CONAMA 2026

Pesticidas en el aire de una zona impactada por la producción histórica de lindano (Sabiñánigo)

Edita: Fundación Conama

Año: 2026

Este documento está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional.

Personas autoras de la presente comunicación técnica

Autor Principal de la comunicación: María Ángeles Martínez. Profesora de Investigación de OPI. Unidad de COP y Contaminantes Emergentes en Medio Ambiente, Departamento de Medio Ambiente, CIEMAT.

Otros Autores:

Irene Navarro. Científico Titular de OPI. Unidad de COP y Contaminantes Emergentes en Medio Ambiente, Departamento de Medio Ambiente, CIEMAT.

Covadonga Alonso. Titulado Superior. Unidad de COP y Contaminantes Emergentes en Medio Ambiente, Departamento de Medio Ambiente, CIEMAT.

Adrián de la Torre. Científico Titular de OPI. Unidad de COP y Contaminantes Emergentes en Medio Ambiente, Departamento de Medio Ambiente, CIEMAT.

Silvia Royano. Técnico Especializado de OPI. Unidad de COP y Contaminantes Emergentes en Medio Ambiente, Departamento de Medio Ambiente, CIEMAT.

Juan Escobar-Arnanz. Investigador Doctor. Unidad de COP y Contaminantes Emergentes en Medio Ambiente, Departamento de Medio Ambiente, CIEMAT.

Miguel Ángel Arjol. Técnico del Área de Gestión de Residuos y Suelos Contaminados. Departamento de Infraestructuras. Sociedad Aragonesa de Gestión Agroambiental, SARGA.

Jesús Fernández. Técnico especialista geólogo del Servicio de Prevención y Corrección de la contaminación del suelo del Departamento de Medio Ambiente y Turismo, Gobierno de Aragón.

Índice

1. Resumen 1

2. Introducción 2

3. Metodología 3

3.1. Diseño de la Red de Vigilancia de aire ambiental 3

3.2. Determinación analítica 4

4. Resultados 5

4.1. Distribución de HCH en el entorno del vertedero de Bailín 5

4.2. Distribución de HCH en el entorno del vertedero de Sardas y del núcleo urbano de Sabiñánigo 7

5. Conclusiones 9

6. Agradecimientos 9

7. Bibliografía 10

1. Resumen

La gestión inadecuada de la producción, el almacenamiento y la eliminación de residuos de compuestos peligrosos a lo largo de la historia ha generado un importante problema de contaminación ambiental a escala mundial. Entre estos compuestos, se encuentran los pesticidas, en particular los isómeros del hexaclorociclohexano (α-, β-, γ-, δ- y ε-HCH), algunos de los cuales están considerados contaminantes orgánicos persistentes (COP) debido a su elevada persistencia, capacidad de bioacumulación, toxicidad y potencial de transporte a larga distancia. Entre 1975 y 1989, la fábrica INQUINOSA, situada en Sabiñánigo (Aragón, España) produjo lindano y entre 1989 y 1992 se dedicó exclusivamente a su formulación comercial. Durante su actividad generó aproximadamente 610.000 m^3 de residuos, que fueron depositadas principalmente en los vertederos no acondicionados de Bailín y Sardas. Como consecuencia del impacto ambiental generado por estos residuos, Sabiñánigo está reconocido como un área altamente afectada por HCH en la Unión Europea.

Desde 2007, el Gobierno de Aragón ha llevado a cabo importantes actuaciones de remediación y gestión con el objetivo de proteger el entorno y prevenir nuevos episodios de contaminación. En 2014, se estableció una red de monitorización atmosférica para controlar la calidad del aire y evaluar el posible impacto de las actividades de desmantelamiento del vertedero de Bailín y del traslado de sus residuos de HCH a una nueva celda de seguridad. Posteriormente, el estudio se amplió al entorno del vertedero de Sardas con el fin de caracterizar la situación actual e identificar posibles fuentes adicionales de contaminación atmosférica por HCH en el vertedero y sus alrededores.

Este estudio analiza la evolución espacial y temporal de las concentraciones de los isómeros de HCH en el aire del término municipal de Sabiñánigo a lo largo de 11 años (2014-2025), a partir de 1.077 muestras de aire recogidas en 116 campañas consecutivas.

Los resultados muestran que las mayores concentraciones atmosféricas de HCH se registraron durante las fases iniciales de seguimiento, en la fase de desmantelamiento del vertedero de Bailín, con medianas elevadas y que, posteriormente, se ha observado una marcada reducción de los niveles de ΣHCH (suma de α-, β-, γ-, δ- y ε-HCH) y una progresiva estabilización de las concentraciones a lo largo del tiempo. La ampliación de la red de vigilancia al conjunto del municipio, ha permitido caracterizar su distribución espacial y confirmar la persistencia de concentraciones detectables vinculadas a la contaminación histórica. Y aunque los niveles actuales son significativamente inferiores a los registrados al inicio del seguimiento, continúan siendo superiores a los descritos habitualmente en otras zonas de referencia de España.

Esta investigación pone de manifiesto la importancia de realizar una vigilancia ambiental en áreas altamente contaminadas, con el fin de evaluar la evolución de la contaminación y contribuir a la protección del medio ambiente y la salud humana.

Palabras clave: Vigilancia ambiental en aire; contaminantes orgánicos persistentes; lindano; HCH; gestión de residuos; remediación de vertederos.

2. Introducción

En el término municipal de Sabiñánigo (Huesca) existen actualmente tres emplazamientos (los vertederos de Bailín y Sardas y los terrenos de la antigua fábrica de INQUINOSA) afectados por contaminación asociada a compuestos organoclorados, concretamente distintos isómeros del hexaclorociclohexano (HCH). El origen de esta contaminación se encuentra en la actividad industrial desarrollada por la antigua fábrica de INQUINOSA entre los años 1975 y 1989, periodo durante el cual se llevó a cabo la fabricación de lindano, y los años 1989 y 1992, en los que se desarrolló su formulación comercial.

El lindano es el nombre común del isómero gamma del hexaclorociclohexano (γ-HCH), un compuesto organoclorado que se utilizó ampliamente durante varias décadas como insecticida por su eficacia para combatir diferentes tipos de plagas. Su aplicación fue muy diversa, tanto en el ámbito agrícola, para proteger cultivos frente a insectos y plagas del suelo, como en el ámbito ganadero y sanitario. Desde el punto de vista industrial, el lindano se obtenía mediante un proceso de cloración del benceno, en el que se generaba una mezcla de distintos isómeros (α-, β-, γ-, δ- y ε-HCH), de la que era necesario separar y purificar el γ-HCH, puesto que únicamente el isómero gamma presentaba una actividad insecticida suficientemente elevada para su aprovechamiento comercial [1].

Antiguamente, los residuos generados se enterraban de una manera incontrolada, en los alrededores de las fábricas de producción. Esta práctica ha provocado la contaminación de numerosos lugares en todo el mundo. En el caso de la localidad de Sabiñánigo, la mayoría de los residuos fueron enterrados en dos vertederos de la zona, el vertedero de Bailín y el vertedero de Sardas. Se estimó que en el vertedero de Bailín se enterraron 210.000 m^3 de residuos sólidos y 1.400 m^3 de residuos líquidos (fase líquida densa no acuosa, DNAPL; procedente de reacciones fallidas del proceso), y en el vertedero de Sardas, 400.000 m^3, considerando 1.400 - 2.000 m^3 de DNAPL. Además, cuando la fábrica cesó definitivamente su actividad, abandonó en el interior de sus instalaciones residuos que han tenido que ser encapsulados y gestionados de forma adecuada.

El antiguo vertedero de HCH ubicado en Bailín fue utilizado entre los años 1985 y 1992. Debido a fenómenos de lixiviación, se vieron afectadas las aguas subterráneas y superficiales, así como el suelo y el subsuelo del emplazamiento. Por ello, en 2007, el Gobierno de Aragón y el Ministerio competente en ese momento abordaron las obras para el confinamiento de este vertedero, su excavación y la transferencia de los residuos a una nueva celda con medidas adicionales de aislamiento. En 2010 se construyó la infraestructura necesaria para llevar a cabo la excavación y transferencia de los residuos y en 2014 empezaron los trabajos de desmantelamiento. Un total de 65.000 t de residuos de HCH y 342.000 t de suelo contaminado fueron transferidos a la nueva celda de seguridad, con el objetivo de evitar su dispersión y reducir el riesgo de contaminación del entorno. Además, se gestionó el DNAPL extraído durante la fase de excavación de los residuos.

Durante los trabajos de remediación se desarrolló un plan de monitorización ambiental que ha permitido valorar el impacto de estas actividades sobre el medio ambiente. En el marco de las actuaciones llevadas a cabo por el Gobierno de Aragón a través de su empresa pública SARGA, la Unidad de Contaminantes Orgánicos Persistentes y Contaminantes Emergentes en Medio

Ambiente del CIEMAT ha realizado, desde el desmantelamiento del antiguo vertedero hasta la actualidad, un seguimiento de la contaminación atmosférica mediante la evaluación de la presencia de isómeros de HCH en el aire de las zonas de Bailín, Sardas y Sabiñánigo.

3. Metodología

3.1. Diseño de la Red de Vigilancia de aire ambiental

En la Figura 1 se muestra la red de vigilancia de la calidad del aire incluida en este estudio. En una primera fase, se establecieron cinco puntos de muestreo en el entorno del vertedero de Bailín. Posteriormente, la red se amplió con cinco puntos adicionales, distribuidos en las proximidades del vertedero de Sardas, la antigua fábrica de INQUINOSA y los núcleos urbanos de Sardas y Sabiñánigo, con el fin de extender el seguimiento ambiental a estas zonas.

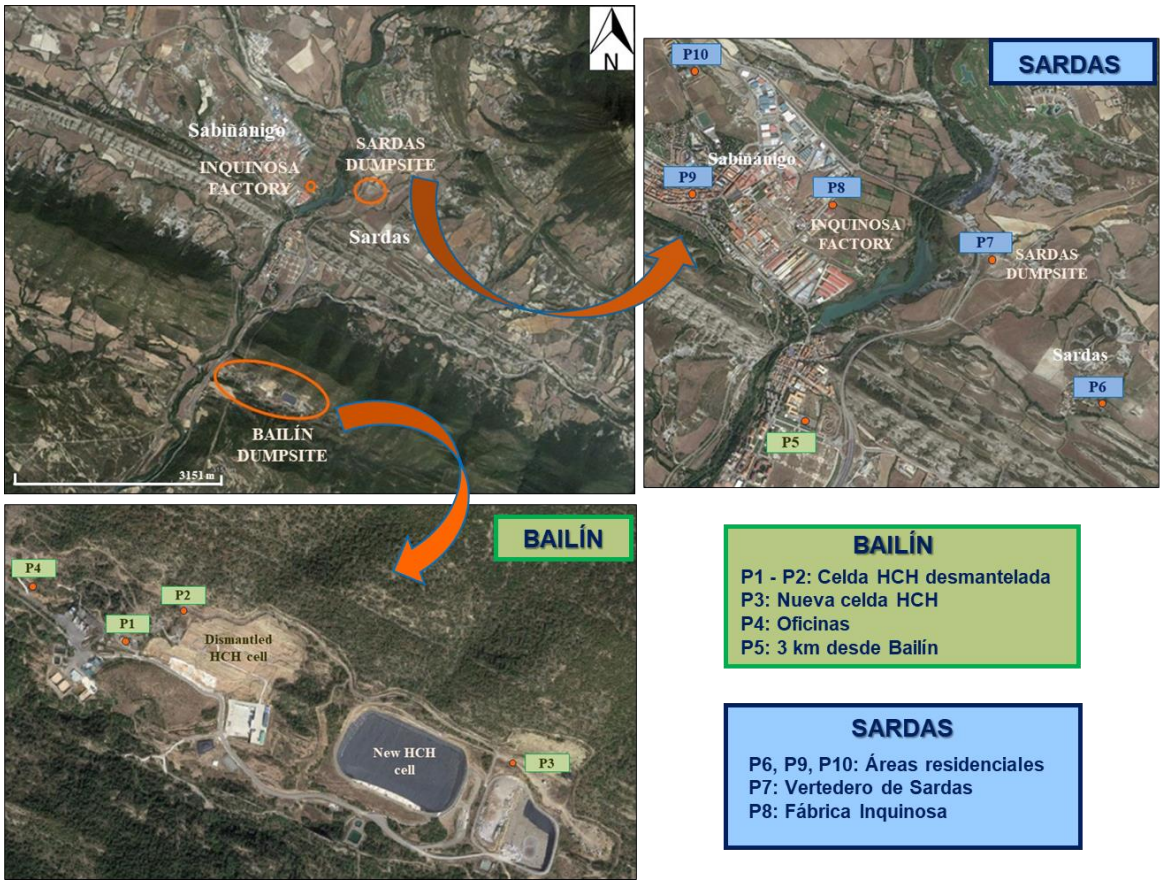


Figura 1. Red de Vigilancia ambiental de aire en las zonas de Bailín, Sardas y Sabiñánigo.

Fuente: Adaptada de De la Torre *et al* (2018) [2] y Navarro *et al* (2019) [3].

Los resultados recogidos en este trabajo abarcan un total de 116 campañas de muestreo realizadas en el entorno de Bailín, desde el inicio de los trabajos de desmantelamiento en 2014 hasta 2025, y 100 campañas en la zona de Sardas, desarrolladas entre 2016 y 2025. En conjunto, estas actuaciones han permitido obtener y analizar un total de 1.077 muestras de aire, proporcionando una amplia base de información para evaluar la evolución de los contaminantes a lo largo del periodo estudiado.

3.2. Determinación analítica

La obtención de muestras se lleva a cabo mensualmente mediante el despliegue de muestreadores de aire pasivos (*passive air samplers*, PAS), equipados con discos de espuma de poliuretano (*polyurethane foam*, PUF) (Figura 2).

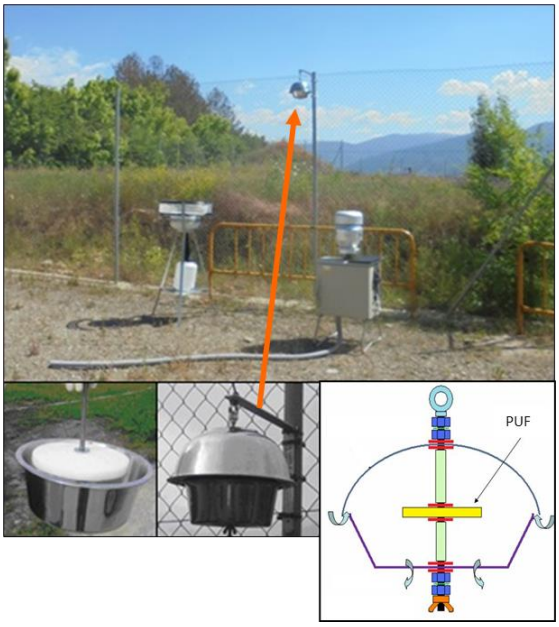


Figura 2. Muestreador de aire pasivo. Estructura y colocación.

Antes del despliegue de los PUF en campo, éstos son acondicionados mediante la técnica de extracción Soxhlet, utilizando como disolventes acetona y éter etílico. Tras el mes de muestreo, se realiza una extracción Soxhlet utilizando tolueno como disolvente, seguida de una etapa de purificación basada en técnicas de cromatografía de adsorción sólido-líquido en columnas de florisil eluidas a presión atmosférica. Los extractos finales se analizan mediante cromatografía de gases de alta resolución acoplada a espectrometría de masas con analizador de triple cuadrupolo (HRGC-MS/MS) [2,3]. Todo ello se realiza bajo el sistema de gestión de calidad implantado en la Unidad de

COP y Contaminantes Emergentes en Medio Ambiente del CIEMAT, certificado en base a la norma ISO 9001[1].

4. Resultados

4.1. Distribución de HCH en el entorno del vertedero de Bailín

Las concentraciones obtenidas para cada uno de los isómeros en los diferentes puntos de muestreo en el entorno de Bailin se representan en la Figura 3. Cabe destacar que los valores obtenidos son considerablemente superiores a los registrados en la Red Nacional de Vigilancia Ambiental de Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP) en aire, que consta de estaciones de seguimiento ubicadas en zonas urbanas y remotas de diferentes puntos de España [4,5].

En el entorno del vertedero de Bailín, se pueden establecer dos periodos de tiempo claramente diferenciados: un primer periodo que incluye los dos primeros muestreos (que se realizaron durante el desmantelamiento del antiguo vertedero y el sellado provisional de la nueva celda; Periodo 1: M1-M2) y un segundo periodo que incluiría los valores obtenidos desde el tercer muestreo en adelante (una vez finalizados los trabajos de desmantelamiento; Periodo 2: M3-M116). Los valores obtenidos durante los dos primeros muestreos o Periodo 1: α-HCH (224 ng/m^3; mediana), β-HCH (174 ng/m^3), γ-HCH (49 ng/m^3), δ-HCH (56 ng/m^3) y ε-HCH (28 ng/m^3), presentan concentraciones estadísticamente superiores (Kruskal-Wallis $p < 0,01$) para todos los isómeros comparados con los obtenidos en el Periodo 2: α-HCH (2,5 ng/m^3; mediana), β-HCH (0,4 ng/m^3), γ-HCH (1,3 ng/m^3), δ-HCH (1,4 ng/m^3) y ε-HCH (0,2 ng/m^3).

A partir del tercer muestreo, las muestras de aire obtenidas en los puntos más cercanos al antiguo vertedero (P1 y P2) presentan valores para todos los isómeros de HCH estadísticamente superiores ($p < 0,01$) al resto de localizaciones (P1 > P2 > P4 ≈ P3 > P5). En general, para todos los puntos de muestreo, excepto para P1, se ha observado una clara disminución de las concentraciones de HCH con el tiempo. En P1 se ubica un decantador que recoge el DNAPL del antiguo vertedero. El isómero mayoritario del DNAPL es γ-HCH [6], lo que podría contribuir a los niveles de lindano en el aire en P1 y explicar que su concentración no haya disminuido significativamente con el tiempo. En todos los lugares muestreados se obtuvieron correlaciones significativas ($p < 0,01$) entre todos los isómeros de HCH, resultado que señala un origen común mayoritario para todos ellos.

[1] El laboratorio de la Unidad de COP y Contaminantes Emergentes en Medio Ambiente del CIEMAT dispone de la certificación ISO 9001:2015 para el diseño, desarrollo y realización de análisis de contaminantes orgánicos persistentes y contaminantes emergentes mediante técnicas de cromatografía y espectrometría (SGS, Nº registro: ES12/12224).

Respecto a la contribución de los distintos isómeros en cada localización, se observa que, tras los dos primeros muestreos y un periodo de transición correspondiente a los dos siguientes, se alcanza una fase de estabilidad (M5-M116). Desde entonces, el patrón de distribución de los isómeros es similar en casi todas las localizaciones, con un claro predominio del α-HCH (42 ± 6%; media ± SD) seguido de γ-HCH (25 ± 4%) y δ-HCH (23 ± 6%) y en menor medida de β-HCH (7 ± 2%) y ε-HCH (3 ± 1%). No obstante, el punto P1 muestra un comportamiento diferente, ya que en este caso el isómero predominante es el γ-HCH (41 ± 7%; media ± SD). Este patrón diferenciado es coherente con la posible influencia de la presencia de DNAPL, rico en γ-HCH, presente en esta zona.

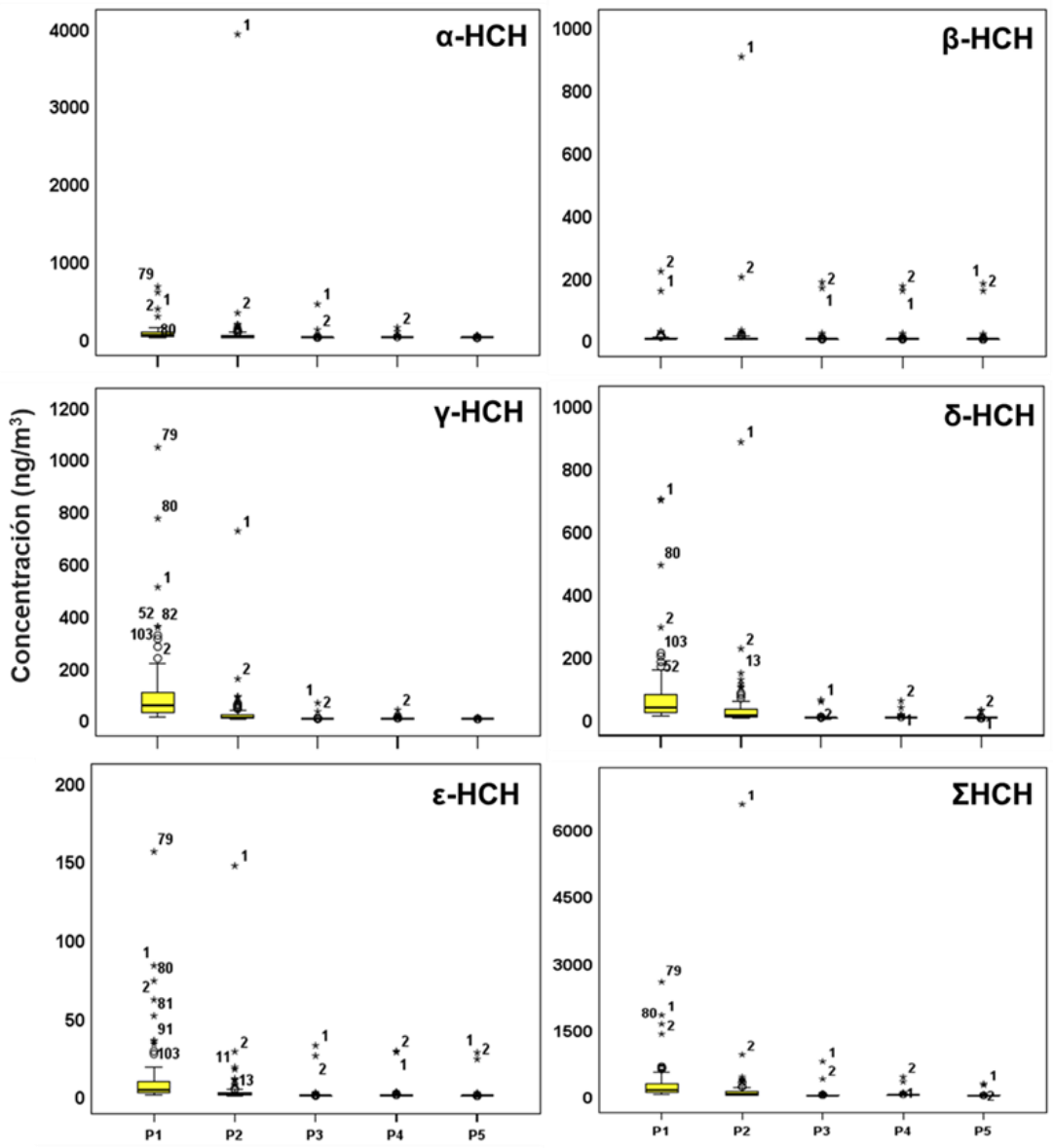


Figura 3. Concentraciones (ng/m^3) obtenidas en el entorno del vertedero de Bailín.

En cuanto a la relación con los parámetros meteorológicos, se observó un aumento de las concentraciones de todos los isómeros de HCH en el aire a medida que aumentaban la temperatura y la radiación solar. Por el contrario, las concentraciones disminuían al incrementarse la humedad relativa. Además, mediante la aplicación de la ecuación de Clausius-Clapeyron, se analizó la relación entre la temperatura registrada durante los muestreos y la presión parcial de cada isómero en las distintas muestras. El estudio de las pendientes obtenidas permite caracterizar el equilibrio termodinámico entre el aire y la superficie, indicando que la presencia de HCH en el aire está principalmente asociada a procesos de evaporación desde las superficies próximas a cada punto de muestreo, y no tanto al transporte de contaminantes desde otras zonas o a fenómenos de transporte a larga distancia.

4.2. Distribución de HCH en el entorno del vertedero de Sardas y del núcleo urbano de Sabiñánigo

Las concentraciones obtenidas en el entorno del vertedero de Sardas y del núcleo urbano de Sabiñánigo se detallan en la Figura 4. Aunque las concentraciones registradas en esta zona (3,1 ng/m^3, suma de α-, β-, γ-, δ- y ε-HCH) son inferiores a las de Bailín (74,5 ng/m^3), siguen siendo órdenes de magnitud superiores a las obtenidas en otros lugares de España [4,5]. Por su parte, los puntos de muestreo situados en las proximidades del vertedero de Sardas (P7) y de la antigua fábrica de INQUINOSA (P8) presentan concentraciones estadísticamente superiores para todos los isómeros con respecto al resto de localizaciones (P7 ≈ P8 > P6 ≈ P9 ≈ P10). Al igual que sucedía en Bailín, en todos los puntos muestreados se obtuvieron correlaciones significativas ($p < 0,01$) entre todos los isómeros de HCH, lo que señala un origen común.

Cabe destacar también el comportamiento del punto P9, situado en el núcleo urbano de Sabiñánigo, donde las concentraciones de γ-HCH son significativamente superiores ($p < 0,01$) a las encontradas en otras zonas residenciales de Sardas y Sabiñánigo, como P6 y P10. Este hecho podría indicar la posible existencia de una fuente de contaminación de lindano, no identificada y distinta a las descritas hasta ahora para el entorno del vertedero de Sardas y Sabiñánigo.

En todos los puntos de muestreo, a excepción de P9, se observa un perfil de distribución similar, en el que predomina el isómero α-HCH (47 ± 10%, 37 ± 10%, 46 ± 9% y 45 ± 8%; media ± SD en P6, P7, P8 y P10 respectivamente) seguido de γ-HCH (29 ± 8%, 34 ± 7%, 29 ± 6% y 30 ± 8%), δ-HCH (15 ± 5%, 20 ± 6%, 17 ± 6% y 16 ± 5%) y en menor medida de β-HCH (6 ± 4%, 5 ± 3%, 6 ± 3% y 6 ± 4%) y de ε-HCH (3 ± 3%, 3 ± 3%, 2 ± 2% y 2 ± 2%). Este comportamiento coincide con el patrón registrado en el punto P5 (45 ± 9%, 29 ± 6%, 17 ± 6%, 6 ± 4%, 2 ± 2%; media ± SD para α-, γ-, δ-, β- y ε-HCH), situado en las proximidades de Sabiñánigo y utilizado como referencia para el seguimiento de la zona de Bailín. Por el contrario, en el punto P9 predomina el γ-HCH (51 ± 10%; media ± SD), lo que podría indicar la existencia de una posible fuente de emisión cercana a este punto.

Al igual que en la zona de Bailín, se encontraron correlaciones significativas ($p < 0,01$) entre las concentraciones de HCH y los parámetros meteorológicos. Asimismo, se identificó un marcado comportamiento estacional, con concentraciones máximas de todos los isómeros durante los meses más cálidos del año.

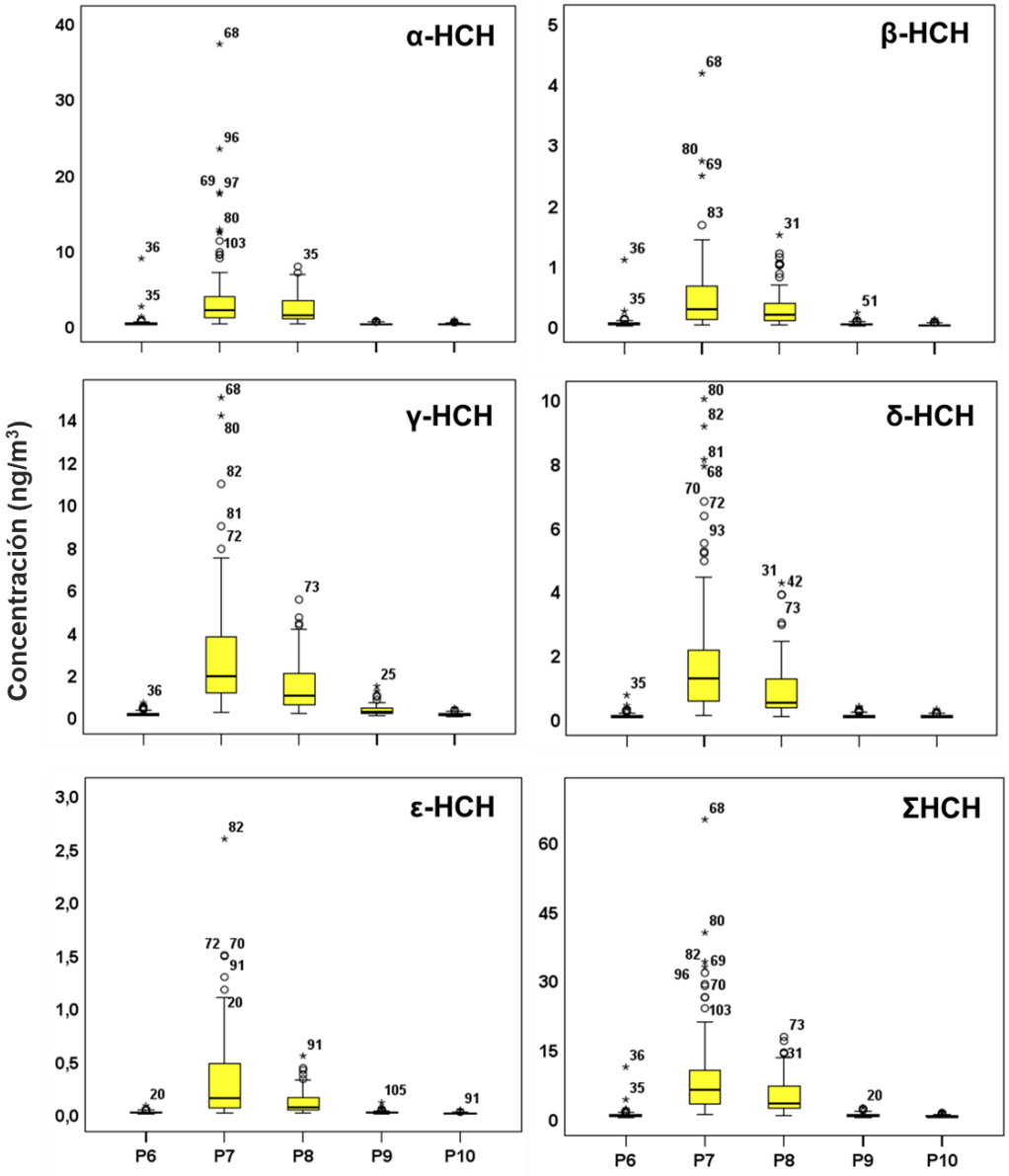


Figura 4. Concentraciones (ng/m^3) obtenidas en el entorno del vertedero de Sardas.

5. Conclusiones

Los niveles de concentración obtenidos en el entorno de Bailín y Sardas son varios órdenes de magnitud superiores a los encontrados en otros puntos del territorio español, pero son similares a los descritos en localizaciones donde se ha producido lindano o algún otro pesticida organoclorado.

Una vez finalizados los trabajos de desmantelamiento del antiguo vertedero y sellado provisional de la nueva celda, se observa claramente una disminución de los niveles de HCH en todos los puntos. Aun así, los resultados indican que los emplazamientos de Sardas, Bailín y la antigua fábrica de INQUINOSA se comportan como posibles fuentes de emisión de HCH en el aire en el entorno de Sabiñánigo. La relación de los niveles de HCH con la temperatura y su marcado carácter estacional indican que proceden principalmente de la volatilización desde superficies contaminadas próximas a los puntos de muestreo.

Todos los datos de concentración de γ-HCH obtenidos en las zonas donde puede haber una exposición ocupacional (P1-P4) son inferiores al límite ambiental de exposición diaria (0,5 mg/m^3, VLA-ED®) establecido por el Instituto Nacional de Seguridad, Salud y Bienestar en el Trabajo [7].

En Sardas y en los puntos alejados del antiguo vertedero de Bailín (P3-P10) no se ha superado el valor de la concentración de referencia del γ-HCH (RfC = 0,3 ug/m^3) establecido por la Agencia de Protección Ambiental de California [8].

En ninguno de los muestreos realizados en Sardas y Sabiñánigo (P5-P10) se ha superado el valor de la concentración de referencia del α-HCH (RfC = 0,25 ug/m^3) establecido en su perfil de riesgos, en el marco del Convenio de Estocolmo [9].

A pesar de las medidas implementadas, es necesario continuar con las medidas de remediación y de control de la contaminación mediante redes de vigilancia ambiental para proteger el medio ambiente y la salud humana.

6. Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el Gobierno de Aragón, a través de la empresa pública SARGA SLU, en el marco de los contratos 5505003-11, 5505003-20, 5506079-16, 5506079-17, 5506079-29, 5507001-18, 5500011-05 y 2023/A-SE-0066.

7. Bibliografía

[1] Willet *et al.* (1998): Willett, K.L., Ulrich, E.M., Hites, R.A. (1998): "Differential toxicity and environmental fates of hexachlorocyclohexane isomers". Environ. Sci. Technol. 32, 2197-2207. https://doi.org/10.1021/es9708530

[2] De la Torre *et al.* (2018): De la Torre, A., Navarro, I., Sanz, P., Arjol, M.A., Fernández, J., Martínez, M.A. (2018). "HCH air levels derived from Bailín dumpsite dismantling (Sabiñánigo, Spain)". Sci. Total Environ. 626, 1367-1372. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.178

[3] Navarro *et al.* (2019): Navarro, I., De la Torre, A., Sanz, P., Arjol, M.A., Fernández, J., Martínez, M.A. (2019). "Organochlorine pesticides air monitoring near a historical lindane production site in Spain". Sci. Total Environ. 670, 1001-1007. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.313

[4] De la Torre *et al.* (2026): De la Torre, A., Muñoz-Arnanz, J., Navarro, I., Colomer-Vidal, P., Alonso, C., Roscales, J.L., Jiménez, A., García, A., Jiménez, B., Martínez, M.A. (2026). "A 15-year atmospheric record of intentionally produced persistent organic pollutants in Spain: Spatial gradients, thermodynamic fractionation, and temporal trends". J. Hazard. Mater. 515, 143155. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2026.143155

[5] De la Torre *et al.* (2016): De la Torre, A., Sanz, P., Navarro, I., Martínez, M.A. (2016). Time trends of persistent organic pollutants in Spanish air. Environ. Pollut. 217, 26-32. http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2016.01.040

[6] Santos *et al.* (2018): Santos, A., Fernández, J., Guadaño, J., Lorenzo, D., Romero, A. (2018). "Chlorinated organic compounds in liquid wastes (DNAPL) from lindane production dumped in landfills in Sabiñanigo (Spain)". Environ. Pollut. 242, 1616-1624. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.07.117

[7] Límites de exposición profesional para agentes químicos en España. 2025, Ed. Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST), NIPO: 118-25-002-8.

[8] Lindane (gamma-hexachlorocyclohexane) fact sheet. United States Environmental Protection Agency. 58-89-9. https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-09/documents/lindane.pdf

[9] Informe del Comité de Examen de los Contaminantes Orgánicos Persistentes sobre la labor realizada en su tercera reunión. Perfil de riesgos del alfa-hexaclorociclohexano. Noviembre 2007. UNEP/POPS/POPRC.3/20/Add.8).

CONAMA 2026