

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE EN EL MUNICIPIO DE AIZKOITIA (PRIMER SEMESTRE DE 2022)

2 de diciembre de 2022

Grupo de investigación de Epidemiología Ambiental y Desarrollo Infantil (EAyDI)



Contenido

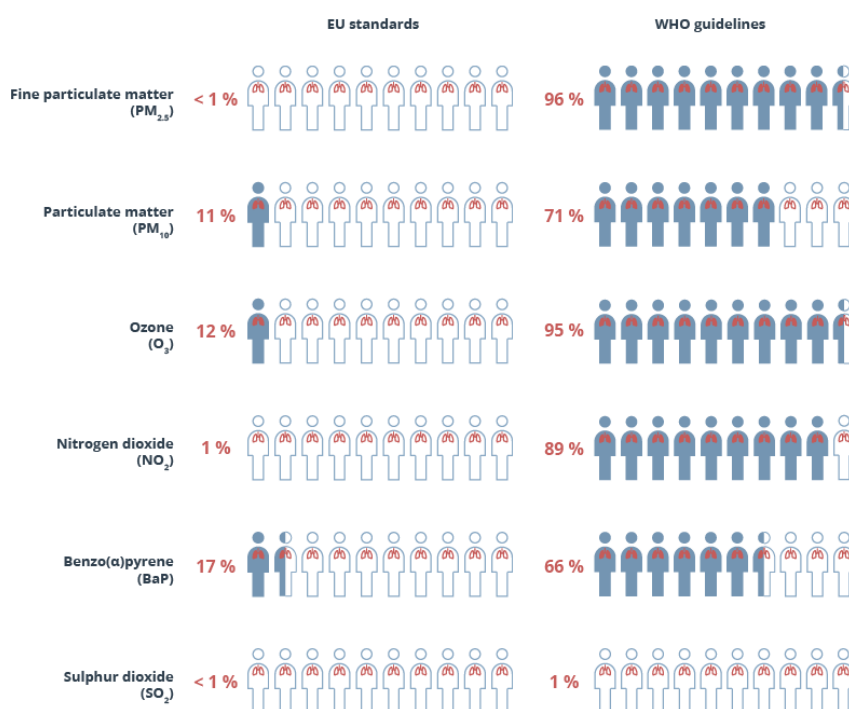
ANTECEDENTES Y OBJETIVOS	3
AREA DE ESTUDIO Y PUNTO DE MUESTREO	5
TOMA DE MUESTRA Y COMPUESTOS ANALIZADOS	6
METODO ANALITICO	8
Material Particulado	8
Metales asociados a partículas	9
ANALISIS ESTADISTICO	10
RESULTADOS	11
Material Particulado (PM ₁₀).....	11
Metales asociados a partículas PM ₁₀	13
DISCUSION Y CONCLUSIONES	18
BIBLIOGRAFIA	22

ANTECEDENTES Y OBJETIVOS

La contaminación del aire puede suponer un importante riesgo medioambiental para la salud, siendo la población urbana la que más sufre los efectos nocivos provocados por la contaminación del aire en Europa (EEA, 2019). En el último informe realizado por la Organización Mundial de la Salud (OMS) en 2022, se destaca que casi toda la población mundial (99%) respira un aire que no cumple los límites de calidad recomendados por la OMS con el efecto que esto supone para su salud. Las personas con nivel socioeconómico bajo tienden a estar más expuestas a la contaminación del aire ya que residen en zonas con peor calidad del aire. Los grupos más vulnerables frente a la contaminación del aire son los niños, los ancianos y las personas que padecen enfermedad crónica respiratoria y/o cardiovascular y las mujeres embarazadas.

En las urbes europeas, los contaminantes más nocivos en términos de daño en salud son las partículas en suspensión o material particulado (PM por sus siglas en inglés), NO_2 y O_3 (OMS, 2005). Los riesgos para la salud asociados a las partículas en suspensión de diámetro igual o inferior a 10 micras (μm) (PM_{10}) son de especial relevancia, ya que, estas partículas son capaces de penetrar profundamente en los pulmones. En el año 2020, en Europa, 1 de cada 10 habitantes estuvo expuesto a concentraciones de PM_{10} superiores al límite establecido por la legislación europea vigente, y 7 de cada 10 a niveles mayores que el recomendado por la OMS (Figura 1).

Figura 1: Porcentaje de población europea expuesta a niveles que superan los límites establecidos por la legislación vigente según el tipo de contaminante en 2020 (EEA, 2022).



El informe de 2022 de la OMS, señala que la exposición a estos contaminantes atmosféricos en las ciudades y zonas rurales de todo el mundo provoca cada año 7 millones de defunciones prematuras y la pérdida de otros tantos millones de años de vida saludable. En los niños la exposición a estos contaminantes podría suponer la reducción del crecimiento, de la función pulmonar, infecciones respiratorias y agravamiento del asma. En los adultos, la cardiopatía isquémica y los accidentes cerebrovasculares son las causas más comunes de muerte prematura atribuible a la contaminación del aire exterior, y también existen pruebas de otros efectos como diabetes y enfermedades neurodegenerativas. Esto sitúa la carga de morbilidad atribuible a la contaminación del aire a nivel mundial al mismo nivel que otros riesgos para la salud, como la dieta malsana y el tabaquismo

Además del impacto en salud, la contaminación atmosférica también causa impacto en el medio ambiente y en la economía. A este respecto, la contaminación atmosférica derivada de la producción industrial en Europa causa daños de 329 000 millones de euros al año, según un informe de la Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA, por sus siglas en inglés) publicado en 2020, estos daños incluyen el deterioro de ecosistemas, hábitats y cultivos además de enfermedad y muerte prematura (EEA, 2020).

Desde el año 2011 se ha realizado la monitorización de la calidad del aire en el municipio de Azkoitia. Hasta el 2017 la realizó el Grupo de Ingeniería Química de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad del País Vasco (UPV-EHU) y a partir del 2018 el grupo de investigación de Epidemiología Ambiental y Desarrollo Infantil (EAYDI) del Instituto de Investigación en Salud Bionostia. El control realizado por la UPV/EHU comprendía la captación y análisis de diferentes indicadores de calidad de aire [(partículas con diámetro inferior a $10\ \mu\text{m}$ (PM_{10}) y metales asociados] incorporando en 2015 al control los compuestos orgánicos volátiles (COVs). Además, desde julio de 2018, el grupo de investigación EAYDI incorporó determinaciones de elementos traza e Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs) a la evaluación de la calidad del aire del municipio de Azkoitia.

Durante el año 2022, el grupo EAYDI de Bionostia ha continuado realizando las captaciones de aire para evaluar la calidad del aire del municipio. De acuerdo con el Ayuntamiento, y teniendo en cuenta la actividad industrial predominante en el municipio, en 2022 se decidió realizar el control de PM_{10} y metales asociados a partículas incrementando el número de determinaciones con objeto de realizar una caracterización más exhaustiva de estos contaminantes. En este informe se presentan los resultados y la evaluación de la calidad del aire del periodo enero-mayo de 2022.

AREA DE ESTUDIO Y PUNTO DE MUESTREO

El área de estudio se encuentra en el municipio de Azkoitia, situado en la cuenca media del río Urola en Gipuzkoa. Azkoitia cuenta con una superficie de 5.520 Ha y una población de 11.914 habitantes, siendo la industria su principal actividad económica (46.9% del VAB) (EUSTAT).

Las muestras de aire se han recogido mediante un captador activo (Digital Modelo DAH 80) situado en un punto donde no hay ningún foco emisor de contaminantes cercano. Además, el punto de muestreo seleccionado es representativo de los niveles de inmisión, por lo que la concentración de contaminantes en aire obtenidos en este emplazamiento constituye los niveles a los que la población de Azkoitia está expuesta en su vida diaria. El captador está ubicado [(Trenbidearen Zumardia (43°10'35" N, 2°18'30" O)] (Figura 2) en el mismo lugar utilizado por el Grupo de Ingeniería Química de la UPV/EHU y Biodonostia en las campañas de los años 2018, 2019, 2020 y 2021.

Figura 2: Ubicación del captador de aire utilizado en este estudio.



TOMA DE MUESTRA Y COMPUESTOS ANALIZADOS

La toma de muestras ha sido realizada por personal del grupo de Epidemiología ambiental y desarrollo infantil (EAyDI) de Biodonostia. Las muestras recogidas se han tratado y analizado a través de la Fundación Euskoiker.

Los compuestos analizados en el periodo comprendido entre enero y mayo de 2022 se citan a continuación:

Material particulado (PM) se define como todas las partículas microscópicas sólidas y líquidas, de origen humano o natural, que quedan suspendidas en el aire durante un tiempo determinado. El material particulado se clasifica dependiendo de la forma en que se crea, de este modo encontramos PM primarios y secundarios. Los primarios se emiten directamente por diversas fuentes (por ejemplo, el humo oscuro que se observa en los escapes de coches y camiones, el polvo de las calles) aunque en núcleos urbanos la mayor fuente suele ser el tráfico, seguido de la actividad industrial (Querol et al., 2004, 2007, 2008). Secundarias, son aquellas que se forman en la atmósfera como resultado de reacciones químicas a partir de la presencia de materiales gaseosos, llamados precursores. Los principales gases precursores de las partículas son el dióxido de azufre (SO_2), los óxidos de nitrógeno (NO_x), los compuestos orgánicos volátiles (COV) y el amoníaco (NH_3), los cuales forman partículas de sulfatos y nitratos principalmente, así como partículas suspendidas secundarias orgánicas derivadas de la oxidación fotoquímica de los compuestos orgánicos. Las fuentes de contaminación pueden ser fijas como las plantas de energía, industrias químicas, refinerías de petróleo y fábricas y móviles que abarcan todas las formas de transporte y los vehículos automotores (EEA, 2017). Los principales componentes de las PM son los sulfatos, los nitratos, el amoníaco, el cloruro de sodio, el hollín, los polvos minerales y el agua. Si bien las partículas con un diámetro de 10 micrones o menos ($\leq \text{PM}_{10}$) pueden penetrar y alojarse profundamente dentro de los pulmones, existen otras partículas aún más dañinas para la salud, que son aquellas con un diámetro de 2.5 micrones o menos ($\leq \text{PM}_{2.5}$). Las $\text{PM}_{2.5}$ pueden atravesar la barrera pulmonar y entrar en el torrente sanguíneo. La exposición crónica a partículas contribuye al riesgo de desarrollar enfermedades cardiovasculares y respiratorias, así como cáncer de pulmón. Existe una estrecha relación cuantitativa entre la exposición a altas concentraciones de pequeñas partículas (PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$) expresadas en microgramos ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) y el aumento a largo plazo de la mortalidad o morbilidad.

Se han realizado 88 determinaciones (medida gravimétrica de las muestras de 24 h) de PM_{10} recogidas mediante un Captador de Alto Volumen.

Elementos traza (metales) asociados a partículas PM₁₀.

El material particulado puede tener distintos elementos metálicos adheridos a su superficie según el proceso por el que se han generado. Las partículas ambientales que provienen de las fuentes móviles que usan gasolina están compuestas por una mezcla de carbón orgánico, carbón elemental y pequeñas trazas de metales y sulfatos. Por ello, se han analizado 14 elementos traza [Hierro (Fe), Zinc (Zn), Manganeso (Mn), Plomo (Pb), Níquel (Ni), Arsénico (As), Cobre (Cu), Bario (Ba), Cadmio (Cd), Cromo (Cr), Vanadio (Va), Selenio(Se), Cerio(Ce) y Cobalto (Co)] asociados a las 88 muestras de PM₁₀ analizadas.

METODO ANALÍTICO

La metodología utilizada en la determinación de los parámetros arriba señalados han sido los siguientes:

Material Particulado

El material particulado (PM₁₀) se ha determinado según el método de referencia (norma UNE-EN 14907). Este método consiste en el muestreo durante 24 horas a caudal fijo de aire ambiente quedando retenido en un filtro el material particulado. Un cabezal de corte selecciona la fracción del material particulado de interés. Las especificaciones concretas y detalladas de todo el proceso de medida se han realizado en base a la norma UNE-EN 14907. Para dar cumplimiento a la norma citada, los filtros limpios se exponen extendidos durante 48 horas dentro de la sala de balanzas a una temperatura de 20°C ± 1°C y una humedad relativa de 45-50 %, antes de las pesadas. El filtro una vez pesado se coloca en el captador y se recoge tras 24 horas de captación. Se registra el valor del contador final del caudalímetro y las condiciones meteorológicas de la toma de muestra. Se acondiciona de la misma manera que el filtro limpio, es decir, durante 48 horas en sala de balanzas. Aplicándose los mismos criterios de aceptación se registran las pesadas. Conocido el peso final (Pf), el peso inicial (Pi) y el volumen de aire captado (V), se determina la concentración de la materia particulada (PM₁₀) expresado en µg/m³, mediante la siguiente ecuación:

$$C = (Pf - Pi) / V \times 10^6$$

Las operaciones de mantenimiento, verificación y calibración de equipos de análisis instrumental y los ensayos fisicoquímicos se han realizado bajo Sistema Gestión de la Calidad ISO 17025. Las validaciones metodológicas realizadas con Materiales de Referencia Certificados permiten establecer los criterios de exactitud, precisión e incertidumbre de los ensayos.

Captador Alto Volumen tipo DIGITEL

Límite cuantificación: 1.39 µg/m³

Incertidumbre (k=2): 0.00027 gramos

Incertidumbre (k=2): 0.38 µg/m³

Metales asociados a partículas

El contenido en metales pesados se ha determinado según el método de referencia (norma UNE-EN 14902). Para determinar las concentraciones de los elementos metálicos cada filtro ha sido digerido en medio ácido. A continuación, se ha procedido a verter 5 ml de ácido nítrico al 65%. Posteriormente, se ha efectuado la digestión del filtro a 220°C durante aproximadamente 20 horas en un digestor. Una vez pasado el tiempo de reposo y enfriamiento de la muestra se ha procedido a su filtración y a su lavado, mínimamente 4 veces con agua ultra pura. El filtrado se ha recogido sobre un matraz aforado de 25 ml, y una alícuota de la disolución anterior ha sido analizada por Espectrometría de Masas con Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP-MS Agilent 7500a) con Nebulizador Babington de alta tolerancia a sólidos disueltos, y celda de colisión para la eliminación de interferencias poliatómicas y Shieldtorch para trabajar a bajas temperaturas (plasma frío). Diseñado para conseguir una rotura de la matriz y una mayor población de átomos ionizados.

Las operaciones de mantenimiento, verificación y calibración de equipos de análisis instrumental y los ensayos fisicoquímicos se han realizado bajo Sistema Gestión de la Calidad ISO 17025. Las validaciones metodológicas realizadas con Materiales de Referencia Certificados permiten establecer los criterios de exactitud, precisión e incertidumbre de los ensayos.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos de las partículas en suspensión y la concentración de metales se han descrito mediante valores medios y desviación estándar (DE). También se ha reflejado el porcentaje de muestras con niveles inferiores al límite de detección (<LOD) de la técnica. En las anteriores campañas se determinó que los metales que presentaban más del 60 % de las muestras con valores por debajo del límite de detección (LOD) no se consideraban en los análisis. En esta campaña y dado que el número de metales con este valor a aumentado, se ha decidido subir el límite al 70 % y analizar todos los metales que han presentado valor en el 30% de determinaciones. En los demás casos, los cálculos se realizaron asignando el valor de la mitad del LOD a las muestras con niveles <LOD. En el caso del Paladio, metal en el que se ha observado un valor muy alto en comparación con el resto de valores obtenidos en la serie temporal (2018-2022), el valor se ha considerado como atípico, por ello, a efectos de este informe no se ha tenido en cuenta en los cálculos de los valores medios y desviación estándar.

Se han calculado los valores medios y desviación estándar de PM₁₀ y metales del año 2022 para comparar estadísticamente (Prueba de Kruskal-Wallis) los valores mensuales, así como los valores mensuales del porcentaje de metales en PM₁₀. Además, se han realizado correlaciones (Coeficiente de correlación de Pearson) entre las concentraciones de metales para determinar si la fuente de emisión ha cambiado respecto al año 2021. Asimismo, se han recogido los datos de las campañas 2018-2021 para compararlos con los datos de este año. Por un lado, se han comparado los valores medios de PM₁₀ y metales de las campañas entre 2018 y 2022. Por otro lado, se han comparado los valores medios de las concentraciones de PM₁₀ y metales entre semana y el fin de semana a través del test estadístico U de Mann Whitney. Por último, se ha analizado si existía una estacionalidad entre las medias del primer semestre y el segundo semestre, mediante el test estadístico U de Mann Whitney.

RESULTADOS

Material Particulado (PM₁₀)

En 2022 se han recogido y analizado 88 muestras de aire recogidas en el periodo enero-mayo 2022. Los resultados de partículas (PM₁₀) valor medio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) y el intervalo de confianza (IC 95%) se describen en la tabla 1. El límite para 24h establecido por el R.D. 102/2011 y recomendado por la OMS ($45 \mu\text{g}/\text{m}^3$) se excedió en un día (2022/3/15), siendo este valor de $62 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Sin embargo, el valor medio anual para 2022 ($16.42 \mu\text{g}/\text{m}^3$) fue inferior al valor límite anual establecido por el R.D. 102/2011 ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y ligeramente mayor que el valor anual recomendado por la OMS, reducido en el año 2021 de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tabla 1: Media (IC 95%) en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de la concentración de PM₁₀ en el periodo enero-mayo 2022, valor máximo y mínimo y número de muestras que superaron los límites del R.D. 102/2011 y la recomendación de la OMS.

MEDIA (IC95%)	16.42 (14.76;18.07) $\mu\text{g}/\text{m}^3$
VALOR MÁXIMO	62 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
VALOR MÍNIMO	6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
N (%) de muestras superiores al límite R.D. 102/2011 (40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1 (0.001)
N (%) de muestras superiores a la recomendación OMS (45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1 (0.001)

La concentración media de PM₁₀ en aire en Azkoitia en 2022 ($16.42 (14.76;18.07) \mu\text{g}/\text{m}^3$), fue similar a los niveles observados durante el 2018 ($16.67 (13.71;19.63) \mu\text{g}/\text{m}^3$), 2019 ($14.21 (11.63;16.79) \mu\text{g}/\text{m}^3$), 2020 ($14 (11.12;16.88) \mu\text{g}/\text{m}^3$) y 2021 ($17.86 (15.72;20) \mu\text{g}/\text{m}^3$) (Figura 3). Las concentraciones medias del 2022 fueron ligeramente menores a las de los años 2019 y 2020 y ligeramente mayores a las de los años 2018 y 2021.

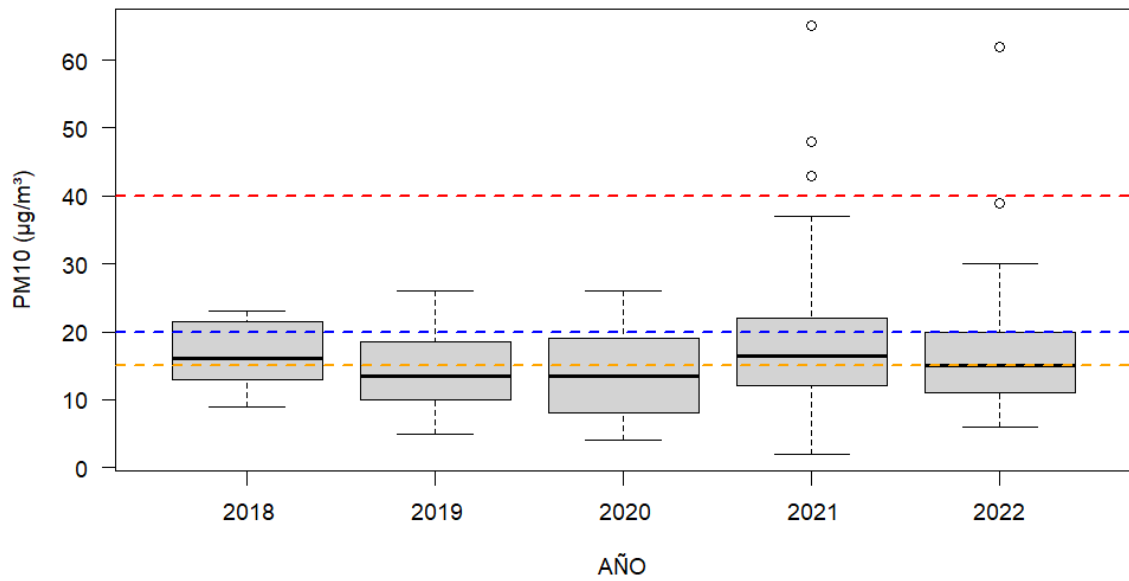


Figura 3: Diagrama de cajas que representa la media (IC95%) anual de la concentración de PM₁₀ (µg/m³) en el periodo 2018-2022 en Azkoitia. Se presenta en color rojo el valor límite anual (40 µg/m³) para PM₁₀ en aire establecido por el R.D. 102/2011, en color azul la recomendación de la OMS anterior al año 2021 con un valor límite anual de 20 µg/m³ y en color amarillo la recomendación de la OMS a partir del año 2021 con un valor límite anual de 15 µg/m³.

Metales asociados a partículas PM₁₀

Los resultados de los metales asociados a PM₁₀, de las 88 muestras de aire captadas durante el primer semestre de 2022 se recogen en la tabla 2. Los niveles de cadmio, plomo, paladio y mercurio estuvieron por debajo del límite de detección (LOD) en todas las muestras o casi todas, tal y como se observó en las campañas del año 2018, 2019, 2020 y 2021. Además, en el resto de metales en el año 2022 el porcentaje de muestras por debajo del LOD ha aumentado, así el cinc presenta más del 70 % de las muestras con valores por debajo del LOD y el cromo, níquel y selenio más del 60 %.

Tabla 2: Media (IC95%) de la concentración de metales en PM₁₀, valores máximos, mínimos, y el número y porcentaje de muestras con concentración inferior al límite de detección (LOD) observados en muestras de aire recogidas en el año 2022.

	Media (IC 95%)	Máximo	Mínimo	<LOD	<LOD(%)
Vanadio PM₁₀ (ng/m³)	0.65 (0.52;0.78)	4.40	0.20	31	35.23
Cromo PM₁₀ (ng/m³)	4.23 (3.42;5.03)	20.00	2.00	53	60.23
Manganeso PM₁₀ (ng/m³)	15.68 (12.82;18.54)	62.00	4.50	32	36.36
Hierro PM₁₀ (µg/m³)	0.43 (0.35;0.51)	2.00	0.05	4	4.55
Cobalto PM₁₀ (ng/m³)	0.15 (0.12;0.18)	0.70	0.02	7	7.95
Níquel PM₁₀ (ng/m³)	4.49 (3.39;5.58)	24.00	2.00	61	69.32
Cobre PM₁₀ (ng/m³)	9.99 (7.88;12.09)	54.00	2.00	20	22.73
Cinc PM₁₀ (µg/m³)	0.03 (0.03;0.03)	0.11	0.02	62	70.45
Arsénico PM₁₀ (ng/m³)	0.54 (0.42;0.66)	3.00	0.20	49	55.68
Selenio PM₁₀ (ng/m³)	0.33 (0.28;0.37)	1.30	0.20	58	65.91
Cadmio PM₁₀ (ng/m³)	0.20 (0.2;0.2)	0.20	0.20	88	100
Bario PM₁₀ (ng/m³)	6.51 (5.32;7.70)	25.00	2.00	34	38.64
Cerio PM₁₀ (ng/m³)	0.23 (0.16;0.30)	2.69	0.02	2	2.27
Plomo PM₁₀ (µg/m³)	0.01 (0.01;0.01)	0.07	0.01	84	95.45
Paladio PM₁₀ (ng/m³)	0.03 (0.02;0.03)	0.23	0.02	78	88.64
Mercurio PM₁₀ (ng/m³)	0.04 (0.04;0.04)	0.04	0.04	88	100

Las correlaciones positivas más altas se dieron entre el hierro, vanadio, cobalto, cromo, manganeso, arsénico, níquel, bario y cerio. En cambio, el selenio estuvo poco correlacionado con los demás metales determinados en PM₁₀ (Figura 4). Los resultados son similares a los encontrados en 2021, con la diferencia que el níquel en 2022 estuvo más correlacionado con el resto de metales que en 2021.

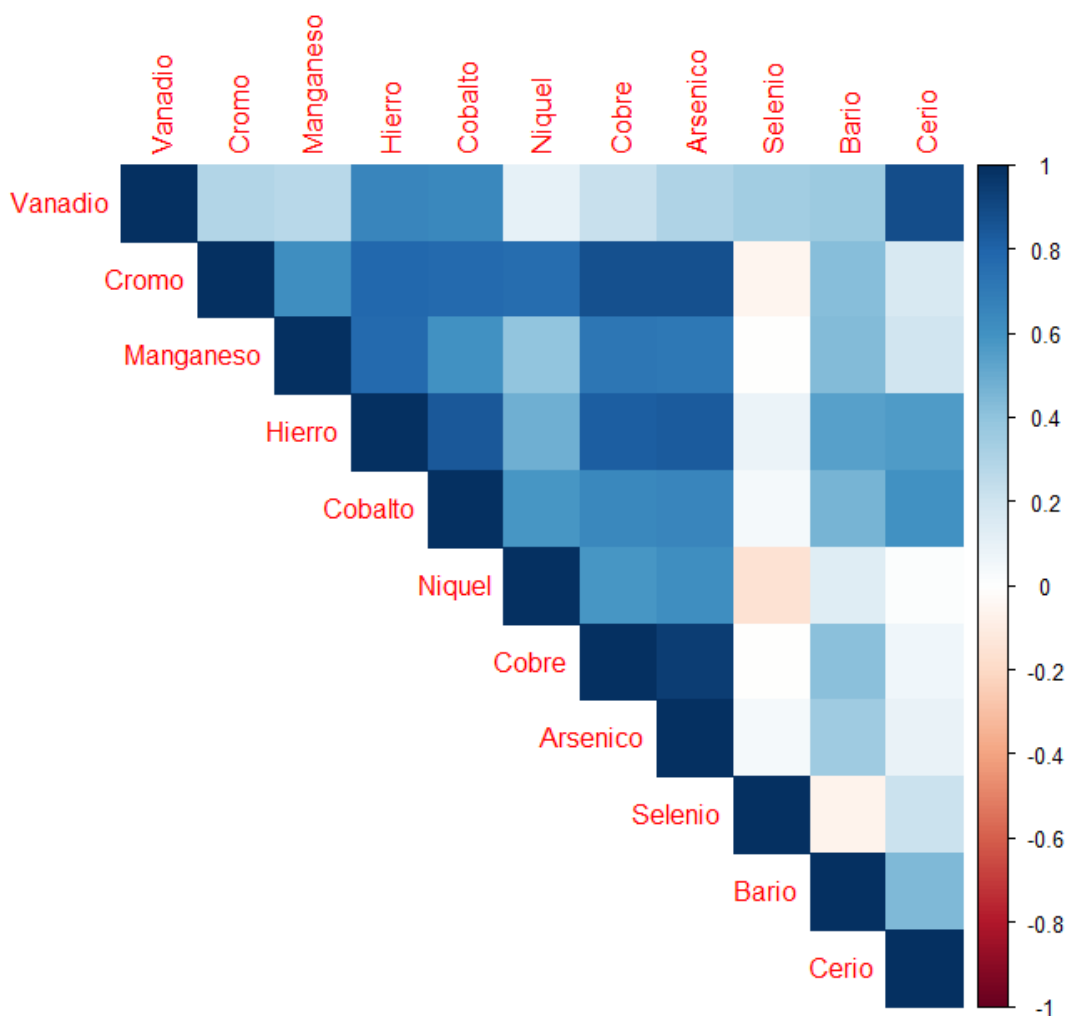


Figura 4: Tabla de correlación de los diferentes metales determinados en Azkoitia en 2022.

En cuanto a la evolución temporal de la concentración de elementos analizados en el periodo 2018-2022 (Tabla 3) los niveles medios han sido estadísticamente similares en el caso del cobalto, níquel, selenio, bario y cerio. En cambio, desde el 2018 los niveles de vanadio, cromo, manganeso, hierro, cobre y arsénico han disminuido de forma significativa. En el caso del cromo y el cobre la disminución de los valores medios ha sido considerable, de un 48 % para el cromo y de un 60 % para el cobre.

Tabla 3: Media (IC95%) de la concentración de los metales analizados en los años 2018, 2019, 2020, 2021 y 2022 en Azkoitia. En negrita se indican los valores estadísticamente significativos observados en el año 2022 con respecto al resto de años.

	2022	2021	2020	2019	2018
Vanadio PM₁₀ (ng/m³)	0.65 (0.52;0.78)	0.81 (0.65;0.97)	0.44 (0.20;0.66)	1.01 (0.62;1.40)	1.17 (0.58;1.76)
Cromo PM₁₀ (ng/m³)	4.22 (3.42;5.03)	5.48 (4.65;6.32)	5.33 (2.6;7.4)	5.45 (3.47;7.44.00)	8.12 (4.24;12.00)
Manganeso PM₁₀ (ng/m³)	15.68 (12.82;18.54)	19.11 (16.70;21.52)	21.03 (11.03;1.16)	24.52 (16.09;32.96)	32.38 (20.96;43.79)
Hierro PM₁₀ (µg/m³)	0.43 (0.34;0.51)	0.6 (0.50;0.69)	0.49 (0.31;0.67)	0.49 (0.34;0.66)	0.71 (0.47;0.96)
Cobalto PM₁₀ (ng/m³)	0.15 (0.12;0.18)	0.15 (0.13;0.18)	0.12 (0.07;0.15)	0.11 (0.07;0.15)	0.17 (0.10;0.23)
Níquel PM₁₀ (ng/m³)	4.48 (3.39;5.58)	5.97 (4.91;7.04)	6.5 (2.22;10.78)	3.65 (2.35;4.95)	4.78 (0.77;6.82)
Cobre PM₁₀ (ng/m³)	9.98 (7.87;12.09)	12.67 (10.90;14.43)	16.66 (9.70;23.63)	14.56 (8.42;20.70)	24.65 (16.42;32.00)
Arsénico PM₁₀ (ng/m³)	0.53 (0.41;0.65)	0.68 (0.58;0.79)	0.77 (0.42;1.12)	0.63 (0.34;0.93)	1.15 (0.71;1.58)
Selenio PM₁₀ (ng/m³)	0.33 (0.28;0.37)	0.40 (0.36;0.44)	0.48 (0.37;0.60)	0.37 (0.24;0.50)	0.37 (0.23;0.51)
Bario PM₁₀ (ng/m³)	6.51 (5.31;7.70)	7.19 (6.19;8.19)	5.33 (3.72;6.94)	3.9 (2.92;4.97)	9.89 (0.56;19.23)
Cerio PM₁₀ (ng/m³)	0.23 (0.15;0.30)	0.32 (0.21;0.43)	0.13 (0.09;1.18)	0.15 (0.11;0.19)	0.78 (0.12;0.24)

En la Tabla 4 se describe el comportamiento de los niveles de PM₁₀ y metales en aire según el mes de análisis. Se observa que enero fue estadísticamente el mes con mayores niveles de PM₁₀ y manganeso, mientras que febrero fue el mes con mayores niveles de cromo, hierro, cobalto, cobre y bario. En el caso del vanadio y el cerio los valores estadísticamente más altos se encontraron en marzo y para el selenio en abril. Al contrario, el porcentaje de la suma de metales en PM₁₀ en general, y de la mayoría de ellos en particular, fue mayor en el mes de febrero (Tabla 5), aunque las diferencias no fueron estadísticamente significativas. Sólo el níquel presentó significativamente mayor porcentaje de concentración en el mes de enero.

Tabla 4: Media (IC95%) mensual de la concentración de los metales en PM₁₀ analizados en 2022 en Azkoitia.

En negrita se ha marcado el mes con la concentración estadísticamente más alta.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo
PM₁₀ (µg/m³)	19.88	18.57	16.7	13.27	17.94
	(15.25;24.52)	(16.06;21.08)	(10.36;23.03)	(11.81;14.73)	(15.24;20.64)
Vanadio PM₁₀ (ng/m³)	0.41	0.58	0.90	0.46	0.87
	(0.25;0.56)	(0.31;0.85)	(0.39;1.41)	(0.35;0.57)	(0.71;1.03)
Cromo PM₁₀ (ng/m³)	5.33	7.64	3.75	3.10	3.25
	(1.87;8.79)	(4.21;11.06)	(2.67;4.82)	(2.24;3.96)	(1.50;4.99)
Manganeso PM₁₀ (ng/m³)	26.16	24.82	12.82	10.74	14.31
	(7.84;44.48)	(14.48;35.15)	(8.93;16.71)	(7.45;14.03)	(10.69;17.93)
Hierro PM₁₀ (µg/m³)	0.56	0.68	0.46	0.26	0.38
	(0.25;0.88)	(0.36;1.01)	(0.26;0.66)	(0.18;0.35)	(0.31;0.45)
Cobalto PM₁₀ (ng/m³)	0.19	0.20	0.18	0.08	0.15
	(0.06;0.32)	(0.12;0.28)	(0.11;0.26)	(0.06;0.11)	(0.07;0.23)
Níquel PM₁₀ (ng/m³)	8.66	7.64	2.90	3.03	4.00
	(2.62;14.70)	(3.26;12.02)	(2.09;3.70)	(2.16;3.91)	(1.07;6.93)
Cobre PM₁₀ (ng/m³)	14.77	19.14	7.20	6.79	8.56
	(5.48;24.07)	(9.56;28.72)	(4.70;9.69)	(4.31;9.27)	(6.25;10.87)
Arsénico PM₁₀ (ng/m³)	0.83	0.96	0.38	0.38	0.46
	(0.28;1.38)	(0.41;1.51)	(0.24;0.51)	(0.23;0.54)	(0.32;0.61)
Selenio PM₁₀ (ng/m³)	0.2	0.23	0.31	0.42	0.34
	(0.2;0.2)	(0.15;0.31)	(0.23;0.39)	(0.32;0.52)	(0.23;0.44)
Bario PM₁₀ (ng/m³)	8.00	11.64	8.00	3.72	4.37
	(4.27;11.72)	(7.70;15.58)	(4.70;11.29)	(2.67;4.77)	(3.19;5.56)
Cerio PM₁₀ (ng/m³)	0.23	0.18	0.44	0.12	0.21
	(0.09;0.37)	(0.12;0.24)	(0.13;0.75)	(0.08;0.14)	(0.16;0.26)

Tabla 5: Media (IC95%) mensual del porcentaje de los metales en PM₁₀ analizados en 2022 en Azkoitia. En

negrita se ha marcado el mes con la concentración estadísticamente más alta.

	Total	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo
Vanadio	0.004	0.002	0.003	0.005	0.003	0.005
	(0.002;0.006)	(0.001;0.003)	(0.001;0.005)	(0.002;0.007)	(0.002;0.005)	(0.003;0.007)
Cromo	0.026	0.026	0.038	0.027	0.024	0.019
	(0.008;0.044)	(0.008;0.045)	(0.012;0.064)	(0.013;0.042)	(0.010;0.038)	(0.001;0.037)
Manganeso	0.095	0.125	0.128	0.089	0.078	0.087
	(0.031;0.159)	(0.025;0.226)	(0.048;0.209)	(0.037;0.140)	(0.026;0.129)	(0.040;0.135)
Hierro	2.457	2.741	3.391	2.748	1.850	2.214
	(1.046;3.867)	(1.239;4.242)	(1.259;5.523)	(1.557;3.939)	(0.762;2.938)	(1.417;3.011)
Cobalto	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
	(0.000;0.002)	(0.000;0.002)	(0.000;0.002)	(0.001;0.002)	(0.000;0.001)	(0.000;0.002)
Níquel	0.028	0.043	0.038	0.023	0.025	0.023
	(0.002;0.054)	(0.005;0.081)	(0.003;0.072)	(0.007;0.039)	(0.007;0.043)	(-0.007;0.054)
Cobre	0.059	0.071	0.093	0.055	0.047	0.050
	(0.014;0.105)	(0.023;0.119)	(0.026;0.161)	(0.012;0.098)	(0.012;0.082)	(0.023;0.077)
Arsénico	0.003	0.004	0.005	0.003	0.003	0.003
	(0.001;0.006)	(0.001;0.006)	(0.001;0.009)	(0.001;0.005)	(0.001;0.005)	(0.001;0.004)
Selenio	0.002	0.001	0.001	0.002	0.003	0.002
	(0.001;0.004)	(0.001;0.001)	(0.001;0.002)	(0.001;0.003)	(0.001;0.005)	(0.001;0.003)
Bario	0.041	0.042	0.067	0.052	0.029	0.027
	(0.007;0.075)	(0.014;0.069)	(0.022;0.111)	(0.010;0.094)	(0.007;0.052)	(0.011;0.043)
Cerio	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001
	(0.000;0.002)	(0.000;0.002)	(0.000;0.001)	(0.001;0.003)	(0.000;0.001)	(0.001;0.002)
Suma metales	2.720	3.060	3.768	3.011	2.066	2.434
	(1.193;4.247)	(1.411;4.708)	(1.475;6.061)	(1.734;4.289)	(0.896;3.236)	(1.556;3.312)

También se ha analizado la diferencia entre los niveles de PM₁₀ y metales entre los días laborables y los fines de semana (Tabla 6). En este caso, se han observado niveles de vanadio, cromo, manganeso, hierro, cobalto, cobre, arsénico y bario significativamente mayores en los días laborables en comparación con el fin de semana.

Tabla 6: Media (IC95%) de la concentración de los metales en PM₁₀ analizados para el periodo 2018-2022 en Azkoitia. En negrita se han marcado los valores p estadísticamente significativas.

	Lunes-Viernes	Sábado-Domingo	p*
PM₁₀ (µg/m³)	17.06 (14.87;19.25)	14.88 (12.76;17.01)	0.331
Vanadio PM₁₀ (ng/m³)	0.73 (0.55;0.90)	0.46 (0.34;0.59)	0.049
Cromo PM₁₀ (ng/m³)	5.00 (3.92;6.08)	2.38 (2.00;2.76)	0.001
Manganeso PM₁₀ (ng/m³)	18.14 (14.54;21.75)	9.81 (5.96;13.65)	0.001
Hierro PM₁₀ (µg/m³)	0.50 (0.39;0.61)	0.26 (0.20;0.32)	0.006
Cobalto PM₁₀ (ng/m³)	0.17 (0.14;0.22)	0.08 (0.07;0.11)	0.003
Níquel PM₁₀ (ng/m³)	4.95 (3.58;6.32)	3.38 (1.60;5.17)	0.113
Cobre PM₁₀ (ng/m³)	12.05 (9.25;14.85)	5.07 (3.64 , 6.52)	<0.001
Arsénico PM₁₀ (ng/m³)	0.65 (0.48;0.81)	0.27 (0.19;0.34)	0.001
Selenio PM₁₀ (ng/m³)	0.35 (0.29;0.40)	0.28 (0.22;0.36)	0.195
Bario PM₁₀ (ng/m³)	7.06 (5.64;8.49)	5.19 (2.96;7.43)	0.033
Cerio PM₁₀ (ng/m³)	0.24 (0.14;0.34)	0.21 (0.13;0.28)	0.694

En cuanto a los datos recogidos del primer semestre del año en 2022 y dado que no se cuenta con datos recogidos en el segundo semestre hemos comparado los datos recogidos con los datos del primer semestre del resto de años (2019-2021). Los resultados muestran que los niveles medios han sido estadísticamente similares en el caso de PM₁₀, cobalto, bario y cerio. En cambio, los niveles de vanadio, cromo, manganeso, hierro, níquel, cobre, arsénico y selenio han disminuido de forma significativa (Tabla 7). En segundo lugar, se ha determinado si existen diferencias entre los dos semestres del año, con los datos únicamente de 2019 y 2020, puesto que son las únicas campañas en las que se dispone de datos de todo el año. En la tabla 8 se puede observar que la concentración media de PM₁₀ en aire no muestra diferencias significativas entre ambos semestres. Mientras que, en el caso de los metales, se han observado diferencias significativas entre la concentración media para el vanadio, cromo, hierro, cobalto y cobre en ambos semestres, siendo la media mayor en el primer semestre.

Tabla 7: Media (IC95%) de la concentración de PM₁₀ y de los metales asociados para el primer semestre de los años 2019, 2020, 2021 y 2022 en Azkoitia. En negrita se han marcado los casos en los que había diferencias significativas entre los años.

	2022	2021	2020	2019	p*
PM₁₀ (µg/m³)	16.42 (14.76;18.07)	17.86 (15.72;20.01)	15.75 (4.69;26.80)	16.25 (12.77;19.73)	0.864
Vanadio PM₁₀ (ng/m³)	0.65 (0.52;0.78)	0.81 (0.65;0.97)	0.43 (-0.10;0.95)	1.32 (0.67;1.96)	0.003
Cromo PM₁₀ (ng/m³)	4.23 (3.42;5.03)	5.49 (4.65;6.32)	7.00 (3.56;10.44)	7.52 (4.17;10.87)	0.001
Manganeso PM₁₀ (ng/m³)	15.68 (12.82;18.54)	19.11 (16.71;21.52)	26.25 (5.73;46.77)	32.17 (17.51;46.84)	0.003
Hierro PM₁₀ (µg/m³)	0.43 (0.35;0.51)	0.60 (0.51;0.69)	0.70 (0.41;0.99)	0.64 (0.38;0.89)	<0.001
Cobalto PM₁₀ (ng/m³)	0.15 (0.12;0.18)	0.159 (0.13;0.18)	0.15 (0.07;0.23)	0.14 (0.08;0.19)	0.243
Níquel PM₁₀ (ng/m³)	4.48 (3.39;5.58)	5.97 (4.91;7.04)	5.50 (-2.77;13.77)	4.85 (2.49;7.19)	0.001
Cobre PM₁₀ (ng/m³)	9.98 (7.87;12.09)	12.67 (10.91;14.43)	24.00 (8.25;39.75)	18.17 (9.19;27.15)	<0.001
Arsénico PM₁₀ (ng/m³)	0.53 (0.42;0.65)	0.68 (0.58;0.79)	1.07 (-0.02;2.17)	0.79 (0.35;1.24)	0.002
Selenio PM₁₀ (ng/m³)	0.33 (0.28;0.37)	0.40 (0.36;0.45)	0.30 (-0.02;0.62)	0.48 (0.25;0.71)	0.024
Bario PM₁₀ (ng/m³)	6.51 (5.32;7.70)	7.19 (6.19;8.19)	6.50 (2.71;10.28)	4.66 (2.98;6.34)	0.133
Cerio PM₁₀ (ng/m³)	0.23 (0.15;0.30)	0.32 (0.22;0.43)	0.15 (0.10;0.18)	0.16 (0.12;0.21)	0.353

Tabla 8: Media (IC95%) de la concentración de PM₁₀ y de los metales asociados para cada semestre del año 2019 y 2020 en Azkoitia. En negrita se han marcado los casos en los que había diferencias significativas entre los dos semestres.

	2020		2019		p
	Enero-junio	Julio-diciembre	Enero-junio	Julio-diciembre	
PM₁₀ (µg/m³)	15.75 (4.69;26.80)	13.61 (10.36;16.86)	16.25 (12.77;19.73)	12.17 (8.21;16.13)	0.096
Vanadio PM₁₀ (ng/m³)	0.43 (-0.10;0.95)	0.45 (0.11;0.79)	1.32 (0.67;1.96)	0.67 (0.28;1.05)	0.020
Cromo PM₁₀ (ng/m³)	7.00 (3.56;10.43)	4.50 (1.57;7.43)	7.52 (4.17;10.87)	3.10 (1.71;4.49)	0.004
Manganeso PM₁₀ (ng/m³)	26.25 (5.73;46.76)	18.50 (3.98;33.01)	32.17 (17.51;46.84)	17.53 (10.65;24.41)	0.056
Hierro PM₁₀ (µg/m³)	0.70 (0.41;0.99)	0.38 (0.15;0.62)	0.64 (0.38;0.89)	0.35 (0.18;0.53)	0.013
Cobalto PM₁₀ (ng/m³)	0.15 (0.07;0.23)	0.10 (0.04;0.17)	0.14 (0.08;0.19)	0.08 (0.05;0.12)	0.037
Níquel PM₁₀ (ng/m³)	5.50 (-2.77;13.77)	7.00 (0.58;13.41)	4.85 (2.49;7.19)	2.32 (1.62;3.01)	0.261
Cobre PM₁₀ (ng/m³)	24.00 (8.25;39.75)	13.00 (4.60;21.39)	18.17 (9.19;27.15)	10.73 (2.34;19.11)	0.033
Arsénico PM₁₀ (ng/m³)	1.07 (-0.02;2.17)	0.61 (0.25;0.98)	0.79 (0.35;1.24)	0.43 (0.03;0.83)	0.061
Selenio PM₁₀ (ng/m³)	0.30 (-0.02;0.62)	0.57 (0.52;0.63)	0.48 (0.25;0.71)	0.35 (0.10;0.59)	0.850
Bario PM₁₀ (ng/m³)	6.50 (2.71;10.28)	4.75 (2.62;6.88)	4.66 (2.98;6.34)	3.17 (1.94;4.41)	0.127
Cerio PM₁₀ (ng/m³)	0.15 (0.10;0.18)	0.13 (0.05;0.19)	0.16 (0.12;0.21)	0.17 (0.09;0.25)	0.331

Las medias anuales de todos los metales (arsénico, figura 5; cadmio, figura 6; níquel, figura 7; y plomo, figura 8) mostraron valores inferiores a los límites establecidos en el R.D.102/2011. En el caso del níquel, se observaron dos valores puntuales de 23 y 24 ng/m³ que superaron el límite anual establecido por el R.D. 102/2011 (figura 7), pero el valor medio anual estuvo por debajo del umbral establecido (Tabla 3).

En el caso del paladio hay que señalar que se ha observado un valor de 3.69 ng/m³, muy superior a la media del total de resultados medidos en el 2022 (0.027 ng/m³) y en la serie temporal de 2018-2022 (0.023 (0.02;0.025) ng/m³).

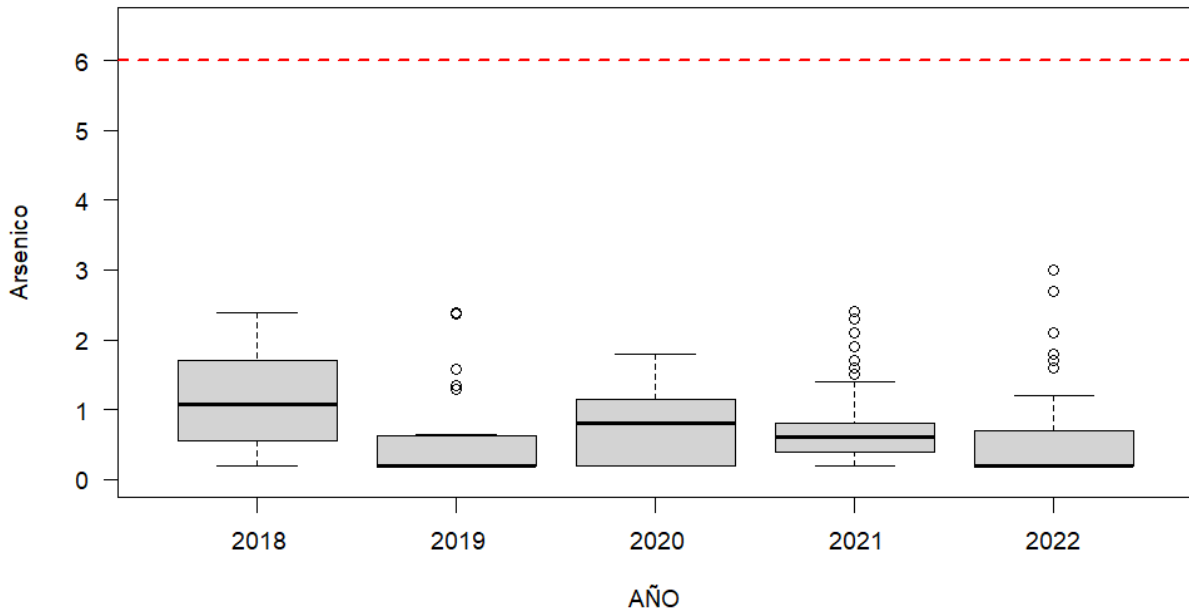


Figura 5: Diagrama de caja representando la concentración de arsénico (ng/m³) en el periodo 2018-2022 en Azkoitia. La línea roja indica el nivel máximo permitida por el R.D. 102/2011.

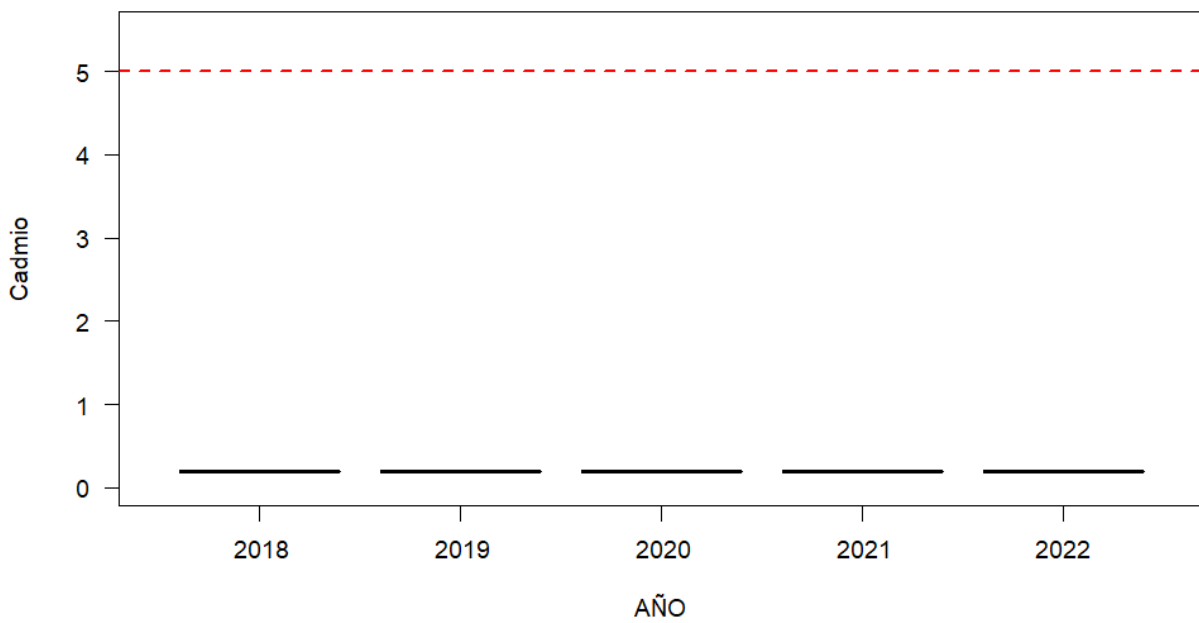


Figura 6: Diagrama de caja representando la concentración de cadmio (ng/m³) en el periodo 2018-2022 en Azkoitia. La línea roja indica el nivel máximo permitida por el R.D. 102/2011.

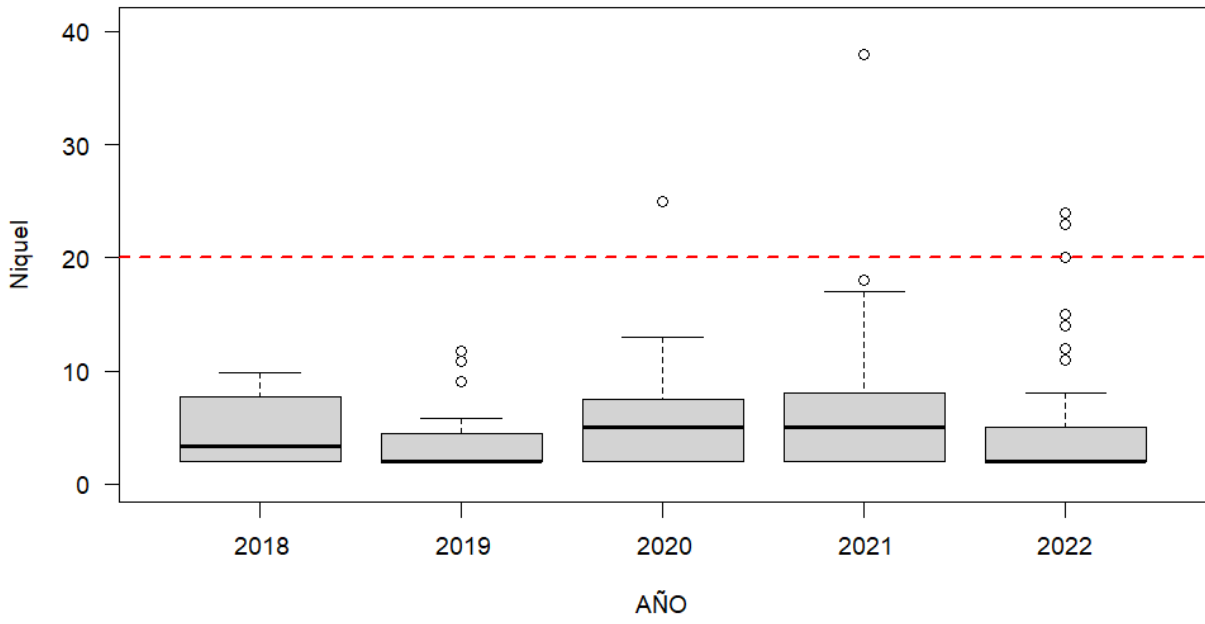


Figura 7: Diagrama de caja representando la concentración de níquel (ng/m^3) en el periodo 2018-2022 en Azkoitia. La línea roja indica el nivel máximo permitida por el R.D. 102/2011.

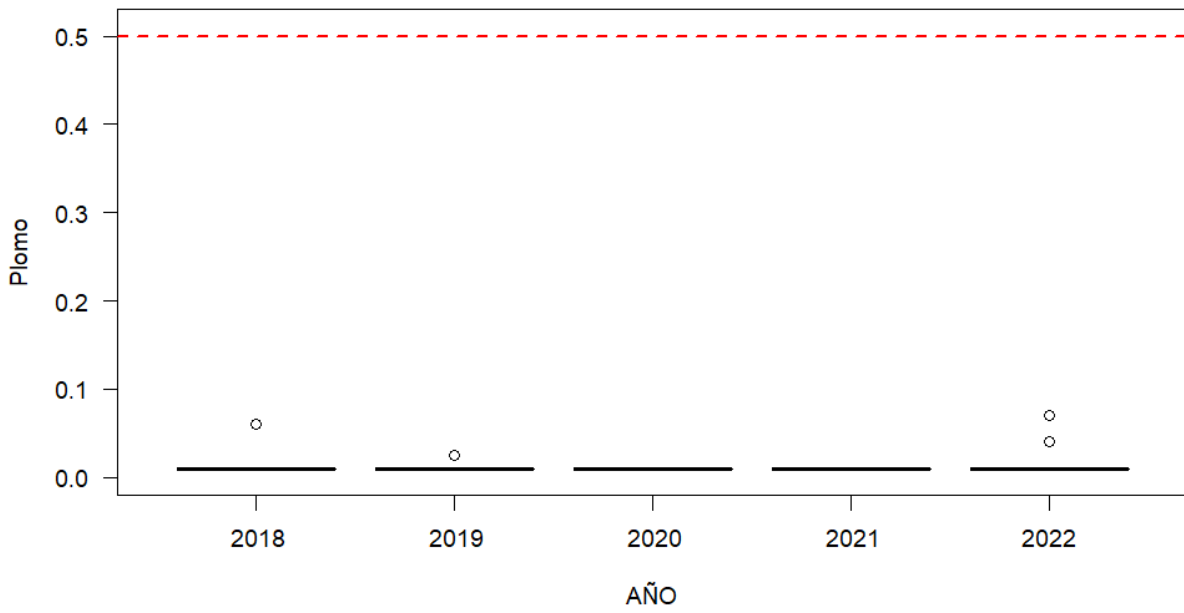


Figura 8: Diagrama de caja representando la concentración de plomo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en el periodo 2018-2022 en Azkoitia. La línea roja indica el nivel máximo permitida por el R.D. 102/2011.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La campaña de monitorización de la calidad del aire realizado en el primer semestre del año 2022 en el municipio de Azkoitia realizado por el grupo de Epidemiología ambiental y desarrollo infantil (EAyDI) se ha realizado de forma similar a las campañas realizadas en los años anteriores. En la campaña de 2021, ya se acordó con el ayuntamiento, no realizar la caracterización de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs) y otros Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs), ya que los niveles observados desde 2018 habían sido muy bajos, y centrarse en la caracterización de metales presentes en el material particulado de tamaño inferior a 10 μm (PM_{10}), aumentando el número de muestras (N).

En la tabla 9, se recogen los valores establecidos en la legislación vigente relativa a la calidad del aire y a una atmósfera más limpia en Europa (2008/50/CE) y en España (R.D. 102/2011) de partículas atmosféricas PM_{10} , y metales traza asociados como el níquel (Ni), el cadmio (Cd), el arsénico (As) y el plomo (Pb) en PM_{10} . Según el R.D. 102/2011, el límite anual de PM_{10} es de 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que la Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda un límite diario de 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para PM_{10} (OMS), que ha actualizado en el año 2021 a 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ siendo aún más restrictivo.

Tabla 9: límites establecidos por la Directiva Europea para la calidad del aire (2008/50/CE)

		Periodo Promedio	Valor límite	Margen tolerancia	Fecha cumplimiento Valor límite
PM₁₀	Valor límite diario	24 horas	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, que no podrán superarse en más de 35 ocasiones año	50%	En vigor desde 1 de enero 2005
	Valor límite anual	Un año civil	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	20%	En vigor desde 1 de enero 2005
Arsénico (As)		Un año civil	6 ng/m^3 ⁽¹⁾	-	1 de enero 2013
Cadmio (Cd)		Un año civil	5 ng/m^3 ⁽¹⁾	-	1 de enero 2013
Níquel (Ni)		Un año civil	20 ng/m^3 ⁽¹⁾	-	1 de enero 2013
Plomo (Pb)		Un año civil	0.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ⁽¹⁾	-	1 de enero 2005

(1) Niveles en aire ambiente en la fracción PM_{10} como promedio durante un año natural

En el caso de las PM₁₀, la media (16.42 µg/m³) observada en la primera mitad del año 2022 es inferior a los límites establecidos por el R.D. 102/2011 y ligeramente superior al límite recomendado por la OMS desde 2021. Sin embargo, se detectó un valor en marzo (62 µg/m³) que superaba el límite del R.D., que coincidió con la llegada de la borrasca Celia que trajo consigo polvo Sahariano (calima) al impulsar vientos fuertes desde el Sahara hasta la península que incrementaron las concentraciones de polvo y partículas en la atmosfera (AEMET, 2022). Por lo tanto, las altas concentraciones de estas partículas podrían estar relacionadas con este fenómeno, del mismo modo que ocurrió en la campaña del año 2021.

Las comparaciones realizadas entre la concentración media de PM₁₀ obtenida este año y el resto de campañas (2018-2021) indica que la concentración media del año 2022 fue similar a las detectadas en las campañas previas. Hay que tener en cuenta que este periodo ha abarcado fases de actividad normal (tráfico e industria), la fase inmediatamente posterior al confinamiento por la pandemia de COVID-19, y la fase de nueva normalidad, en la que las industrias y el tráfico han recuperado su nivel de actividad habitual. La ausencia de diferencias significativas en relación con la concentración de PM₁₀ en los distintos años en los que se ha realizado seguimiento, puede indicar que los niveles observados se corresponden con niveles basales de PM₁₀ en el municipio de Azkoitia. Esta información, como ya se mencionó en los informes previos, podría ser de gran utilidad para poder controlar los cambios que se pudieran dar en un futuro si se iniciara alguna nueva actividad emisora de PM₁₀ en el municipio.

Basándonos en la Orden TEC/351/2019, de 18 de marzo, del Ministerio para La Transición Ecológica (MITECO) en la que se aprueba el Índice Nacional de Calidad del Aire (Tabla 10), se puede concluir que en los años de seguimiento de la calidad del aire en Azkoitia ha sido muy buena.

Tabla 10: nivel de calidad del aire según concentraciones de PM₁₀ en aire estipulado en la Orden TEC/351/2019.

NIVEL DE CALIDAD	RANGO DE CONCENTRACION
Muy bueno	0-20 µg/m ³ .
Bueno	21-35 µg/m ³ .
Regular	36-50 µg/m ³ .
Malo	51-100 µg/m ³ .
Muy malo	101-1200 µg/m ³ .

En relación con la concentración de metales en Azkoitia, los resultados indican que los niveles medios de los metales incluidos en la legislación vigente (R.D. 102/2011) son inferiores al límite establecido. Se observaron solamente dos valores puntuales de níquel que superaron el límite anual. Del mismo modo, en las campañas de 2020 y 2021 se registró un valor alto de níquel, por lo que estos valores se pueden considerar casos aislados. En Europa el límite de concentración en aire del Paladio asociado a PM_{10} no está legislado, en esta campaña se ha observado un valor alto, no observado en ninguna de las campañas anteriores, no existiendo ninguna explicación factible que pueda explicar dicho valor por lo que se ha considerado un valor atípico. En cuanto a la evolución temporal de la concentración de los metales analizados, la concentración del vanadio, cromo, manganeso, hierro, cobre y arsénico ha disminuido significativamente desde el año 2018, siendo esta disminución muy notoria para el caso del cromo y el cobre. En el caso del resto de metales, los niveles medios han sido estadísticamente similares durante todos los años de campaña.

Los metales más correlacionados fueron el hierro, vanadio, cobalto, cromo, manganeso, arsénico, níquel, bario y cerio, empleados comúnmente en la industria metalúrgica. Estas correlaciones fueron similares a las observadas en la campaña de 2021, indicándonos que la fuente de emisión no ha variado. El aumento de la concentración de estos metales en los días laborables en comparación con los fines de semana refuerza la idea que la fuente principal de estos contaminantes es la industria siderometalúrgica.

Los resultados de la comparación de las concentraciones medias del primer semestre (datos de enero a junio) de PM_{10} y metales asociados entre los diferentes años del periodo de estudio coincidieron con los resultados obtenidos en la evolución temporal, sin embargo, también se observaron diferencias significativas en el níquel y el selenio. Asimismo, se ha determinado si existe una estacionalidad en la concentración de PM_{10} en aire y metales traza entre el primer semestre del año y el segundo con los datos de 2019 y 2020. Los resultados determinaron que no existía estacionalidad en el caso de la concentración de PM_{10} , pero sí en algunos metales asociados como el vanadio, cromo, hierro, cobalto y cobre. Estos resultados refuerzan la idea de la importancia de recoger las muestras de metales en aire durante el primer semestre del año, cuando las concentraciones son más altas, ya que, esto nos da una visión del escenario más desfavorable.

El hecho de haber realizado un muestreo de aire exhaustivo en el primer semestre del año 2022 en Azkoitia nos permite caracterizar más en profundidad la exposición a metales en este municipio. El análisis de los niveles mensuales ha indicado que febrero fue el mes con mayores concentraciones de PM_{10} y metales asociados. Como estos resultados podían estar fuertemente influenciados por la concentración de

PM₁₀, se ha querido analizar la carga metálica de las partículas, por lo que se ha calculado el porcentaje de cada metal en PM₁₀. Estos resultados han corroborado los resultados previos, siendo febrero el mes con mayor carga de metales relacionados con la industria metalúrgica. Estos datos son acordes con los resultados obtenidos en la campaña de 2021 así como con resultados de estudios científicos previamente publicados, donde la inversión térmica que ocurre habitualmente en el mes de febrero provoca el estancamiento del aire en la zona de emisión y aumenta los niveles de elementos presentes en el aire del área de exposición a dichas emisiones (Lertxundi et al., 2010). Aunque la concentración de PM₁₀ fue mayor en enero, la carga de metales no fue tan grande, por lo que la fuente de PM₁₀ no estuvo probablemente relacionada directamente con la industria local durante este mes.

En conclusión, la concentración de PM₁₀ y metales asociados a partículas y cuantificados en muestras de aire en Azkoitia en el año 2022 estuvieron por debajo de los límites establecidos por la legislación vigente y la calidad del aire puede clasificarse como muy buena. En general, los niveles de los contaminantes analizados han disminuido en comparación a los de los años previos de estudio, especialmente el cobre y el cromo, cuyas concentraciones han disminuido en un 50-60% en comparación con el año 2018. Febrero fue el mes con partículas atmosféricas con mayor contenido en metales, esto coincide con los datos del año 2021 y con los datos referidos en la literatura (Lertxundi et al., 2010). Los niveles de PM₁₀ por encima del límite en marzo son coherentes con la situación atmosférica del polvo Sahariano descrita en este mes.

BIBLIOGRAFIA

- AEMET,2022.https://www.aemet.es/es/conocerlas/recursos_en_linea/publicaciones_y_estudios/estudios/detalles/Intrusion_polvo_atmosferico
- EEA. <https://www.eea.europa.eu/themes/air/air-pollution-sources>.
- EEA. Air Quality in Europe-2019 Report. European Environment Agency, 2019. Disponible en <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2019>.
- EEA. 2020. Toward zero pollution in Europe. Disponible en <https://www.eea.europa.eu/publications/signals-2020>
- EEA. 2022. Europe's air quality status. Disponible en <https://www.eea.europa.eu/publications/status-of-air-quality-in-Europe-2022/europes-air-quality-status-2022>
- EUSTAT. http://www.eustat.eus/municipal/datos_estadisticos/azkoitia_c.html.
- Lertxundi A, Martínez MD, Ayerdi M, Álvarez J, Ibarluzea JM. 2010. Air quality assessment in urban areas of Gipuzkoa (Spain). Gaceta Sanitaria 24, 187-192.
- MITECO (Ministerio Para La Transición Ecológica). Orden TEC/351/2019, de 18 de marzo, por la que se aprueba el Índice Nacional de Calidad del Aire. BOE, Jueves 28 de marzo de 2019.
- OMS. Air Quality Guidelines for Europe. Second Edition 2000.
- OMS. 2022. <https://www.who.int/es/news/item/04-04-2022-billions-of-people-still-breathe-unhealthy-air-new-who-data>
- OMS. 2005. Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide 2005. Disponible en: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69477/WHO_SDE_PHE_OEH_06_02_eng.pdf?sequence=1
- Querol X, Alastuey A, Viana M, et al. 2004. Speciation and origin of PM10 and PM2.5 in Spain. Journal of Aerosol Sciences.;35:1151–72.
- Querol X, Viana M, Alastuey A, et al. 2007. Source origin of trace elements in PM from regional background, urban and industrial sites of Spain. Atmospheric Environment 41:7219–31.
- Querol X, Alastuey A, Moreno T, et al. 2008. Spatial and temporal variations in airborne particulate matter (PM10 and PM2.5) across Spain 1999–2005. Atmospheric Environment 42:3964–79.