y administrativo. Se trata de una norma inspirada en los principios, enfoques y directrices que definen y orientan la vigente política ambiental y de protección atmosférica en el ámbito de la Unión Europea. Así, da cabida a los planteamientos y requisitos técnicos exigibles en materia de contaminación atmosférica tanto a nivel comunitario como internacional.

En el año 2008, y teniendo en cuenta el gran volumen de conocimiento generado sobre las características y efectos de la contaminación atmosférica, el Parlamento y el Consejo Europeos aprobaron la Directiva 2008/50/CE relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa, (DOUE de 11 de junio), que incorpora entre otros requerimientos el control de la fracción PM_{2.5} del material particulado atmosférico, adicionalmente al control del PM₁₀. La transposición de esta Directiva a la legislación española se ha efectuado a través del Real Decreto 102/2011 de 28 de enero relativo a la mejora de la calidad del aire, unificando toda la legislación sobre la materia en un solo Real Decreto. Este ha sido modificado por el Real Decreto 678/2014 y más recientemente por el Real Decreto 39/2017.

El Real Decreto 678/2014 modifica el Real Decreto 102/2011 mediante una disposición transitoria, a través de la cual establece la concentración media de sulfuro de carbono que no debe superarse en veinticuatro horas. Por su parte, el Real Decreto 39/2017 incorpora al derecho nacional la Directiva 2015/1480, que establece las normas relativas a los métodos de referencia, la validación de datos y la ubicación de los puntos de muestreo para la evaluación de la calidad del aire ambiente, e incorpora los nuevos requisitos de intercambio de información establecidos en la Decisión 2011/850/UE.

Además, este último Real Decreto preveía la aprobación de un Índice Nacional de Calidad del Aire para informar a la ciudadanía, de una manera clara y homogénea en todo el país, sobre la calidad del aire que se respira en cada momento; dicho índice se aprobó mediante la Orden TEC/351/2019 cuyo Anexo se ha modificado por resolución de 2 de noviembre de 2020.

A nivel autonómico, la Red Extremeña de Protección e Investigación de la Calidad del Aire (REPICA) está regulada por la Ley 16/2015 de Protección Ambiental de la Comunidad Autónoma de Extremadura, que incorpora en su Título II la protección de la atmósfera. Su capítulo primero establece las disposiciones aplicables en materia de calidad del aire en la Comunidad Autónoma de Extremadura, adaptando sus previsiones a lo dispuesto en la Ley 34/2007, de 15 de noviembre, de Calidad del Aire y Protección de la Atmósfera.

2.2 Valores, niveles y umbrales

La legislación vigente detallada en el apartado anterior establece unos niveles de concentración de los diferentes contaminantes atmosféricos expresados como valores de inmisión, que no deben ser superados. Los valores legislativos se han establecido en función del conocimiento científico, con el objeto de evitar, prevenir o reducir los efectos nocivos para la salud humana y para el medio ambiente en su conjunto.

Para comprender la terminología empleada en este informe en materia de calidad del aire, se incluyen a continuación los términos más importantes recogidos en el Real Decreto 102/2011 y en la Directiva 2008/50/CE:

- **Aire ambiente:** el aire exterior de la baja troposfera, excluidos los lugares de trabajo.
- **Contaminante:** cualquier sustancia presente en el aire ambiente que pueda tener efectos nocivos sobre la salud humana el medio ambiente en su conjunto y demás bienes de cualquier naturaleza.
- **Nivel:** la concentración de un contaminante en el aire ambiente, o su depósito en superficie, en un momento determinado.
- **Evaluación:** cualquier método utilizado para medir, calcular, predecir o estimar el nivel de un contaminante en el aire ambiente o sus efectos.
- **Valor límite:** un nivel establecido basándose en conocimientos científicos, que debe alcanzarse en un período determinado y no superarse una vez alcanzado, con el fin de evitar, prevenir o reducir los efectos nocivos para la salud humana, el medio ambiente en su conjunto, y demás bienes de cualquier naturaleza.
- **Margen de tolerancia:** porcentaje del valor límite o cantidad en que éste puede sobrepasarse con arreglo a las condiciones establecidas.
- **Nivel crítico:** nivel establecido con arreglo a conocimientos científicos por encima del cual pueden producirse efectos nocivos para algunos receptores como las plantas, árboles o ecosistemas naturales, pero no para el hombre.
- **Valor objetivo:** nivel de un contaminante que deberá alcanzarse, en la medida de lo posible, en un momento determinado para evitar, prevenir o reducir los efectos nocivos sobre la salud humana, el medio ambiente en su conjunto y demás bienes de cualquier naturaleza.
- **Objetivo a largo plazo:** nivel de un contaminante que debe alcanzarse a largo plazo, salvo cuando ello no sea posible con el uso de medidas proporcionadas, con el objetivo de proteger eficazmente la salud humana, el medio ambiente en su conjunto y demás bienes de cualquier naturaleza.
- **Umbral de información:** nivel de un contaminante a partir del cual una exposición de breve duración supone un riesgo para la salud humana de los grupos de población especialmente vulnerables, y las Administraciones competentes deben suministrar una información inmediata y apropiada.
- **Umbral de alerta:** un nivel a partir del cual una exposición de breve duración supone un riesgo para la salud humana que afecta al conjunto de la población y requiere la adopción de medidas inmediatas por parte de las Administraciones competentes.

- **Umbral superior de evaluación:** el nivel por debajo del cual puede utilizarse una combinación de mediciones fijas y técnicas de modelización y/o mediciones indicativas para evaluar la calidad del aire ambiente.
- **Umbral inferior de evaluación:** el nivel por debajo del cual es posible limitarse al empleo de técnicas de modelización para evaluar la calidad del aire ambiente.
- **Mediciones fijas:** las mediciones de contaminantes realizadas en lugares fijos, ya sea de forma continua o aleatoria, siendo el número de mediciones suficiente para determinar los niveles observados de conformidad con los objetivos de calidad de los datos.
- **Mediciones indicativas:** mediciones cuyos objetivos de calidad de los datos en cuanto a cobertura temporal mínima son menos estrictos que los exigidos para las mediciones fijas.

Sistema de evaluación de la calidad del aire

La normativa establece que la evaluación de la calidad del aire ambiente se realizará, dependiendo del nivel de los contaminantes con respecto a los umbrales a los que se refiere el anexo II del Real Decreto 102/2011, con alguna de las siguientes metodologías:

- Mediciones fijas.
- Técnicas de modelización.
- Campañas de mediciones representativas.
- Mediciones indicativas o investigaciones.
- Una combinación de todos o algunos de estos métodos.

Según la normativa, será obligatorio efectuar mediciones de la calidad del aire en lugares fijos en las zonas y aglomeraciones donde los niveles superen los umbrales superiores de evaluación establecidos en el anexo II.

En aquellas zonas y aglomeraciones donde el nivel de contaminantes se sitúe por debajo del umbral inferior de evaluación establecido para esos contaminantes, será suficiente con utilizar técnicas de modelización para la evaluación de la calidad del aire ambiente.

Estos umbrales indicados no son una medida de la concentración de los contaminantes, sino que se utilizan exclusivamente para establecer el modelo de evaluación de la calidad del aire. La concentración se establece, para cada uno de ellos, por criterios de valor límites, valor objetivo, umbral de información y umbral de alerta.

A continuación, (tablas 3.1 a la 3.10) se indican los umbrales superior e inferior de evaluación para cada uno de los contaminantes regulados.

Tabla 2.1. Umbral superior e inferior de evaluación para el dióxido de azufre (SO₂)

	Protección de la salud	Protección de la vegetación
Umbral superior de evaluación	60% del valor límite diario (75 µg/m ³ que no podrá superarse en más de 3 ocasiones por año civil)	60% del nivel crítico de invierno (12 µg/m ³)
Umbral inferior de evaluación	40% del valor límite diario (50 µg/m ³ que no podrá superarse en más de 3 ocasiones por año civil)	40% del nivel crítico de invierno (8 µg/m ³)

Tabla 2.2. Umbral superior e inferior de evaluación para dióxido de nitrógeno (NO₂) y óxidos de nitrógeno (NO_x).

	Valor límite horario para la protección de la salud humana (NO₂)	Valor límite anual para la protección de la salud humana (NO₂)	Nivel crítico anual para la protección de la vegetación y los ecosistemas (NO_x)
Umbral superior de evaluación	70% del valor límite (140 µg/m ³ que no podrá superarse en más de 18 ocasiones por año civil)	80% del valor límite (32 µg/m ³)	80% del nivel crítico (24 µg/m ³), expresado como NO ₂
Umbral inferior de evaluación	50% del valor límite (100 µg/m ³ que no podrá superarse en más de 18 ocasiones por año civil)	65% del valor límite (26 µg/m ³)	65% del nivel crítico (19.5 µg/m ³), expresado como NO ₂

Tabla 2.3. Umbral superior e inferior de evaluación para material particulado (PM₁₀ y PM_{2,5}).

	Media diaria PM₁₀	Media anual PM₁₀	Media anual PM_{2,5}
Umbral superior de evaluación	70% del valor límite (35 µg/m ³ que no podrá superarse en más de 35 ocasiones por año civil)	70% del valor límite (28 µg/m ³)	70% del valor límite (17 µg/m ³)
Umbral inferior de evaluación	70% del valor límite (25 µg/m ³ que no podrá superarse en más de 35 ocasiones por año civil)	50% del valor límite (20 µg/m ³)	50% del valor límite (12 µg/m ³)

Tabla 2.4. Umbral superior e inferior de evaluación para monóxido de carbono (CO).

Promedio de períodos de ocho horas	
Umbral superior de evaluación	70% del valor límite (7 mg/m ³)
Umbral inferior de evaluación	50% del valor límite (5 mg/m ³)

Tabla 2.5. Umbral superior e inferior de evaluación para plomo (Pb).

Media anual	
Umbral superior de evaluación	70% del valor límite (0,35 µg/m ³)
Umbral inferior de evaluación	50% del valor límite (0,25 µg/m ³)

Tabla 2.6. Umbral superior e inferior de evaluación para benceno (C₆H₆).

Media anual	
Umbral superior de evaluación	70% del valor límite (3,5 µg/m ³)
Umbral inferior de evaluación	40% del valor límite (2 µg/m ³)

Arsénico (As):**Tabla 2.7.** Umbral superior e inferior de evaluación para arsénico (As).

Media anual	
Umbral superior de evaluación	60% del valor objetivo (3,6 ng/m ³)
Umbral inferior de evaluación	40% del valor objetivo (2,4 ng/m ³)

Cadmio (Cd):**Tabla 2.8.** Umbral superior e inferior de evaluación para cadmio (Cd).

Media anual	
Umbral superior de evaluación	60% del valor objetivo (3 ng/m ³)
Umbral inferior de evaluación	40% del valor objetivo (2 ng/m ³)

Níquel (Ni):**Tabla 2.9.** Umbral superior e inferior de evaluación para níquel (Ni).

Media anual	
Umbral superior de evaluación	70% del valor objetivo (14 ng/m ³)
Umbral inferior de evaluación	50% del valor objetivo (10 ng/m ³)

Benzo(a)pireno (C₂₀H₁₂):**Tabla 2.10.** Umbral superior e inferior de evaluación para benzo(a)pireno (BaP).

Media anual	
Umbral superior de evaluación	60% del valor objetivo (0,6 ng/m ³)
Umbral inferior de evaluación	40% del valor objetivo (0,4 ng/m ³)

2.3 Niveles de concentración de los contaminantes regulados por la legislación

En un capítulo posterior, se analizaron los niveles de los diferentes contaminantes obtenidos en las estaciones de medida de la red REPICA, realizando una comparativa frente a los objetivos de calidad del aire establecidos por la normativa actual en materia de calidad del aire. Como base para dicho análisis, se presentan a continuación, para cada uno de los parámetros evaluados, los valores límite de inmisión que se establecen en la Directiva 2008/50/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 21 de mayo de 2008 relativa a la calidad del aire y a una atmósfera más limpia en Europa, así como en el Real Decreto 1073/2002, de 18 de octubre, sobre evaluación y gestión de la calidad del aire ambiente en relación con el dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, óxidos de nitrógeno, partículas, plomo, benceno y monóxido de carbono (tablas 3.12 a 3.20).

Tabla 2.11. Métodos de referencia para la evaluación de los niveles de los contaminantes.

Contaminante evaluado	Metodología de referencia	Principio del método	Equipamiento empleado
Partículas en suspensión PM ₁₀ y PM _{2,5}	Norma UNE-EN-16450:2017	Análisis en continuo de las partículas por lectura mediante dispersión láser	Analizador automático en continuo
Partículas en suspensión PM ₁₀ y PM _{2,5}	Norma EN-12341:2015	Método de medición gravimétrico normalizado para la determinación de la concentración másica PM ₁₀ o PM _{2,5} de la materia particulada en suspensión	Captador automático
Dióxido de azufre	Norma EN-14212:2013 Método IDO/FDIS 10498	Determinación en continuo del SO ₂ con un analizador por fluorescencia ultravioleta	Analizador automático en continuo
Óxidos de nitrógeno	Norma EN-14211:2013	Determinación en continuo de NO, NO ₂ y NO _x con un analizador por quimioluminiscencia	Analizador automático en continuo
Ozono	Norma EN-14625:2013	Determinación por fotometría ultravioleta	Analizador automático en continuo
Monóxido de carbono	Norma EN-14626:2013	Espectroscopía infrarroja no dispersiva (IRND), empleándose un analizador por infrarrojo no dispersivo con correlación de filtro de gas	Analizador automático en continuo
BEN	Norma EN-14662:2016, partes 1,2,3	Cromatografía de gases	Analizador automático en continuo

Tabla 2.12. Valores límite para la protección de la salud, nivel crítico para la protección de la vegetación y umbral de alerta de SO_2 , según Directiva 2008/50 y Real Decreto 102/2011.

	Periodo de promedio	Valor límite (VL)	Fecha de cumplimiento del VL
1. Valor límite horario	1 hora	350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (no podrá superarse en más de 24 ocasiones por año civil)	En vigor desde 1 de enero de 2005
2. Valor límite diario	24 horas	125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (no podrá superarse en más de 3 ocasiones por año civil)	En vigor desde 1 de enero de 2005
3. Nivel crítico	Año civil e invierno (del 1 octubre al 31 de marzo)	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	En vigor desde 11 de junio de 2008
Umbral de alerta	500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (se considerará superado cuando durante tres horas consecutivas se exceda dicho valor cada hora)		

Tabla 2.13. Valores límite del dióxido de nitrógeno (NO_2) para la protección de la salud, nivel crítico de los óxidos de nitrógeno (NO_x) para la protección de la vegetación y umbral de alerta de SO_2 , según Directiva 2008/50 y Real Decreto 102/2011.

	Período de promedio	Valor límite (VL)	Fecha de cumplimiento del VL
1. Valor límite horario	1 hora	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (no podrá superarse en más de 18 ocasiones por año civil)	1 de enero de 2010
2. Valor límite anual	1 año civil	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de NO_2	1 de enero de 2010
3. Nivel crítico	1 año civil	30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de NO_x (expresado como NO_2)	En vigor desde el 11 de junio de 2008
Umbral de alerta	400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (se considerará superado cuando durante tres horas consecutivas se exceda dicho valor cada hora)		

Tabla 2.14. Valores límite de las partículas PM10 en condiciones ambientales para la protección de la salud, según Directiva 2008/50 y Real Decreto 102/2011.

	Período de promedio	Valor límite (VL)	Fecha de cumplimiento del VL
1. Valor límite diario	24 horas	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (no podrá superarse en más de 35 ocasiones por año civil)	En vigor desde 1 de enero de 2005
2. Valor límite anual	1 año civil	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	En vigor desde 1 de enero de 2005

Tabla 2.15. Valores límite de las partículas PM2.5 en condiciones ambientales para la protección de la salud, según Directiva 2008/50 y Real Decreto 102/2011.

	Período de promedio	Valor	Fecha de cumplimiento
Valor objetivo anual	1 año civil	25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	En vigor desde 1 enero de 2010
Valor límite anual (Fase I)	1 año civil	25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	1 de enero de 2015
Valor Límite anual (Fase II)	1 año civil	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	1 de enero de 2020

Tabla 2.16. Valor límite del monóxido de carbono (CO) para la protección de la salud, según Directiva 2008/50 y Real Decreto 102/2011.

	Periodo de promedio	Valor límite (VL)	Fecha de cumplimiento del VL
Valor límite	Máxima diaria de las medias móviles octohorarias*	10 mg/m^3	En vigor desde 1 enero de 2005

*La concentración máxima diaria de las medias móviles octohorarias se determinará examinando las medias octohorarias móviles, calculadas a partir de los datos horarios y actualizadas cada hora. Cada media octohoraria calculada de ese modo se asignará al día en que concluya; dicho de otro modo, el primer periodo utilizado para el cálculo en cualquier día será el comprendido entre las 17:00 horas de la víspera y la 1:00 hora de ese día, y el último periodo utilizado para cualquier día será el comprendido entre las 16:00 y las 24:00 horas de ese día. (Anexo XI Directiva 2008/50).

Tabla 2.17. Valor límite del benceno (C_6H_6) para la protección de la salud, según Directiva 2008/50 y Real Decreto 102/2011.

	Periodo de promedio	Valor límite (VL)	Fecha en la que debe alcanzarse
Valor límite	Máxima diaria de las medias móviles octohorarias*	10 mg/m ³	Debe alcanzarse el 1 enero de 2010

Tabla 2.18. Valor límite del plomo (Pb) en condiciones ambientales para la protección de la salud, según Directiva 2008/50 y Real Decreto 102/2011.

	Periodo de promedio	Valor límite (VL)	Fecha cumplimiento
Valor límite anual	1 año civil	0,5 µg/m ³	En vigor desde 1 de enero de 2005

Tabla 2.19. Valores objetivo, objetivos a largo plazo y umbrales de información y alerta relativos al ozono (O_3) troposférico.

Objetivo	Periodo de promedio	Valor	Fecha cumplimiento
1. Valor objetivo para la protección de la salud humana	Máxima diaria de las medias móviles octohorarias (1)	120 µg/m ³ (no deberá superarse más de 25 días por cada año civil de promedio en un período de 3 años(2))	1 de enero de 2010 (3)
2. Valor objetivo para la protección de la vegetación	AOT40, calculado a partir de valores horarios de mayo a julio	18000 µg/m ³ × h de promedio en un período de 5 años (2)	1 de enero de 2010 (3)
3. Objetivo a largo plazo para la protección de la salud humana	Máxima diaria de las medias móviles octohorarias en un año civil	120 µg/m ³	No definida
4. Objetivo a largo plazo para la protección de la vegetación	AOT40, calculado a partir de valores horarios de mayo a julio	6000 µg/m ³ × h	No definida

Objetivo	Periodo de promedio	Valor	Fecha cumplimiento
5. Umbral de información	Promedio horario	180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
6. Umbral de alerta	Promedio horario	240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (debe medirse durante 3 horas consecutivas)	

(1) El máximo de las medias móviles octohorarias del día deberá seleccionarse examinando promedios móviles de ocho horas, calculados a partir de datos horarios y actualizados cada hora. Cada promedio octohorario así calculado se asignará al día en que dicho promedio termina, es decir, el primer período de cálculo para un día cualquiera será el período a partir de las 17:00 h del día anterior hasta la 1:00 h de dicho día; el último período de cálculo para un día cualquiera será el período a partir de las 16:00 h hasta las 24:00 h de dicho día.

(2) Si las medias de tres o cinco años no pueden determinarse a partir de una serie completa y consecutiva de datos anuales, los datos anuales mínimos necesarios para verificar el cumplimiento de los valores objetivo serán los siguientes:

- Para el valor objetivo relativo a la protección de la salud humana: datos válidos correspondientes a un año.
- Para el valor objetivo relativo a la protección de la vegetación: datos válidos correspondientes a tres años.

(3) El cumplimiento de los valores objetivo se verificará a partir de esta fecha. Es decir, los datos correspondientes al año 2010 serán los primeros que se utilizarán para verificar el cumplimiento en los tres o cinco años siguientes, según el caso.

Tabla 2.20. Valores objetivo para el arsénico (As), cadmio (Cd), níquel (Ni) y benzo(a)pireno (BaP) en condiciones ambientales para la protección de la salud, según Directiva 2008/50 y Real Decreto 102/2011.

Contaminante	Valor objetivo (1)	Fecha cumplimiento
Arsénico (As)	6 ng/m^3	1 de enero de 2013
Cadmio (Cd)	5 ng/m^3	1 de enero de 2013
Níquel (Ni)	20 ng/m^3	1 de enero de 2013
Benzo(a)pireno (BaP)	1 ng/m^3	1 de enero de 2013

(1) Niveles en aire ambiente en la fracción PM10 como promedio durante un año natural

3 Estructura de la Red

La red REPICA está compuesta por:

- Seis unidades fijas, para la monitorización continua de la calidad del aire. Cinco están ubicadas en entornos urbanos (Badajoz, Cáceres, Mérida, Zafra y Plasencia) y una en entorno rural (Parque Nacional de Monfragüe).
- Una unidad móvil con las mismas características técnicas que las unidades fijas, para permitir la monitorización de la calidad del aire en otras poblaciones o entornos rurales de Extremadura mediante campañas periódicas.
- Un centro de proceso de datos, para la gestión de la información.
- Dos Laboratorios analíticos:
 - Laboratorio de Calidad Ambiental en la Consejería para la Transición Ecológica y Sostenibilidad (Mérida).
 - Laboratorio del Departamento de Química Analítica de la Universidad de Extremadura (campus universitario de Badajoz), mediante un Convenio de colaboración entre la Universidad y la Junta de Extremadura.

El funcionamiento normal de la red (Figura 4.1) sigue las siguientes pautas:

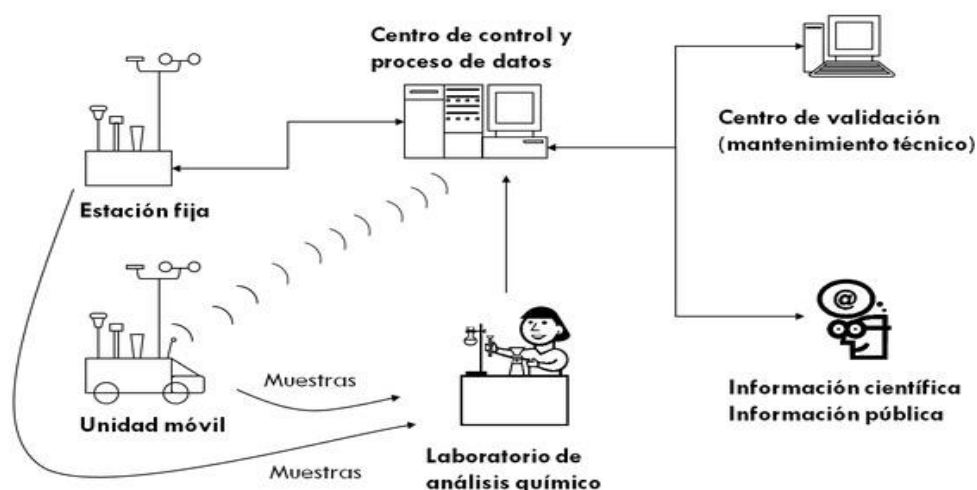


Figura 3.1. Funcionamiento de la red de vigilancia REPICA

- Las unidades de vigilancia atmosférica monitorizan los parámetros de calidad del aire mediante analizadores que funcionan en continuo. Las muestras de material en suspensión se trasladan a la Universidad de Extremadura (Departamento de Química Analítica) para su análisis.

- Los datos analíticos se almacenan en el ordenador de las unidades y son enviados por vía telemática al centro de proceso de datos.
- Una vez validado los datos, el equipo de investigadores de REPICA efectúa la interpretación de los mismos.
- Los informes de calidad del aire se transmiten a la población (vía internet y otros medios de comunicación).

3.1 Objetivos de la red REPICA

- Evaluar la calidad del aire, a partir de la medida de parámetros meteorológicos y físico-químicos.
- Informar a la población sobre el estado de calidad del aire.
- Mantener un sistema de alerta y reacción ante potenciales episodios de contaminación atmosférica.
- Prevenir evoluciones negativas del estado de calidad del aire.
- Investigar las tendencias del estado de calidad de la atmósfera en nuestro entorno regional, en función de la evolución temporal y espacial de los parámetros en estudio.
- Desarrollar programas de educación y divulgación ambiental dirigidos fundamentalmente a alumnos de la UEX y de Enseñanza Secundaria, pero también a la sociedad en general.

3.2 Parámetros que se miden en la red REPICA

En las unidades de vigilancia de la calidad del aire de la red REPICA se miden tanto parámetros meteorológicos como contaminantes atmosféricos.

Los parámetros de calidad del aire que se monitorizan en la red REPICA son:

- Dióxido de azufre.
- Óxidos de nitrógeno (NO, NO₂ y NO_x).
- Ozono.
- Monóxido de carbono.
- Partículas en suspensión (PM₁₀ y PM_{2.5}).
- Compuestos orgánicos volátiles (benceno, tolueno y xileno).
- Metales pesados (Pb, As, Cd y Ni).
- Hidrocarburos aromáticos policíclicos (BaP).

Los parámetros meteorológicos que se miden son:

- Temperatura.
- Humedad relativa.
- Presión atmosférica.
- Irradiación solar.
- Lluvia.
- Velocidad del viento.
- Dirección del viento.

3.3 Unidades Fijas

Todas las unidades fijas están equipadas con analizadores, sistemas de adquisición y transmisión de datos, accesorios para calibración, y estación meteorológica.

La unidad de Badajoz se encuentra ubicada en las instalaciones deportivas del Campus Universitario de Badajoz (Av. de Elvas, s/n), Figura 4.2. Esta unidad está considerada como estación suburbana de fondo.

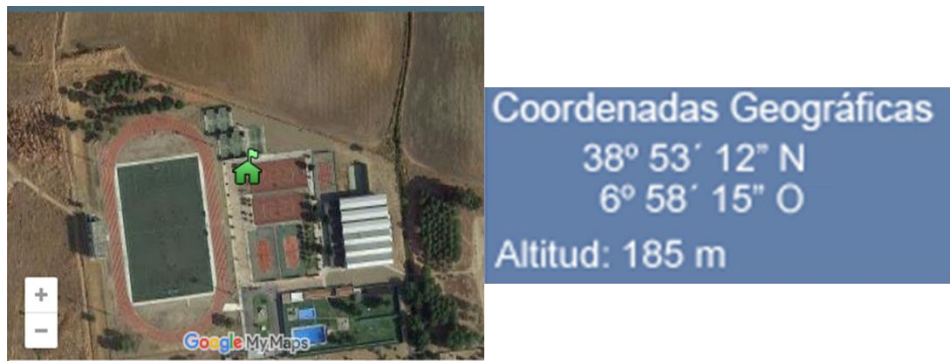


Figura 3.2. Ubicación de la unidad de vigilancia de Badajoz.

La unidad de Cáceres se encuentra ubicada en el Campus Universitario (carretera de Trujillo), junto a las instalaciones de la Facultad de Ciencias del Deporte, Figura 4.3. Esta unidad está considerada como estación suburbana de fondo.



Figura 3.3. Ubicación de la unidad de vigilancia de Cáceres.

La unidad de Mérida está ubicada dentro de las instalaciones del Centro Universitario (C/ Sta Teresa de Jornet, 38), Figura 4.4. Esta unidad está considerada como estación suburbana de fondo.



Figura 3.4. Ubicación de la unidad de vigilancia de Mérida.

La unidad de Plasencia, clasificada como estación suburbana de fondo, se encuentra ubicada dentro de las instalaciones del Instituto de Enseñanza Secundaria Virgen del Puerto (C/ Francisco Paniagua Loaisa, s/n), Figura 4.5.



Figura 3.5. Ubicación de la unidad de vigilancia de Plasencia.

La unidad de Zafra, ubicada en el Polígono Industrial “Los Caños” (Figura 4.6), está considerada como estación suburbana de fondo.



Figura 3.6. Ubicación de la unidad de vigilancia de Zafra.

La unidad de Monfragüe se encuentra ubicada en la Finca “Las Cansinas” en el Parque Nacional de Monfragüe (Figura 4.7). Esta estación está considerada como estación de fondo regional, y es utilizada como estación de referencia del Programa Europeo de Seguimiento y Evaluación (EMEP) sobre material particulado.



Figura 3.7. Ubicación de unidad de vigilancia del Parque Nacional de Monfragüe.

En la Figura 4.8 se muestra la imagen de las diferentes unidades fijas de la red REPICA.



Figura 3.8. Unidades fijas de la red REPICA. (A) Badajoz, (B) Cáceres, (C) Mérida, (D) Plasencia, (E) Zafra, (F) Parque Nacional de Monfragüe

3.4 Unidad Móvil

La red REPCA también tiene una unidad móvil de vigilancia atmosférica, con las mismas características técnicas que las unidades fijas, para permitir la monitorización de aire en otras localidades o entornos rurales de la región.



Figura 3.9. Unidad móvil de la Red REPCA

3.5 Equipamiento de la red

Las unidades que conforman la Red REPCA cuentan con el siguiente equipamiento:

- Analizadores de fluorescencia molecular para evaluar la concentración de dióxido de azufre (SO₂).
- Analizador de quimioluminiscencia para evaluar la concentración de óxidos de nitrógeno (NOX, NO₂, NO).
- Analizadores de absorción infrarroja para evaluar la concentración de monóxido de carbono (CO).
- Analizadores de absorción molecular de ultravioleta (UV) para evaluar la concentración de ozono (O₃).
- Cromatógrafos de gases para evaluar la concentración de Benceno, Tolueno y Xileno (BTX).
- Espectrómetros de dispersión láser automáticos para evaluar la concentración de PM₁₀, PM_{2.5} y PM₁. Marca Grimm. (Badajoz, Cáceres, Monfragüe, Plasencia y Unidades Móviles).
- Monitores de Tecnología de Microbalanza Oscilante (TEOM) para evaluar la concentración de PM₁₀, PM_{2.5} y PM₁. (Mérida y Zafra).
- Captador automático de alto volumen para la captación de material particulado atmosférico en suspensión, Digitel (Digitel Elektronik AG, Hegnau, Suiza) modelo DAH-80, operando con un flujo de aire de 30 m³/h y un cabezal de corte para PM₁₀ o PM_{2,5}.

Los equipos utilizados para medir los diferentes parámetros meteorológicos son:

- Sensor de temperatura y humedad relativa marca VAISALA, modelo TH-010.
- Sensor de presión atmosférica marca SIR, modelo PB-100.
- Anemómetro y veleta, marca RM-YOUNG, modelo 3002.
- Medidor de la radiación solar marca SKYE, modelo 1110.
- Pluviómetro, marca RM-YOUNG, modelo 52203.

4 Resultados

4.1 Monóxido de carbono (CO)

En la Tabla 5.1 se presenta el porcentaje de datos válidos para la monitorización de CO, indicándose si se ha superado el valor límite para la protección de la salud humana (10 mg/m^3), obtenido como el máximo diario de las medias octohorarias. Como puede observarse, no se ha superado el valor límite en ninguna estación de la red REPICA.

Tabla 4.1. Porcentaje de muestras válidas para el promedio anual de concentración de CO. Información sobre superación del valor límite legal.

Estación	% Datos válidos	Sup. VL
Badajoz	95,3	No
Cáceres	99,3	No
Mérida	97,9	No
Monfragüe	99,1	No
Plasencia	93,0	No
Zafra	98,4	No

En la Figura 5.1 se muestra la distribución de las medias octohorarias de CO obtenidas en las distintas estaciones. Como se puede observar, los niveles máximos se registran en las estaciones de Mérida y Zafra, en las que existe una mayor variabilidad de los datos. Además, todas las estaciones presentan niveles del contaminante bastante inferiores al valor límite fijado por la legislación para la protección de la salud humana, por lo que Extremadura CUMPLE con los límites legales establecidos para el CO.

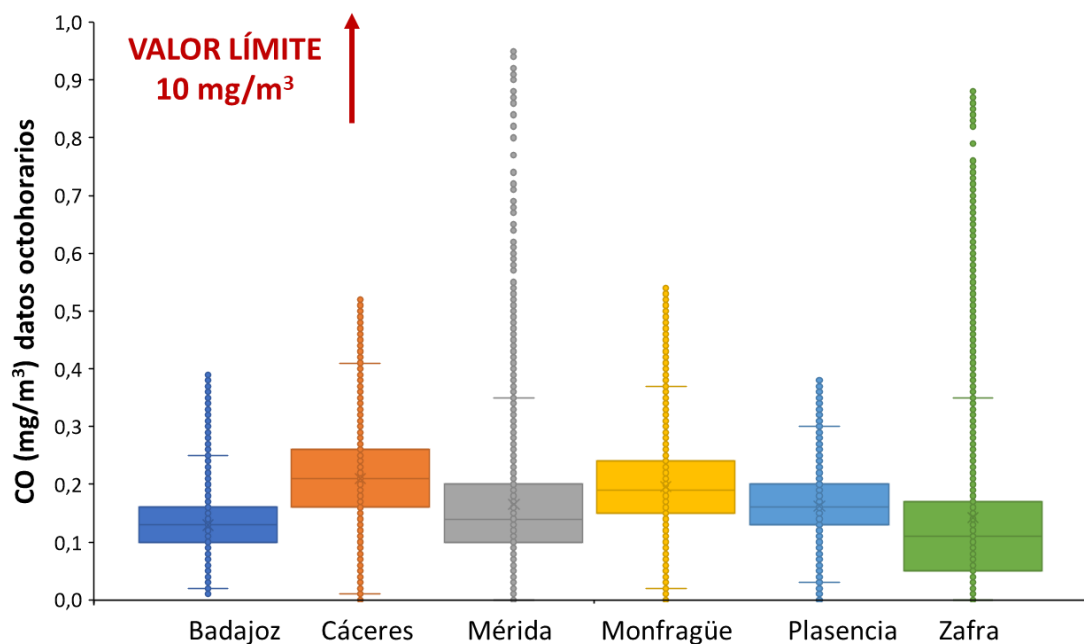


Figura 4.1. Evaluación del cumplimiento del VL octohorario (10 mg/m³) de CO en las distintas ubicaciones.

4.2 Dióxido de azufre (SO₂)

La Tabla 5.2 presenta el promedio anual de las medias horarias de concentraciones de SO₂ medidas en cada estación de la red REPICA y el porcentaje de datos válidos, indicándose también si se ha superado el valor límite para la protección de la salud humana, tanto el horario (350 µg/m³) como el diario (125 µg/m³). Los promedios anuales de las medias horarias registradas para el contaminante son muy bajos, no superándose el valor límite en ninguna estación de la red. La media anual más elevada se obtuvo en la estación de Mérida.

Tabla 4.2. Porcentaje de muestras válidas para el cálculo del promedio anual de concentración de SO₂. Número de superaciones del valor límite legal horario (350 µg/m³) y diario (125 µg/m³).

Estación	% Datos válidos	Promedio anual de medias horarias (µg/m ³)	Número de Sup. VL horario	Número de Sup. VL diario
Badajoz	95,40	0,7	0	0
Cáceres	99,29	0,7	0	0
Mérida	14,74	1,3	0	0
Monfragüe	96,35	0,8	0	0
Plasencia	0,00	0,0	0	0
Zafra	98,06	0,2	0	0

En la Figura 5.2 se muestra la distribución de las medias horarias de SO₂ obtenidas en las distintas estaciones. Se observa que los niveles máximos se registran en la estación de Mérida, en la que se obtiene una mayor variabilidad de los datos. En todo caso, todas las estaciones presentan niveles del contaminante muy inferiores al valor límite horario (350 µg/m³) y al umbral de alerta (500 µg/m³) fijados por la legislación para la protección de la salud humana. Por lo que Extremadura CUMPLE con los límites legales establecidos para el SO₂.

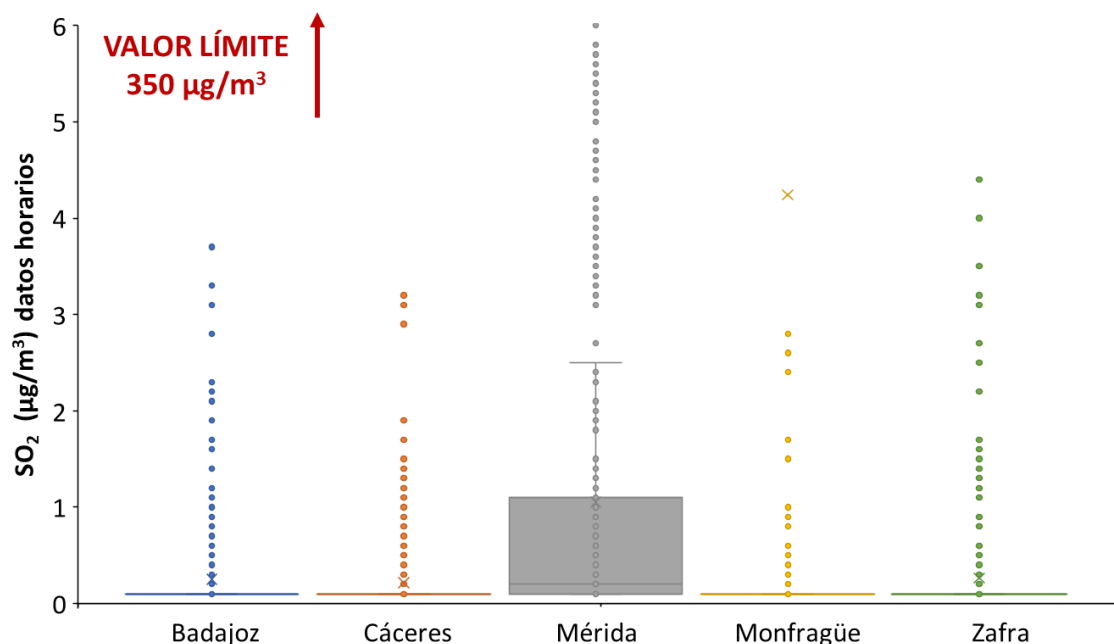


Figura 4.2. Evaluación del cumplimiento del VL horario (350 µg/m³) y umbral de alerta (500 µg/m³) de SO₂ en las distintas ubicaciones.

La Figura 5.3 muestra la distribución de los promedios diarios de SO₂ obtenidas para todas las estaciones. Se observa que los niveles máximos se registran en las estaciones de Badajoz, Cáceres y Mérida, que presentan además una mayor variabilidad de los datos. Todas las estaciones presentan niveles muy inferiores al valor límite diario fijado por la legislación para la protección de la salud humana (125 µg/m³). Por lo que Extremadura CUMPLE con los límites legales establecidos para el SO₂.

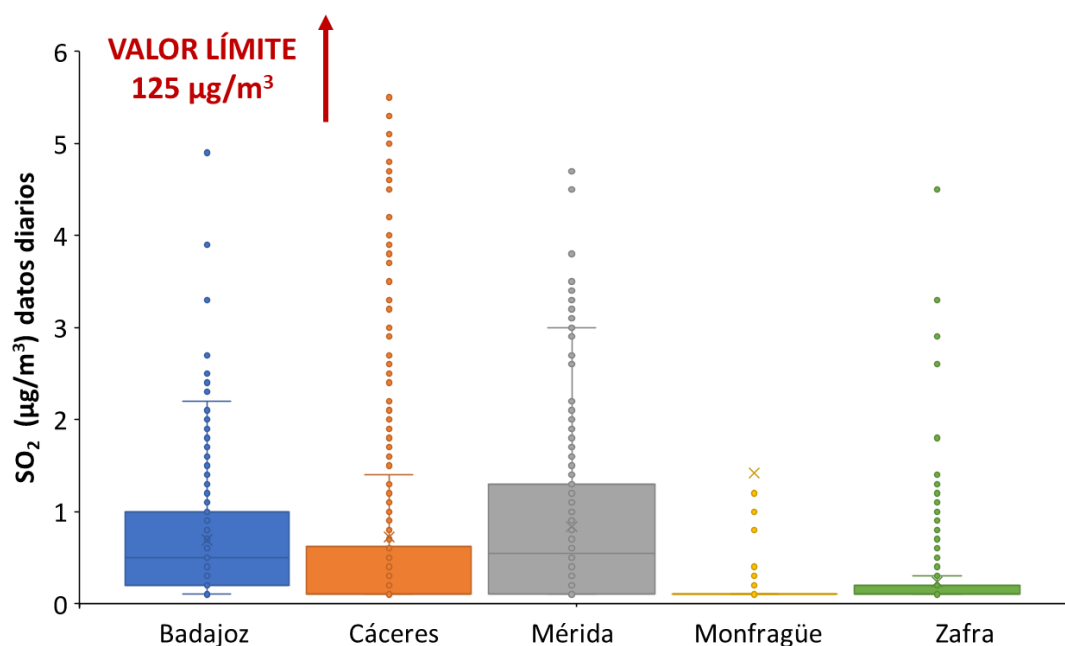


Figura 4.3. Evaluación del cumplimiento del VL diario ($125 \mu\text{g}/\text{m}^3$) de SO_2 en las distintas ubicaciones.

4.3 Material particulado (PM)

En la Tabla 5.3 se presenta el promedio anual de las medias diarias de concentraciones de PM_{10} medidas en cada estación de la red REPICA (determinadas gravimétricamente según la norma UNE-EN 12341:2015), el porcentaje de datos válidos, y las superaciones del valor límite para la protección de la salud humana, tanto el diario ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) como el anual ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Los promedios anuales de las medias diarias registradas son muy bajos en todas las estaciones, no superándose el valor límite anual ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) en ninguna estación de la red. En la estación de Mérida se observaron medias ligeramente superiores a las del resto de las estaciones.

Tabla 4.3. Porcentaje de muestras válidas para el promedio anual de concentración de PM_{10} . Superación del valor límite diario ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y anual ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) para la protección de la salud humana.

Estación	% Datos válidos	Promedio anual de medias diarias ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Número Sup. VL diario	Sup. VL anual
Badajoz	27,40	11,85	0	No
Cáceres	63,29	11,64	2	No
Mérida	100,00	14,97	4	No
Monfragüe	93,97	10,33	3	No
Plasencia	89,86	11,40	4	No
Zafra	96,16	13,95	9	No

En la Figura 5.4 se muestra la distribución de los promedios diarios de PM_{10} obtenidos para todas las estaciones. Se observa que los niveles máximos se registran en las estaciones de Mérida y Plasencia, obteniéndose una mayor variabilidad de los datos en Mérida y Zafra. En la figura se observa el número de superaciones del valor límite diario ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$), fijado por la legislación para la protección de la salud humana, que se han producido en algunas estaciones, destacando Zafra (9 superaciones), Plasencia y Mérida (4 superaciones). En consecuencia, Extremadura CUMPLE con los límites legales establecidos para el PM_{10} .

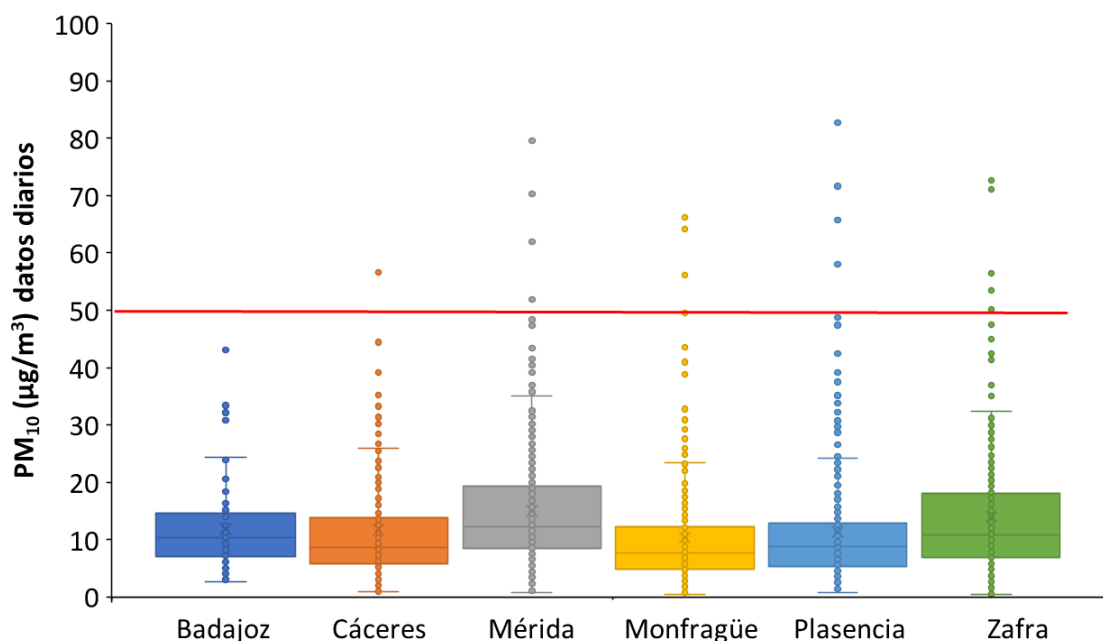


Figura 4.4. Evaluación del cumplimiento del VL diario de PM_{10} en las distintas ubicaciones. La línea roja horizontal representa el valor límite legal diario ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

En la Figura 5.5 se muestra la distribución de los promedios anuales de PM_{10} obtenidos para todas las estaciones. Tal como anticiparon los datos de la Tabla 5.3, los promedios anuales registrados son muy bajos en todas las estaciones respecto del valor límite, el cual no se supera en ninguna ubicación. En consecuencia, Extremadura CUMPLE con los límites legales establecidos para el PM_{10} .

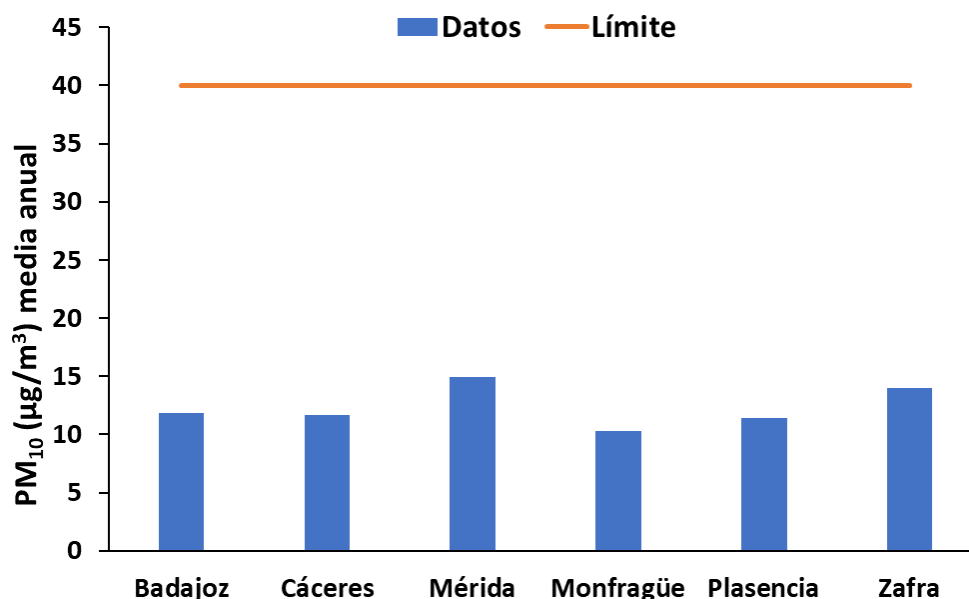


Figura 4.5. Evaluación del cumplimiento del VL anual ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) de PM_{10} en las distintas ubicaciones. La línea naranja horizontal representa el valor límite legal anual.

4.4 Dióxido de nitrógeno (NO_2)

En la Tabla 5.4 se muestra el promedio anual de las medias horarias de concentraciones de NO_2 medidas en las diferentes estaciones de la red REPICA, el porcentaje de datos válidos, el número de superaciones del valor límite horario ($200 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y si se supera el valor límite anual ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Los promedios anuales son muy bajos en todas las estaciones, no superándose el valor límite anual ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) en ninguna estación de la red. Las medias anuales más altas se registraron en las estaciones de Badajoz y Mérida.

Tabla 4.4. Porcentaje de muestras válidas para el promedio anual de concentración de NO_2 . Número de superaciones del valor límite horario ($200 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y anual ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) para la protección de la salud humana.

Estación	% Datos válidos	Promedio anual de medias horarias ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Número de Sup. VL horario	Sup. VL anual
Badajoz	95,24	8,1	0	No
Cáceres	99,06	5,9	0	No
Mérida	97,85	9,0	0	No
Monfragüe	97,84	2,8	0	No
Plasencia	91,47	7,5	0	No
Zafra	98,18	4,0	0	No

En la Figura 5.6 se presenta la distribución de los promedios horarios de NO₂ obtenidos para todas las estaciones de la red. Se observa que los niveles máximos se registraron en las estaciones de Badajoz, Mérida y Zafra. Todas las estaciones presentan niveles muy inferiores al valor límite horario y al umbral de alerta (400 µg/m³) fijados por la legislación para la protección de la salud humana. Así pues Extremadura CUMPLE con los límites legales establecidos para el NO₂.

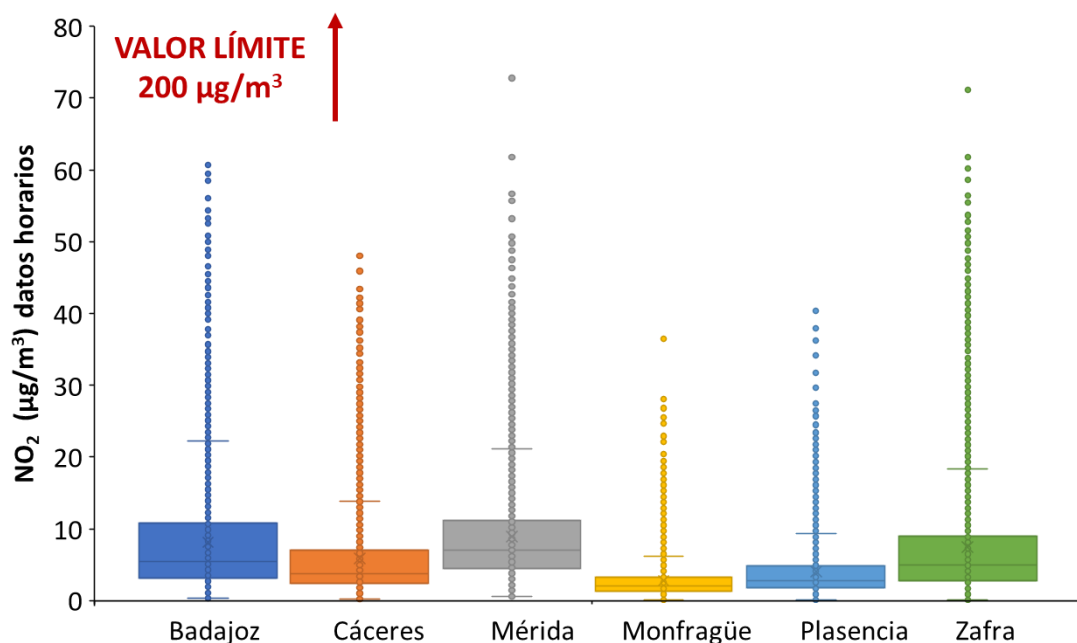


Figura 4.6. Evaluación del cumplimiento del VL horario (200 µg/m³) y umbral de alerta (400 µg/m³) de NO₂ en las distintas ubicaciones.

En la Figura 5.7 se muestra la distribución de los promedios anuales de NO₂ obtenidos para todas las estaciones. Se observa, como se comentó en la Tabla 5.4, que los promedios anuales registrados son muy bajos en todas las ubicaciones respecto del valor límite, el cual no se supera en ninguna ubicación. Así pues Extremadura CUMPLE con los límites legales establecidos para el NO₂.

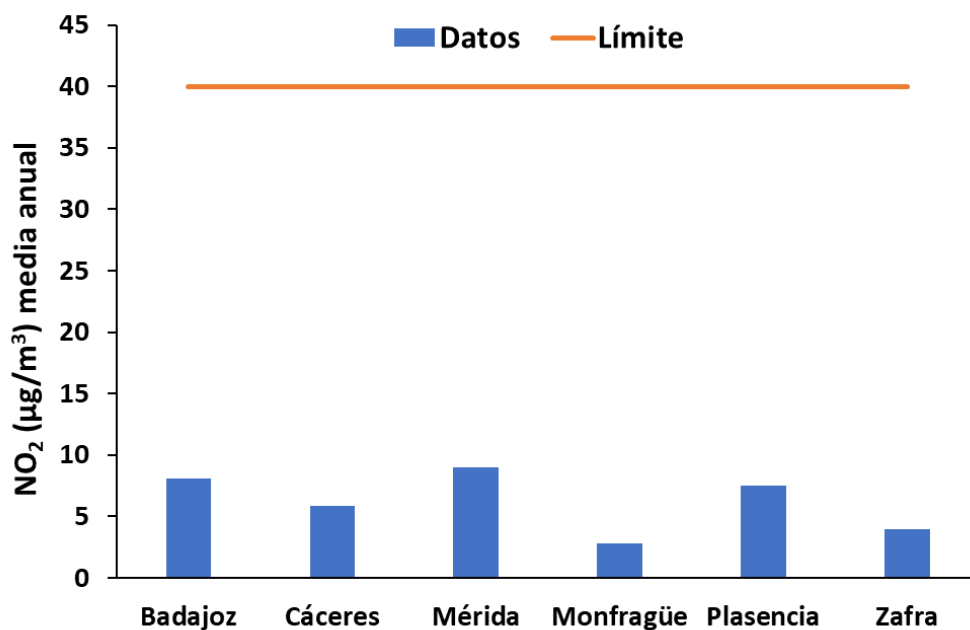


Figura 4.7. Evaluación del cumplimiento del VL anual (40 µg/m³) de NO₂ en las distintas ubicaciones. La línea naranja horizontal representa el valor límite legal anual.

4.5 Ozono (O₃)

En la Tabla 5.5 se presenta el porcentaje de datos válidos para la monitorización de ozono y el número de superaciones del valor objetivo para la protección de la salud humana (120 µg/m³), obtenido como el máximo diario de las medias móviles octohorarias. En el periodo 2019-2021 el total de superaciones del valor objetivo fue de 35 en Badajoz, 83 en Cáceres, 38 en Mérida, 77 en Monfragüe, 52 en Plasencia y 49 en Zafra, lo que supuso un promedio anual, respectivamente, de 12 superaciones en Badajoz, 13 en Mérida, 17 en Plasencia y 16 en Zafra, por debajo del umbral de 25 días que establecen la Directiva 2008/50 y Real Decreto 102/2011 (media por año civil durante el período trianual). En cambio, en las estaciones de Monfragüe (promedio anual 26 superaciones) y Cáceres (promedio anual 28 superaciones), sí se rebasó el umbral.

Tabla 4.5. Porcentaje de muestras válidas para un promedio octohorario de concentración de O₃. Superación del valor objetivo legal (120 µg/m³).

Estación	% Datos válidos	Número Sup. VO 2019	Número Sup. VO 2020	Número Sup. VO 2021	Promedio 3 años Sup. VO
Badajoz	95,3	16	14	3	11
Cáceres	99,3	38	31	13	27
Mérida	98,0	15	17	6	13
Monfragüe	99,3	29	28	17	23
Plasencia	93,0	24	16	12	17
Zafra	98,6	3	30	15	16

En la Tabla 5.5 se puede observar que todas las estaciones cumplen con el valor objetivo establecido por normativa, situándose por debajo de 25 días de superaciones, con la única excepción de la estación de Cáceres que se sitúa ligeramente por encima de dicho valor objetivo. Por lo tanto podemos decir que Extremadura CUMPLE PARCIALMENTE los valores objetivo establecidos por normativa para el ozono troposférico en su afeción a la población.

En la Figura 5.8 se muestra la distribución de las medias móviles octohorarias de O₃ obtenidas en las distintas estaciones en el periodo 2019-2021, observando en cada estación las superaciones del valor objetivo que se registraron. La variabilidad de los datos es muy similar entre todas las ubicaciones.

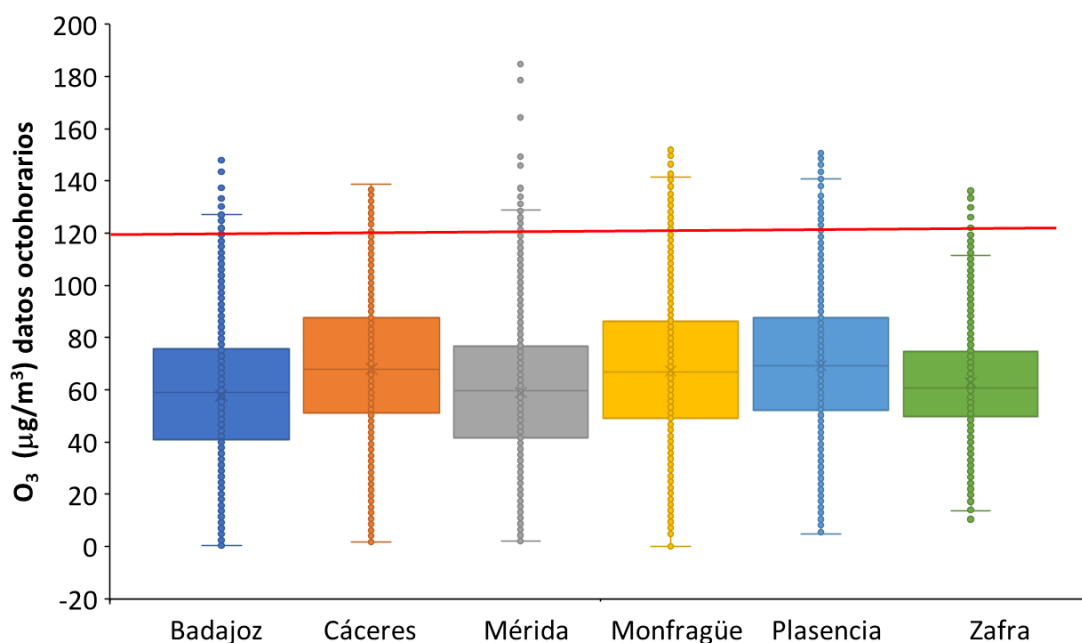


Figura 4.8. Evaluación del cumplimiento del VO octohorario ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$) de O_3 en las distintas ubicaciones.

Finalmente, es interesante destacar que en ninguna de las estaciones se han producido superaciones de los umbrales de información ($180 \mu\text{g}/\text{m}^3$) o alerta ($240 \mu\text{g}/\text{m}^3$) establecidos como promedios horarios, tal como se observa en la Figura 5.9.

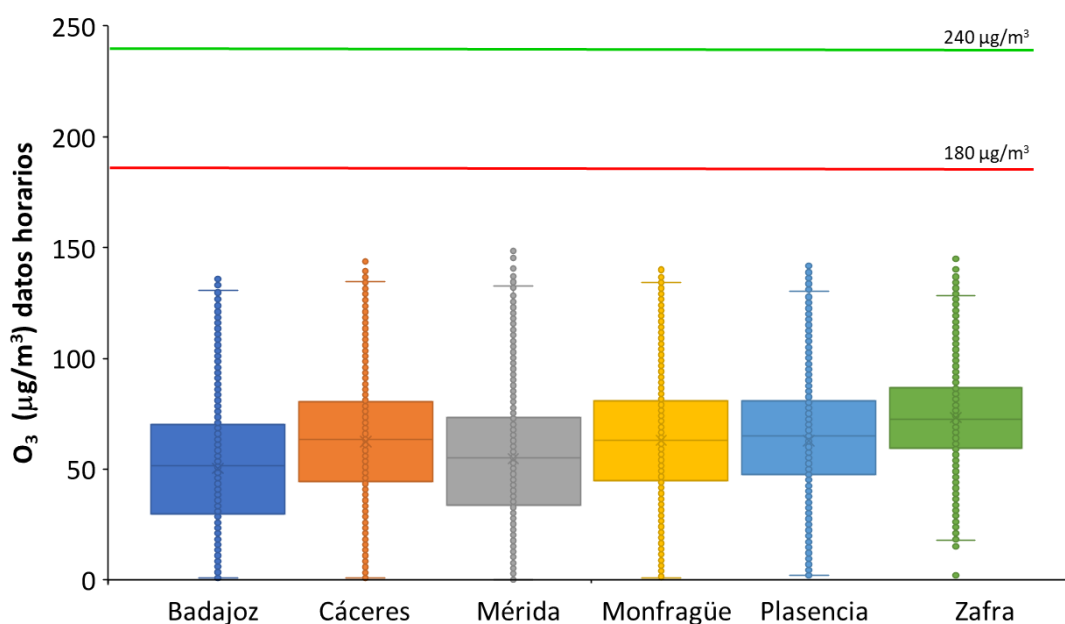


Figura 4.9. Evaluación del cumplimiento del umbral de información horario ($180 \mu\text{g}/\text{m}^3$, línea roja) y el umbral de alerta horario ($240 \mu\text{g}/\text{m}^3$, línea verde) de O_3 en las distintas ubicaciones.

4.6 Benceno (C_6H_6)

En la Tabla 5.6 se presenta el promedio anual de las medias diarias de concentraciones de benceno y el porcentaje de datos válidos, indicándose también si se ha superado el valor límite para la protección de la salud humana anual ($5 \text{ ng}/\text{m}^3$) en las estaciones de la red REPICA. Los promedios anuales obtenidos son notablemente inferiores al valor límite, no habiéndose producido superaciones en ninguna estación de la red. La media anual más elevadas se obtuvo en la estación de Zafra.

Tabla 4.6. Porcentaje de muestras válidas para un promedio anual de concentración de benceno. Superación del valor límite legal.

Estación	% Datos válidos	Promedio anual de medias diarias ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Sup. VL
Badajoz	95,5	0,15	No
Cáceres	98,5	0,10	No
Mérida	98,8	0,51	No
Monfragüe	97,0	0,16	No
Plasencia	67,1	0,40	No
Zafra	96,7	0,86	No

En la Figura 5.10 se presenta la distribución de los promedios anuales de benceno obtenidos para las diferentes estaciones. Se observa que los promedios anuales registrados son muy bajos en todas las estaciones respecto del valor límite, el cual no se supera en ninguna ubicación. Por lo que Extremadura CUMPLE con los límites legales establecidos en la legislación para el Benceno.

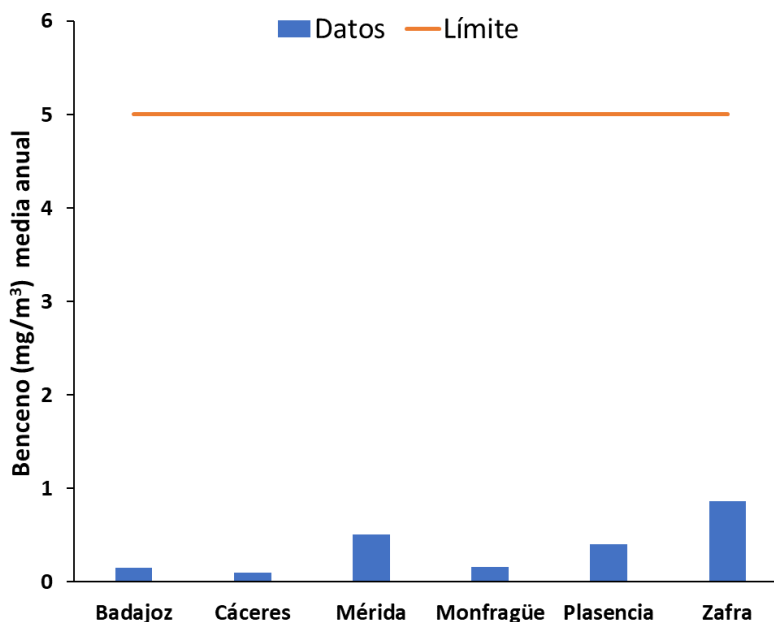


Figura 4.10. Evaluación del cumplimiento del VL anual de benceno ($5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) en las distintas ubicaciones.

4.7 Benzopireno (BaP)

En la Tabla 5.7 se presenta el promedio anual de las medias diarias de concentraciones de benzo(a)pireno, el porcentaje de datos válidos y si se ha superado el valor límite para la protección de la salud humana anual (1 ng/m^3) en las estaciones de Badajoz, Cáceres y Mérida de la red REPICA. Los promedios anuales obtenidos son notablemente inferiores al valor límite, no habiéndose producido superaciones en ninguna estación de la red. La media anual más elevadas se obtuvo en la estación de Cáceres.

Tabla 4.7. Porcentaje de muestras válidas para un promedio anual de concentración de benzopireno. Superación del valor límite legal.

Estación	% Datos válidos	Promedio anual de medias diarias(ng/m^3)	Sup. VL anual
Badajoz	5,19	0,017	No
Cáceres	13,93	0,080	No
Mérida	19,67	0,049	No

En la Figura 5.11 se muestra la distribución de los promedios anuales de benzo(a)pireno obtenidos para las tres estaciones en las que se analiza. Se observa que, tal como se comentó en base a la Tabla 5.7, los promedios anuales registrados son muy bajos en todas las estaciones respecto del valor límite, el cual no se supera en ninguna ubicación. Por lo que Extremadura CUMPLE con los límites legales establecidos en la legislación para el Benzo(a)pireno.

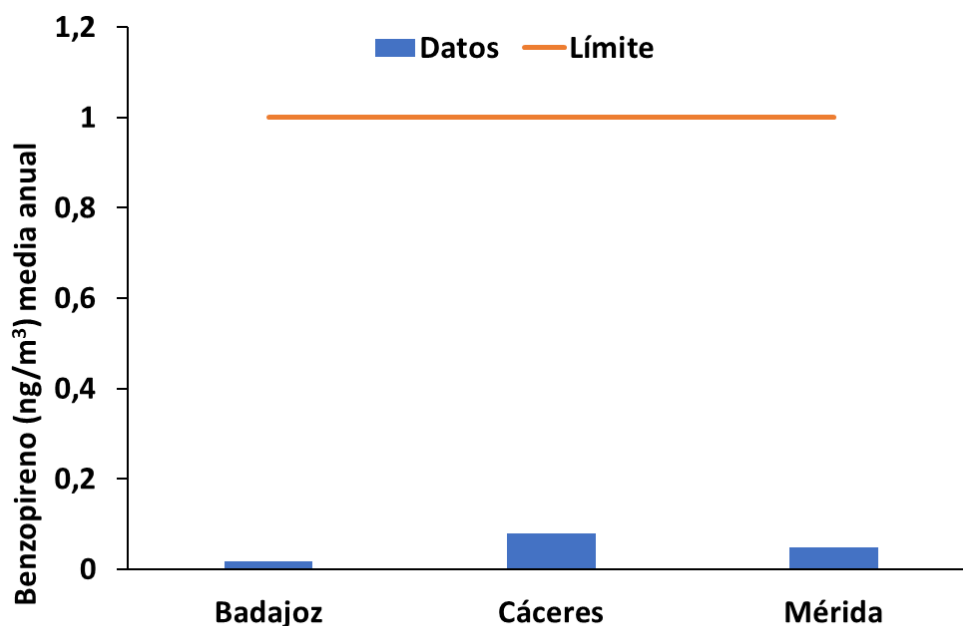


Figura 4.11. Evaluación del cumplimiento del VL anual de benzopireno (1 ng/m^3) en las distintas ubicaciones.

4.8 Arsénico (As)

En la Tabla 5.8 se muestran el promedio anual de las concentraciones diarias de arsénico, el porcentaje de datos válidos y si se ha superado el valor límite para la protección de la salud humana anual (6 ng/m^3) en las estaciones de la red REPICA. Los promedios anuales obtenidos son notablemente inferiores al valor límite, no habiéndose producido superaciones en ninguna estación de la red. La media anual más elevada se obtuvo en las estaciones de Badajoz y Cáceres.

Tabla 4.8. Porcentaje de muestras válidas para un promedio anual de concentración de –arsénico (As). Superación del valor límite legal.

Estación	% Datos válidos	Promedio anual de medias diarias As (ng/m^3)	Sup. VL
Badajoz	5,21	0,39	No
Cáceres	13,70	0,16	No
Mérida	19,73	0,37	No
Monfragüe	18,90	0,12	No
Plasencia	18,08	0,02	No
Zafra	12,60	0,26	No

En la Figura 5.12 se muestra la distribución de los promedios anuales de arsénico obtenidos. Se observa con claridad que los promedios anuales registrados son muy inferiores al valor límite en todas las estaciones, el cual no se supera en ninguna ubicación. Por lo tanto Extremadura CUMPLE con los límites legales establecidos para el Arsénico.

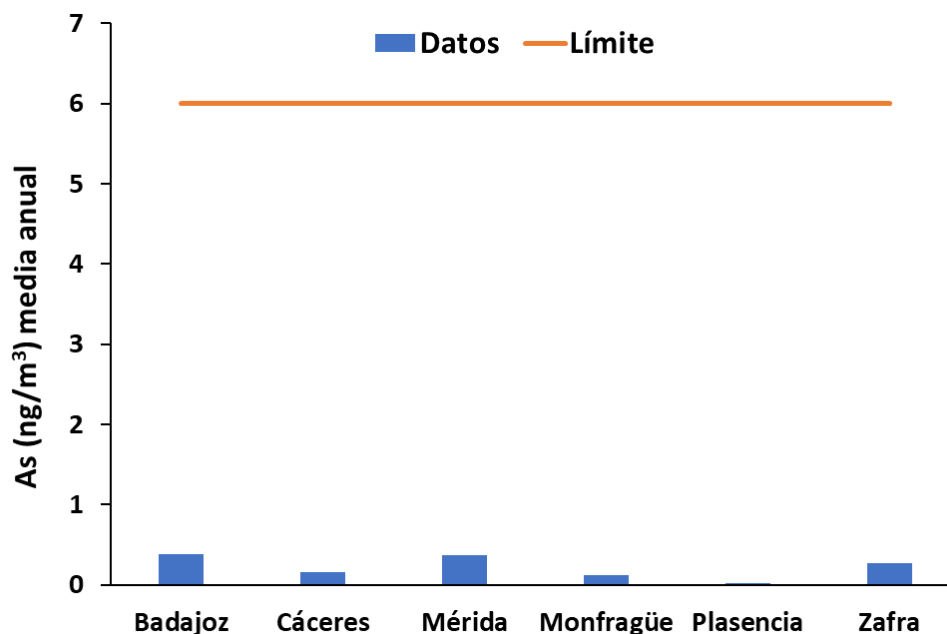


Figura 4.12. Evaluación del cumplimiento del VL anual de As (6 ng/m^3) en las distintas ubicaciones.

4.9 Cadmio (Cd)

En la Tabla 5.9 se muestran el promedio anual de las concentraciones diarias de cadmio, el porcentaje de datos válidos y si se ha superado el valor límite para la protección de la salud humana anual (5 ng/m^3) en las estaciones de la red. Los promedios anuales obtenidos son notablemente inferiores al valor límite, que no se ha superado en ninguna estación de la red. La media anual más elevada se obtuvo en las estaciones de Mérida y Zafra. Por lo tanto Extremadura CUMPLE con los límites legales establecidos para el Cadmio.

Tabla 4.9. Porcentaje de muestras válidas para un promedio anual de concentración de cadmio (Cd). Superación del valor límite legal.

Estación	% Datos válidos	Promedio anual de medias diarias Cd (ng/m^3)	Sup. VL
Badajoz	5,21	0,029	No
Cáceres	13,70	0,019	No
Mérida	19,73	0,058	No
Monfragüe	18,90	0,028	No
Plasencia	18,08	0,035	No
Zafra	12,60	0,050	No

En la Figura 5.13 se muestra la distribución de los promedios anuales de cadmio obtenidos, observando claramente que los promedios anuales registrados son muy inferiores al valor límite en todas las estaciones.

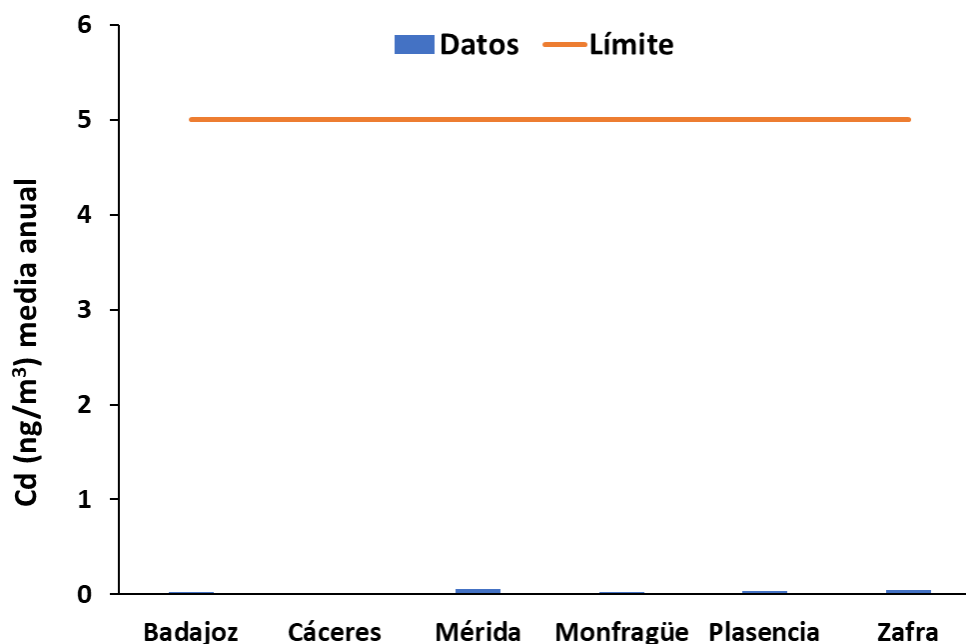


Figura 4.13. Evaluación del cumplimiento del VL anual de Cd (5 ng/m³) en las distintas ubicaciones.

4.10 Níquel (Ni)

En la Tabla 5.10 se muestran el promedio anual de las concentraciones diarias de níquel, el porcentaje de datos válidos y si se ha superado el valor límite para la protección de la salud humana anual (20 ng/m³) en las estaciones de la red REPICA. Los promedios anuales obtenidos son muy inferiores al valor límite, no habiéndose producido superaciones en ninguna estación de la red. La media anual más elevada se obtuvo en las estaciones de Badajoz y Cáceres.

Tabla 4.10. Porcentaje de muestras válidas para un promedio anual de concentración de níquel (Ni). Superación del valor límite legal.

Estación	% Datos válidos	Promedio anual de medias diarias Ni (ng/m ³)	Sup. VL
Badajoz	5,21	3,23	No
Cáceres	13,70	3,04	No
Mérida	19,73	1,20	No
Monfragüe	18,90	1,29	No
Plasencia	18,08	2,50	No
Zafra	12,60	1,80	No

En la Figura 5.14 se muestra la distribución de los promedios anuales de níquel obtenidos. Se observa con claridad que los promedios anuales registrados son muy inferiores al valor límite en todas las estaciones, el cual no se supera en ninguna ubicación. Por lo tanto Extremadura CUMPLE con los límites legales establecidos para el Níquel.

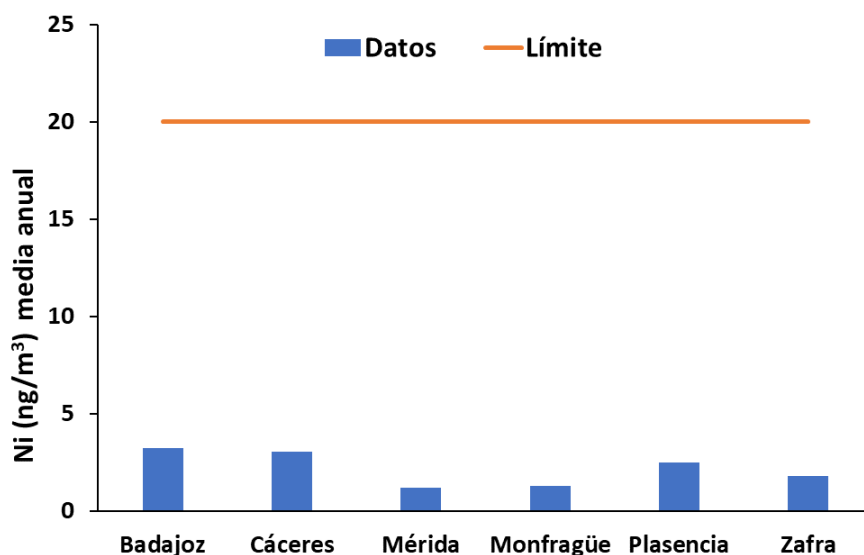


Figura 4.14. Evaluación del cumplimiento del VL anual de Ni (20 ng/m³) en las distintas ubicaciones.

4.11 Plomo (Pb)

En la Tabla 5.11 se muestran el promedio anual de las concentraciones diarias de plomo, el porcentaje de datos válidos y si se ha superado el valor límite para la protección de la salud humana anual (0,5 µg/m³) en las estaciones de la red REPICA. Los promedios anuales obtenidos son notablemente inferiores al valor límite, no habiéndose producido superaciones en ninguna estación de la red. La media anual presenta valores similares en todas las estaciones monitorizadas.

Tabla 4.11. Porcentaje de muestras válidas para un promedio anual de concentración de plomo (Pb) Superación del valor límite legal.

Estación	% Datos válidos	Promedio anual de medias diarias Pb ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Sup. VL
Badajoz	5,21	0,001	No
Cáceres	13,70	0,001	No
Mérida	19,73	0,002	No
Monfragüe	18,90	0,001	No
Plasencia	18,08	0,002	No
Zafra	12,60	0,003	No

En la Figura 5.15 se muestra la distribución de los promedios anuales de plomo obtenidos. Se observa con claridad que los promedios anuales registrados son muy inferiores al valor límite en todas las estaciones, el cual no se supera en ninguna ubicación. Por lo tanto Extremadura CUMPLE con los límites legales establecidos para el Plomo.

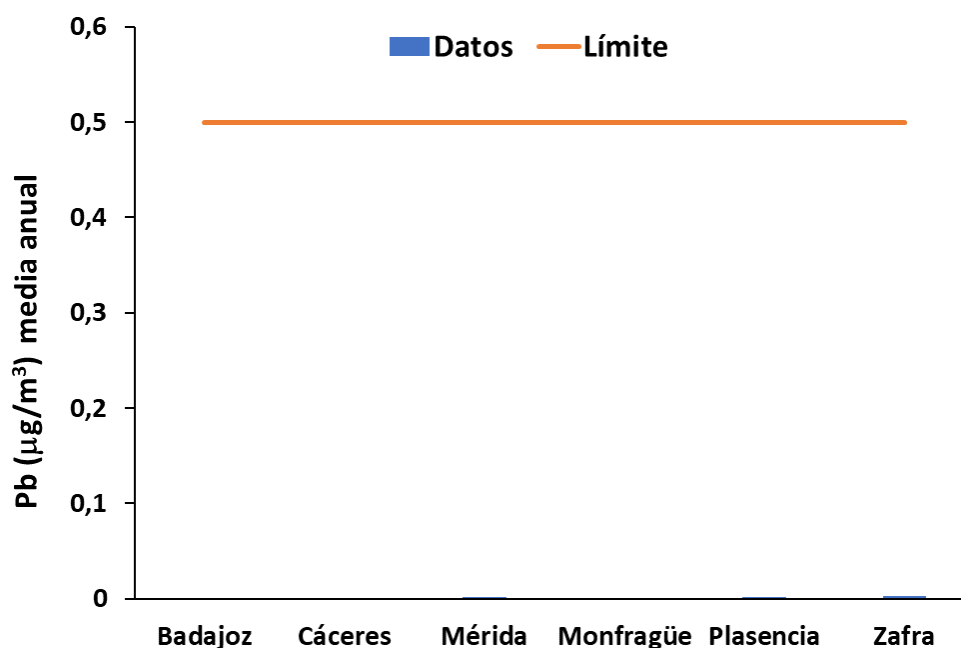


Figura 4.15. Evaluación del cumplimiento del VL anual de Pb ($0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) en las distintas ubicaciones.

5 Actividades de investigación

Durante el año 2021 se han planificado y desarrollado diferentes tipos de actividades de campo, de laboratorio, y de interpretación de datos, orientadas a investigar la calidad del aire y al desarrollo y validación de nuevas metodologías para su análisis, en el marco de un convenio interadministrativo entre la Universidad de Extremadura (grupo de investigación “Análisis Químico del Medio Ambiente”, AQUIMA) y REPICA. De estas actividades se han generado productos tales como informes de campañas experimentales, publicaciones, comunicaciones a congresos, y trabajos académicos (trabajos fin de máster y trabajos fin de grado). Se han desarrollado igualmente diferentes campañas de educación y divulgación sobre la calidad del aire.

5.1 Campañas específicas de investigación de la calidad del aire

Durante el período de vigencia del convenio, el grupo de investigadores de AQUIMA han llevado a cabo una campaña experimental de monitorización de NO/NO₂/NO_x en el aire ambiente de la población de Villafranca de los Barros. Para la medida continua de estos contaminantes se empleó un analizador de óxido nítrico (modelo 400, 2B Technologies) y el convertidor de NO₂ (modelo 401, 2B Technologies) para permitir obtener la medida de NO_x (NO_x = NO + NO₂). El principio de medida del analizador de óxido nítrico es la quimioluminiscencia de la reacción de NO + O₃, obteniendo de esta forma las concentraciones de NO. Las medidas de NO_x se consiguen haciendo pasar el aire de muestra por un convertidor de molibdeno antes de entrar en el analizado de óxido nítrico. Por sustracción, se obtiene las concentraciones de NO₂ (NO₂ = NO_x - NO). La campaña de medida se desarrolló desde el 09/03/2021 hasta el 17/03/2021, registrándose un total de 167 datos experimentales (medias horarias).

5.2 Líneas de investigación

Las dos investigadoras contratadas en la UEx con cargo al convenio indicado en el punto anterior desarrollaron durante 2021 una parte de sus respectivas tesis doctorales en temas de investigación relacionados con el presente convenio. En el primer caso, el proyecto de tesis que lleva por título “Nuevas metodologías analíticas y de interpretación de datos para la evaluación de la contaminación atmosférica por material particulado y su impacto en suelos”, y en el segundo caso el proyecto de tesis denominado “Nuevas metodologías analíticas y de interpretación de datos para la evaluación de la contaminación atmosférica por ozono troposférico y precursores”.

Un graduado en Ciencias Ambientales, becario de colaboración contratado con cargo al convenio, realizó una campaña experimental de investigación consistente en la medida de contaminantes químicos como los compuestos orgánicos volátiles (COVs), material particulado (PM₁₀ y PM_{2,5}), O₃ y CO₂, y contaminantes biológicos como esporas fúngicas. La campaña de medida se llevó a cabo en un aula taller de peluquería (ubicado en el IES San José de Badajoz) utilizando el analizador portátil NanoEnviEQ para la medida de COVs y O₃, el analizador Air Visual Pro para la medida de CO₂, PM₁₀ y PM_{2,5}, y el captador de aire 9100 para el muestreo de esporas fúngicas. Los resultados se han publicado en un trabajo fin de máster. El mismo investigador ha comenzado la tesis doctoral titulada “Interacciones entre contaminantes atmosféricos y partículas aerobiológicas aerovagantes en el aire urbano”. La investigación pretende establecer

interrelaciones estadísticas entre los niveles de contaminantes atmosféricos y de granos de polen, así como la deposición y/o absorción de contaminantes como mercurio gaseoso, ozono y óxidos de nitrógeno.

Los investigadores del grupo AQUIMA participaron durante 2021 junto con los técnicos de la Dirección General de Sostenibilidad de la Junta de Extremadura responsables de la red REPICA en el desarrollo del proyecto europeo “Desarrollo y validación en campo de un sistema de nanosensores de bajo consumo y bajo coste para la monitorización en tiempo real de la calidad del aire ambiente” (NanoSen-AQM), financiado con cargo al Programa Interreg-Sudoe, segunda convocatoria Eje 1 Innovación, Referencia: SOE2/P1/E0569. Duración: 01-04- 2018 hasta 31-03-2021 (prorrogado hasta el 30-06-2021 por la pandemia COVID-19).

Asimismo, los investigadores de AQUIMA iniciaron en junio de 2021 su participación en el proyecto de investigación “Estrategias de traslación mediática para información pública sobre calidad del aire en Extremadura” (referencia IB20081) financiado por la Consejería de Economía e Infraestructuras de la Junta de Extremadura dentro de programa regional de financiación de proyectos de investigación. El proyecto está coordinando desde la Facultad de Documentación y Comunicación de la UEx, y se extiende desde el 2 de junio de 2021 hasta el 2 de junio 2024.

5.3 Publicaciones

1.- Optimization and validation test of a sonoreactor-assisted methodology for fast and miniaturized extraction of trace elements from soils.

Ref. revista: Talanta 221 (2021) 121440

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.talanta2020.121440>

2.- Effect of COVID-19 lockdown on air quality in urban and suburban areas of Extremadura, southwest Spain: A case study in usually low polluted areas

Ref. revista: Revista Internacional de Contaminación Ambiental 37 (2021) 237-247

DOI: <https://doi.org/10.20937/RICA.54145>

3.- A portable, low-cost, smartphone assisted methodology for on-site measurement of NO₂ levels in ambient air by selective chemical reactivity and digital image analysis

Ref. revista: Sensors and Actuators: B. Chemical 338 (2021) 129867

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.snb.2021.129867>

5.4 Trabajos académicos

1. Título: Análisis de contaminantes químicos y esporas en lugares de trabajo con presencia de humedad. Valoración de la exposición en una peluquería

Autor: Juan Jesús Hidalgo Barquero

Titulación: Máster Universitario en Prevención de Riesgos Laborales Escuela de Ingenierías Industriales

2. Título: Medición de los niveles de ozono troposférico en el aire ambiente mediante analizadores portátiles de bajo coste. Aplicación a la ciudad de Badajoz.

Autor: Benigno Jesús Ramos Muñoz

Titulación: Grado en Ciencias Ambientales Facultad de Ciencias

3. Desarrollo aplicaciones móviles multiplataforma: App para REPICA

Autor: Samuel Frutos Puerto

Titulación: Grado en Ingeniería Informática Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática

5.5 Comunicaciones a congresos

1.- Towards an integrated air quality index based on chemical pollutants and biological parameters.

Tipo de participación: Comunicación oral

Congreso: 79th International Scientific Conference of the University of Latvia. Aerobiology, Climate Change and Covid-19 conference.

6 Actividades de divulgación

Durante el periodo de vigencia del convenio se han celebrado diversas actividades formativas y de divulgación, cuyas características principales se resumen a continuación.

Investigadores del grupo AQUIMA han participado en la impartición del MOOC (Massive Online Open Course), “Vigilancia de la calidad del aire con sensores debajo coste” como parte de las actividades del proyecto Interreg Sudoe Nanosen-AQM coordinado por la Universidad de Extremadura. El curso se ha impartido en dos ediciones durante los meses de mayo y octubre de 2021 en la plataforma MiriadaX, donde siguen disponibles para consulta los materiales del curso. Los investigadores de AQUIMA impartieron diferentes ponencias en las que se trató la estructura y composición de la atmósfera, la legislación actual en materia de contaminación atmosférica, y se explicó el principio de medida de los analizadores de referencia utilizados en las unidades de vigilancia de la calidad del aire de la red REPICA. También se explicó sobre el terreno el funcionamiento de la unidad de vigilancia de la calidad del aire de Badajoz y los trabajos realizados en los laboratorios del departamento de Química Analítica donde se realizan los trabajos analíticos contemplados en el convenio.

El 24 de septiembre de 2021 se ofertó la actividad “Analizando el aire que respiramos”, dentro del programa “La Noche Europea de los Investigadores” organizado por el Servicio de Difusión de la Cultura Científica de la UEx. El objetivo de actividad es dar a conocer cómo trabajan los científicos para estudiar los principales problemas de contaminación atmosférica como el cambio climático, el deterioro de la capa de ozono, o la presencia en el aire de sustancias dañinas para la salud humana y para los ecosistemas naturales. Esta actividad se realizó en la unidad de vigilancia de la calidad del aire de la red REPICA instalada en el campus universitario de Badajoz, para conocer el funcionamiento de los analizadores de la contaminación atmosférica y el trabajo que se realiza. Además, los visitantes participaron en varios experimentos basados en la detección de ozono en aire ambiente mediante medidas de absorbancia con un smartphone y en la detección de dióxido de carbono en interiores mediante un analizador comercial portátil y de bajo coste.

El día 12 de noviembre de 2021 se participó con la actividad “Analizando el aire que respiramos” en la “Semana de la Ciencia”, organizada por el Servicio de Difusión de la Cultura Científica de la UEx. La actividad se realizó en la unidad de vigilancia de la calidad del aire de la red REPICA instalada en el campus universitario de Mérida, hasta donde se desplazaron estudiantes y profesores de los centros educativos IES Los Moriscos de Hornachos e IES Benazaire de Herrera del Duque, así como ciudadanos particulares inscritos en la actividad. El objetivo de la actividad es conocer el funcionamiento de los analizadores de la contaminación atmosférica y el trabajo que se realiza en una red de calidad. Además, los visitantes participaron en dos experimentos

basados en la detección de ozono en aire ambiente mediante medidas de absorbancia con la cámara de un teléfono móvil y en la detección de dióxido de carbono en interiores mediante un analizador comercial portátil y de bajo coste.

Para la divulgación de la red se diseñó un tríptico informativo conteniendo información básica sobre los objetivos y funcionamiento de la misma (Figura 7.1); un cartel enrollable autoportante (roll-up) con información sobre la red y las investigaciones desarrolladas por el grupo, como apoyo informativo en las actividades de divulgación que se realicen (Figura 7.2), así como el material didáctico de apoyo a las actividades divulgativas disponible en la web de la red REPICA (http://xtr.gobex.es/repica/Material_docente_REPICA/index.html, Figura 7.3).

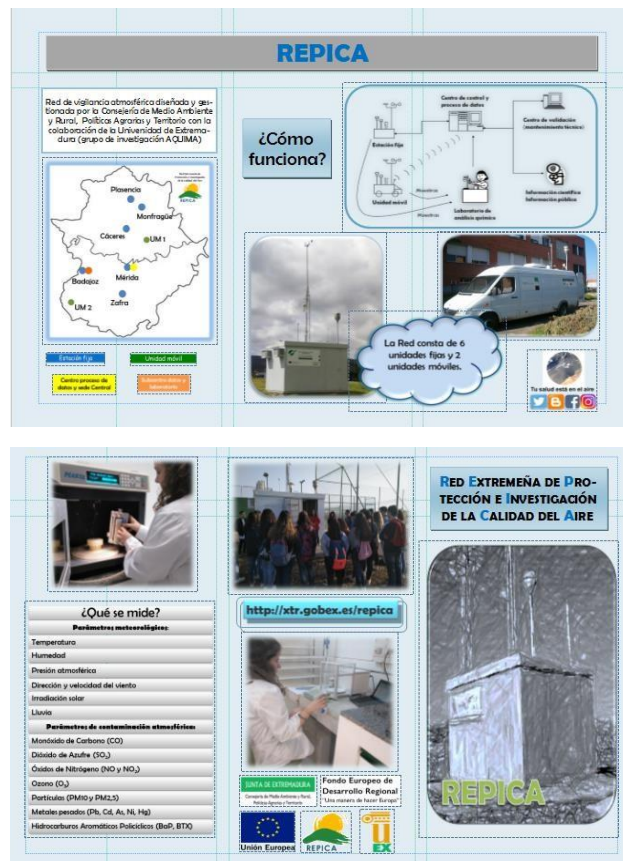


Figura 7.1. Tríptico con información básica de la Red REPICA utilizado en las visitas a las estaciones.



Figura 7.2. Roll-up utilizados en las visitas a las estaciones con información básica de la Red REPICA y proyectos de investigación desarrollados.

La vigilancia de la calidad del aire

LA VIGILANCIA DE LA CALIDAD DEL AIRE

¿Qué es la contaminación atmosférica?

¿Qué daños produce la contaminación atmosférica?

¿Cómo se produce la contaminación atmosférica?

¿Por qué es importante vigilar la calidad del aire?

¿Cómo se vigila la calidad del aire?

¿Quién vigila la calidad del aire?

La red de vigilancia atmosférica de Extremadura

¿Cómo funciona una unidad de vigilancia atmosférica?

¿Qué se mide en una unidad de vigilancia atmosférica?

¿Cómo es la calidad del aire en Extremadura?

¿Qué puedes hacer tú para cuidar y mejorar la calidad del aire?



JUNTA DE EXTREMADURA

Consejería de Medio Ambiente y Rural, Políticas Agrarias y Territorio

UNIVERSIDAD DE EXTREMADURA




Unión Europea
Fondo Europeo de Desarrollo Regional
"Una manera de hacer Europa"

Objetivos

- Aprender qué es la contaminación atmosférica, qué daños causa y cómo se produce
- Aprender por qué es importante vigilar la calidad del aire
- Aprender cómo se vigila la calidad del aire y quién se encarga de ello
- Aprender qué es y cómo funciona la Red de Vigilancia Atmosférica de Extremadura
- Aprender cómo es la calidad del aire en Extremadura, y qué podemos hacer para cuidarla y mejorarla

Figura 7.3. Portada del material didáctico disponible en la web REPICA.