

Estudio bibliométrico de la presencia de plomo en el medio ambiente

Adrián Castrillo Blanco¹, Fernando José Pereira García² y María Iluminada Muñoz Lucas²

¹ Graduado en Ciencias Ambientales. Facultad de Ciencias Biológicas y Ambientales. Universidad de León. Email: acastbo2@estudiantes.unileon.es

² Área de Química Analítica. Departamento de Física y Química Aplicadas. Universidad de León. Email: fjperg@unileon.es, mimunl@unileon.es

Resumen

El plomo es un metal pesado altamente tóxico que puede producir gran cantidad de efectos adversos sobre la salud humana y el medio ambiente, dependiendo de la concentración en la que se encuentre. Los objetivos de este trabajo son: realizar estudios bibliométricos referidos a compartimentos ambientales en los que se encuentra el plomo, fuentes antropogénicas de emisión, métodos de análisis y determinación y métodos de eliminación, y determinar cuál es la base de datos que aporta un mayor número de publicaciones a los estudios realizados. Los compartimentos ambientales en los que se ha estudiado mayormente el plomo son el agua y el suelo; la fuente de emisión antropogénica más común es la minería; el método de análisis y determinación más estudiado la Espectrometría de Masas con fuente de Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP-MS) y el método de eliminación más empleado es el de adsorción. Se observó que la plataforma WOS aporta un mayor número de publicaciones que Scopus en los estudios realizados.

Palabras clave

Adsorción, agua, ICP-MS, minería, plomo, suelo

1. Introducción

El aumento generalizado de actividades como el tráfico, la extracción de recursos, las emisiones industriales o la agricultura intensiva (Rózański *et al.*, 2017) ha provocado un ascenso en la generación de sustancias tóxicas y contaminantes como, por ejemplo, metales pesados que causan graves problemas tanto a la salud humana como al medio ambiente (Zhang *et al.*, 2020).

La problemática y peligrosidad de los metales pesados se debe a que no pueden ser eliminados tanto de forma biológica como de forma química. Además, se bioacumulan y biomagnifican en los seres vivos aumentando sus concentraciones según se asciende en la cadena trófica (Zheng *et al.*, 2023). El plomo (Pb), forma parte de la lista de metales pesados tóxicos que pueden causar graves daños tanto a la salud humana como al medio ambiente, incluso a pequeñas concentra-

ciones. Esto indica la importancia de monitorizar y controlar estos contaminantes en alimentos o en diferentes matrices ambientales.

Para la Organización Mundial de la Salud, el plomo es una de las diez sustancias químicas más peligrosas para el ser humano, lo que requiere un control y seguimiento con el objetivo de proteger la salud, principalmente de trabajadores, niños y mujeres en edad reproductiva (Organización Mundial de la Salud, 2021).

El plomo es un metal que puede ser liberado al medio ambiente tanto por fuentes naturales como antropogénicas (Men *et al.*, 2018). Algunas de las fuentes de emisión antropogénicas de plomo más comunes son la minería, los gases de combustión de los automóviles, la fontanería de plomo y las industrias de pintura (Needleman, 2004).

2. Objetivos

El objetivo general del trabajo ha consistido en evaluar bibliométricamente el estado de la cuestión del plomo desde el punto de vista ambiental. Para ello, se ha determinado cuál es la plataforma de búsqueda de artículos científicos que aporta un mayor número de publicaciones para los estudios llevados a cabo, se ha estudiado en qué compartimentos ambientales se encuentra principalmente el plomo y cuáles son sus fuentes antropogénicas y se han analizado cuáles son las técnicas analíticas de determinación de plomo y los métodos más utilizados para eliminar este metal del medio ambiente.

3. Metodología

Se llevaron a cabo estudios bibliométricos a partir de los cuales se recopiló información referida al número de artículos científicos que versan acerca del plomo, de las matrices ambientales en las que se encuentra, de las fuentes de emisión más relevantes, de las técnicas de eliminación más empleadas y de los métodos de análisis y determinación más utilizados.

El método de búsqueda consistió en efectuar rastreos en buscadores bibliográficos de *Internet*, en inglés, utilizando varios operadores *booleanos* para maximizar la pertinencia de los resultados. El primero de ellos, AND, se utiliza para realizar búsquedas que incluyen los dos términos adyacentes al operador. El segundo, OR, se emplea para búsquedas que incluyen uno u otro término adyacente o ambos a la vez. El tercer y último operador, NOT, permite descartar términos concretos. Además de dichos operadores, también se utilizaron paréntesis para agrupar términos considerados sinónimos, comillas para búsquedas literales y asteriscos para búsquedas de términos que contuvieran la misma raíz.

Para aumentar la pertinencia en los resultados, se acotó la búsqueda a artículos científicos, de revisión y capítulos de libro publicados entre 2012 y 2022, exceptuando la búsqueda de publicaciones referidas a las fuentes de emisión de plomo más comunes, en los que el intervalo de tiempo se amplió hasta el año 2000.

Los estudios bibliométricos se llevaron a cabo utilizando los buscadores Scopus y Web Of Science (en adelante, WOS).

Para que las búsquedas fuesen lo más pertinentes posibles, los campos seleccionados fueron “título + resumen + palabras clave” en el caso de Scopus y “tema” en el caso de WOS. El buscador WOS no permite buscar artículos según el campo “título + resumen + palabras clave”, por lo que las búsquedas se realizaron utilizando el campo “tema”, que es el que se asemeja en mayor medida, puesto que, además de buscar en título, resumen y palabras clave, también lo hace en “*Keywords Plus*”, una patente de WOS.

Estudios preliminares

Inicialmente, se comparó el número de artículos que contienen la palabra “*lead*” en el campo “título” entre las plataformas de búsqueda Scopus y WOS para el intervalo de tiempo seleccionado (desde 2012 hasta 2022). Adicionalmente, en este mismo campo, se estudió la presencia de los términos “*lead AND Pb*” y, también, se efectuó esta misma búsqueda en los campos “título + resumen + palabras clave” en Scopus y “tema” en WOS.

Estudio de compartimentos ambientales que contamina el plomo

Se determinó el número de publicaciones que estudian la presencia de plomo en aire, aguas y suelos buscando los compartimentos ambientales por separado y combinados.

Estudio de fuentes antropogénicas de emisión de plomo

Se seleccionaron como fuentes de emisión de plomo las referidas a combustibles, minería, pinturas y tuberías de conducción sanitaria.

Estudio de técnicas de análisis y determinación de plomo

Como referencia, se consultó el documento de tesis doctoral de Muñoz Lucas (2012) para seleccionar las técnicas de análisis y determinación de plomo. Las técnicas seleccionadas fueron: Espectroscopía de Absorción Atómica de Llama (FAAS), Espectroscopía de Absorción Atómica Electrotérmica (ETAAS), Espectrometría de Masas con fuente de Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP-MS), Espectroscopía de Emisión Óptica de Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-OES), técnicas electroanalíticas (Voltametrías), Fluorescencia de Rayos X (XRF), Microscopía Electrónica de Barrido con Energías Dispersivas de Rayos X (SEM/EDX), Espectrometría Raman y Espectrometría de Infrarrojo con Transformada de Fourier (FTIR).

Estudio de métodos de eliminación de plomo

Se tuvo como referencia el artículo de revisión publicado por Kumar *et al.* (2022). A partir de él, se seleccionaron los métodos de eliminación: coagula-

ción/floculación, técnicas electroquímicas. procesos fotocatalíticos, filtración por membrana, adsorción, biorremediación y precipitación.

4. Resultados y discusión

Estudios preliminares

En primer lugar, se efectuó una búsqueda de publicaciones con el término “lead” en el campo “título”.

Como se aprecia en la **Figura 1**, la plataforma WOS aporta un mayor número de artículos que Scopus en todos los años de estudio. Además, para ambas plataformas, la tendencia en el número de publicaciones es ascendente, aunque a partir del año 2020 el ascenso parece moderarse.

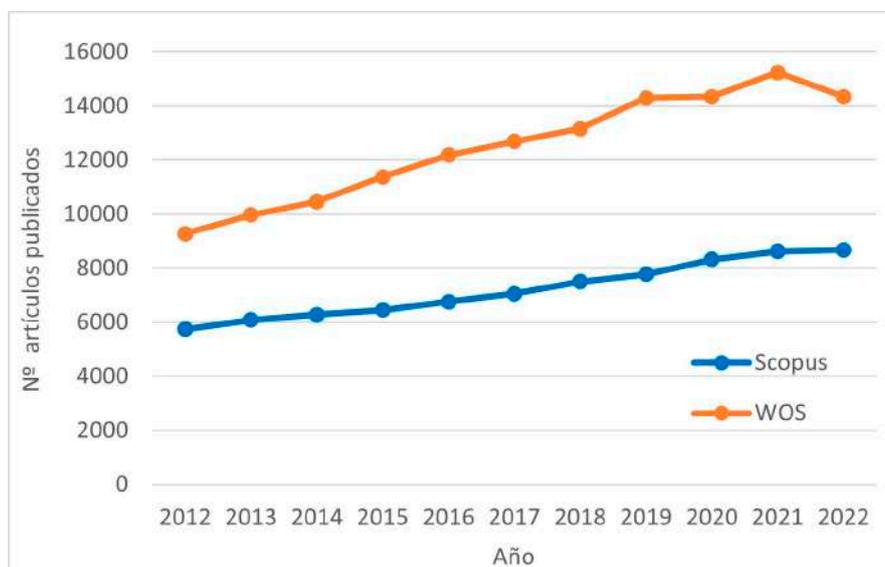


Figura 1. Número de artículos publicados anualmente que incluyen el término “lead” en el campo “título” en Scopus y WOS.

Analizando los resultados, se puso de manifiesto una sobreestimación exagerada de los mismos. Se determinó que esto era debido a otra acepción de “lead”, cuyo significado en inglés es “conducir, dirigir”, lo que provoca que una gran parte de los artículos seleccionados a través de la expresión de búsqueda elegida no hablen de plomo. Para corregir dicho error, se planteó modificar la expresión a “lead AND Pb” realizando la búsqueda en el campo “título”. A continuación, la **Figura 2** ilustra los resultados obtenidos mediante la nueva expresión.

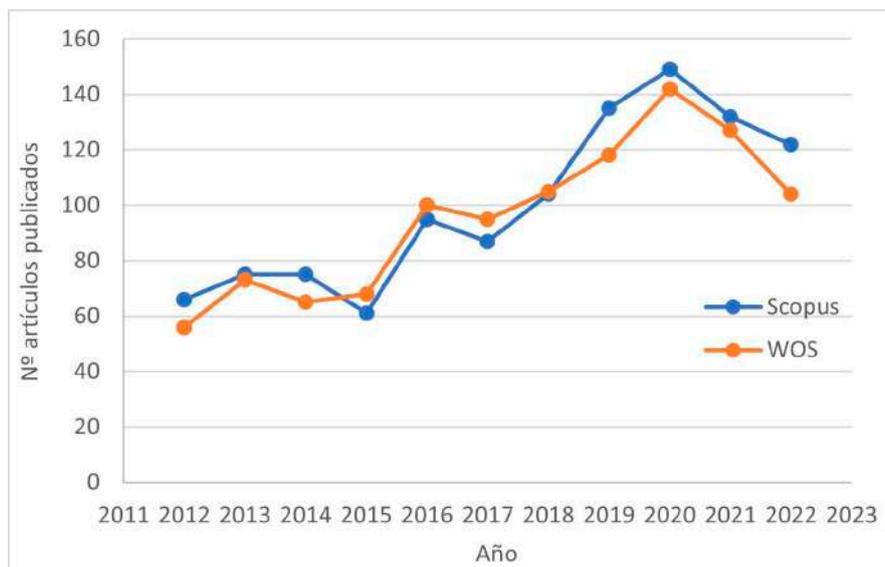


Figura 2. Número de artículos publicados anualmente que incluyen los términos “lead AND Pb” en el campo “título” en Scopus y WOS.

Observando los resultados de la **Figura 2** se ve que el número de artículos publicados ha descendido drásticamente respecto a la búsqueda anterior. Esto podría deberse a la dificultad de encontrar artículos que presenten en su título tanto el término “lead” como su símbolo “Pb”. Por este motivo, se descartó la opción de rastrear los artículos buscando “lead AND Pb” en el campo “título”.

Como alternativa, se planteó emplear la expresión “lead AND Pb” introducida en el campo “título + resumen + palabras clave” para la plataforma Scopus y en el campo “tema” para la plataforma WOS. Los resultados de esta nueva búsqueda se recogen en la **Figura 3**.

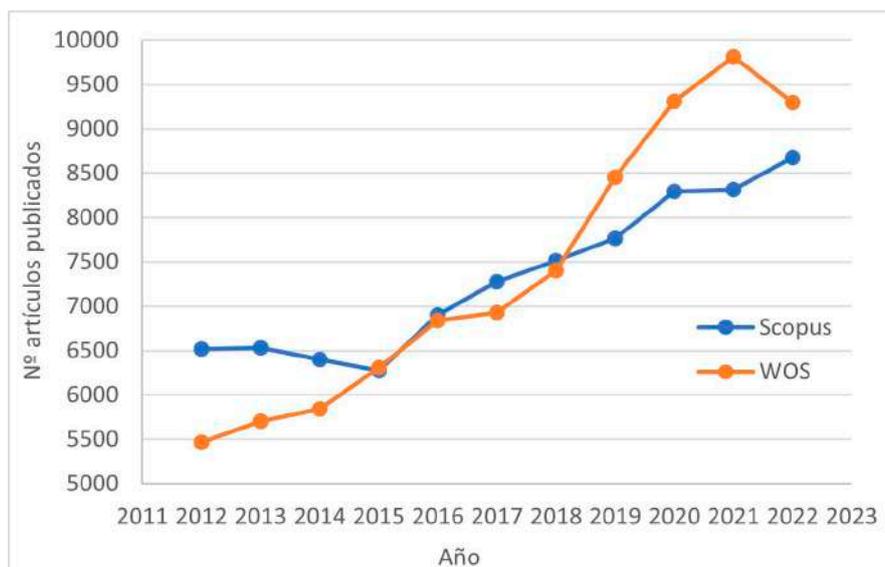


Figura 3. Número de artículos publicados anualmente que incluyen los términos “lead AND Pb” en el campo “título + resumen + palabras clave” en Scopus y “tema” en WOS.

La **Figura 3** indica que la tendencia en el número de publicaciones anuales es ascendente en WOS hasta 2021, año en el que decrece. Para el caso de Scopus, durante los primeros años de estudio (2012-2015), la tendencia fue ligeramente descendente destacando el año 2014. En años posteriores, el número de publicaciones aumentó progresivamente.

Cabe destacar que, hasta 2015, la plataforma que arrojaba mayor número de resultados fue Scopus y, a partir de 2018, esta situación se invierte.

Estudios de compartimentos ambientales que contamina el plomo



Figura 4. Diagrama de sectores de las publicaciones rastreadas por (A) Scopus y (B) WOS, referidas a los diferentes compartimentos ambientales en los que está presente el plomo.

Observando la **Figura 4A**, un gran porcentaje de las publicaciones están dirigidas a la presencia de plomo, tanto en agua (36,7 %) como en suelo (36,4 %) de manera individual. Además, las publicaciones que tratan de la combinación de ambas es del 1 %.

Para WOS, los resultados difieren en cuanto a que el mayor número de publicaciones se centran en la presencia de plomo en las tres matrices ambientales (agua + suelo + aire), representando un 61,7 %. Este porcentaje tan elevado podría deberse al funcionamiento interno de WOS: en el campo “tema”, WOS incluye título, resumen, palabras clave y una patente conocida como “*KeyWords Plus*”. Consecuentemente, el número de publicaciones encontradas no será representativo para esta expresión en concreto.

Una vez analizados los resultados obtenidos para los dos buscadores, se procedió a realizar una comparación entre ambos, descartando la búsqueda en agua + suelo + aire (**Fig. 5**).

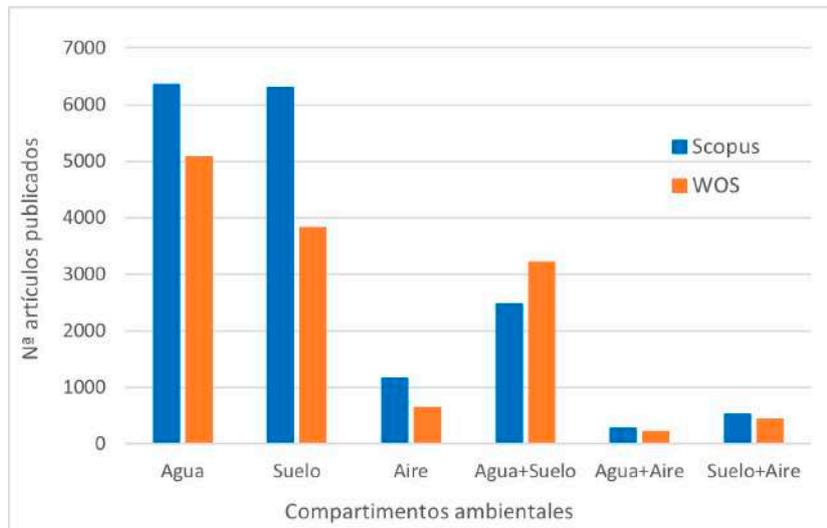


Figura 5. Comparación entre el número total de artículos, publicados en el intervalo de tiempo estudiado, proporcionados por Scopus y WOS, referidos a los distintos compartimentos ambientales en los que está presente el plomo.

Se observa que Scopus aporta un mayor número de publicaciones que WOS para todas las matrices ambientales estudiadas, tanto de forma individual como combinadas, exceptuando la opción agua + suelo.

Los resultados ponen de manifiesto que tanto el agua como el suelo constituyen los dos compartimentos ambientales que más relevancia tienen. Esto es debido a que las especies predominantes de plomo se presentan solubilizadas o precipitadas en forma de minerales (Li *et al.*, 2014; Islam *et al.*, 2015).

Para finalizar este estudio, se analizó el número de artículos publicados anualmente en cada matriz ambiental y sus respectivas combinaciones, retirando agua + suelo + aire. Los resultados se recogen en la **Figura 6**.

Como se observa en ambas gráficas, el número de publicaciones aumenta en el intervalo de tiempo estudiado, excepto para el caso de WOS en el año 2019, en el que el número de estudios relativos al plomo en la combinación (agua + suelo) disminuye.



Figura 6. Número de artículos publicados anualmente para las diferentes matrices ambientales en las que se encuentra el plomo en (A) Scopus y (B) WOS.

Estudio de fuentes antropogénicas de emisión de plomo

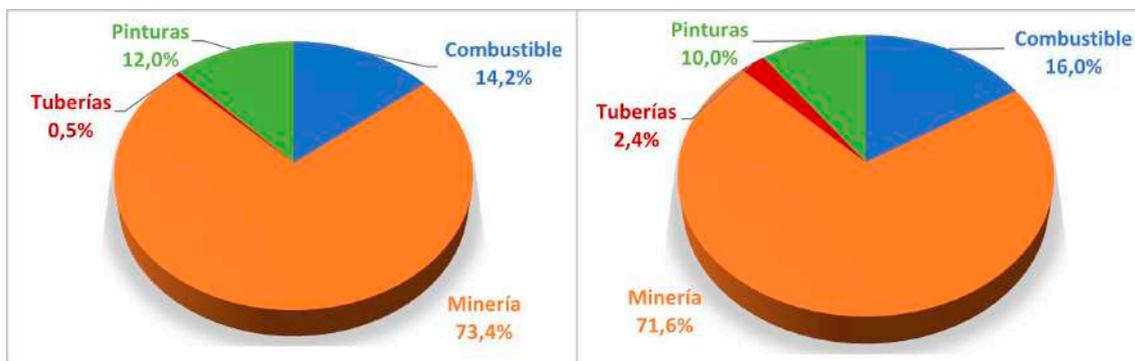


Figura 7. Diagrama de sectores de las publicaciones rastreadas por (A) Scopus y (B) WOS, referidas a las principales fuentes antropogénicas de emisión de plomo.

Como se observa en la **Figura 7**, la mayor parte de los artículos referidos a las fuentes antropogénicas de plomo se centra en la minería, citada en el 73,4 % de los artículos totales en el caso de Scopus y en el 71,6 % en WOS. Esto puede deberse a que la extracción de minerales de plomo es una actividad tradicional que en la actualidad se sigue practicando. Además de por esta razón, el gran número de publicaciones que ocupa la minería puede deberse a la gran superficie que abarcan estas explotaciones en relación a las otras fuentes tratadas, las cuales se encuentran alrededor de zonas urbanas principalmente (Zhuang *et al.*, 2009; Acosta *et al.*, 2011).

A continuación, se realizó una comparación entre motores de búsqueda en cuanto al número de artículos publicados para cada fuente antropogénica de emisión (**Fig. 8**).

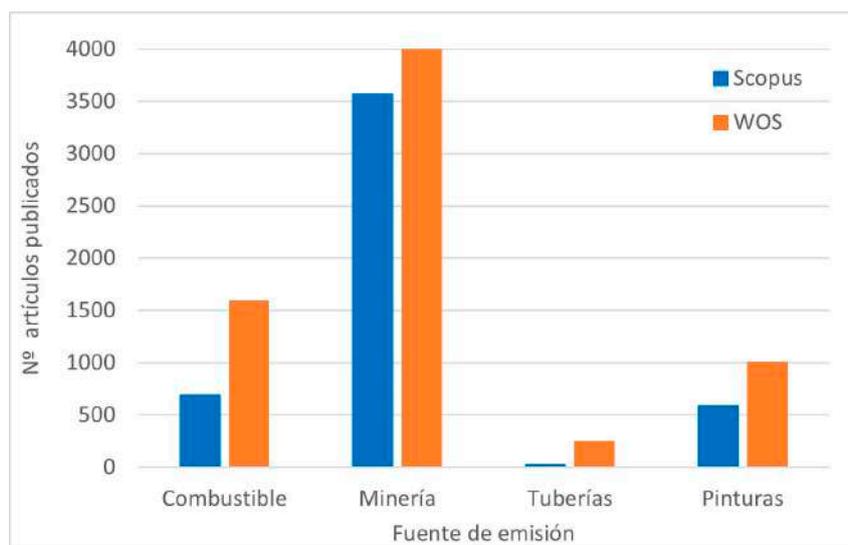


Figura 8. Comparación entre el número total de artículos, publicados en el intervalo de tiempo estudiado, proporcionados por Scopus y WOS, referidos a las distintas fuentes antropogénicas de emisión de plomo.

Como se observa en la **Figura 8**, la plataforma WOS aporta un mayor número de artículos para todas las fuentes contaminantes estudiadas.

Finalmente, se evaluó el número de artículos publicados anualmente para cada fuente antropogénica de emisión y base de datos (**Fig. 9**). Como se pone de manifiesto en esta figura, tanto en Scopus como en WOS existe una tendencia ascendente en el número de artículos publicados relativos a la minería, a los combustibles y a las pinturas como fuentes de plomo. En cuanto a las tuberías de conducción sanitarias, el número de estudios se ha mantenido estable en el periodo de tiempo evaluado. El aumento del número de publicaciones para el caso de la minería es mayor al del resto de fuentes de emisión, especialmente en el intervalo entre 2007 y 2009 para Scopus y en el año 2020 para WOS.

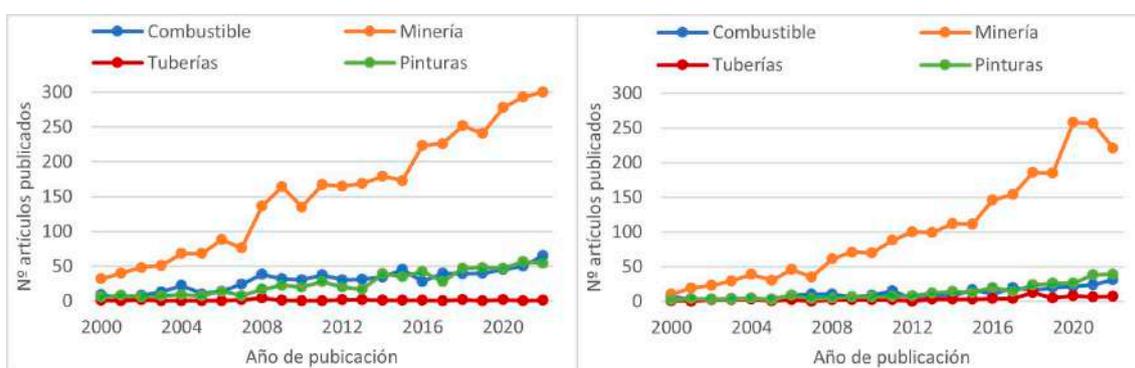


Figura 9. Número de artículos publicados anualmente para las diferentes fuentes de emisión en (A) Scopus y (B) WOS.

Estudio de técnicas de análisis y determinación de plomo

Los resultados obtenidos para ambos buscadores se recogen en la **Figura 10**.

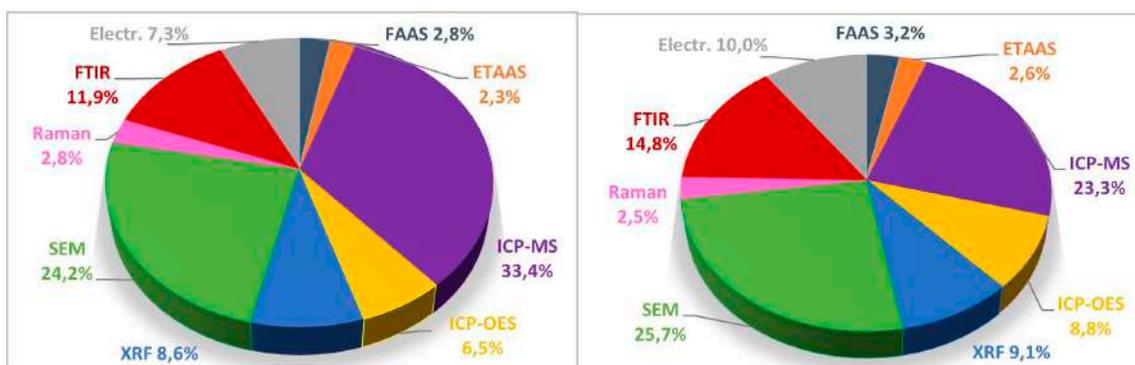


Figura 10. Diagrama de sectores de las publicaciones rastreadas por (A) Scopus y (B) WOS, referidas a las principales técnicas de análisis y determinación de plomo.

Como se observa en la **Figura 10**, tanto los artículos rastreados por Scopus como por WOS presentan una distribución similar en cuanto a técnicas analíticas de determinación de plomo. Así, el ICP-MS constituye la técnica más empleada a la hora de analizar este metal (33,4 % y 23,3 % en Scopus y WOS, res-

pectivamente). Los resultados muestran que el SEM/EDX es la siguiente técnica más utilizada (24,2 % y 25,7 %), seguida de FTIR (11,9 y 14,8 %).

Las siguientes técnicas analíticas más citadas son XRF (8,6 % en Scopus y 9,1 % en WOS), las técnicas electroanalíticas (7,3 % y 10,0 %) e ICP-OES (6,5 % y 8,8 %).

Las técnicas espectrométricas de masas (ICP-MS) son, actualmente, las más empleadas (Tokalioğlu, 2012). Esto es así puesto que se trata de la técnica más sensible y que permite identificar un elevado número de analitos de manera simultánea y con una menor interferencia espectral (Tokalioğlu, 2012; Khan *et al.*, 2014; Trzcinka-Ochocka *et al.*, 2016).

Las técnicas electroanalíticas, especialmente las voltametrías, son de gran interés para la determinación a niveles traza tanto de cationes metálicos, especialmente metales pesados, como de compuestos orgánicos (Pereira *et al.*, 2016). Esta elevada sensibilidad, unida a que se trata de técnicas que se efectúan con el mismo equipamiento (potenciostato/galvanostato), que es muy versátil y económico, hacen que se desarrollen muchos métodos analíticos de metales pesados en concentraciones traza en muchos laboratorios de investigación.

Por su parte, el empleo del ICP-OES para cuantificar plomo es similar que las técnicas electroanalíticas. Esto se debe, además de a su sensibilidad, a que es una técnica de emisión atómica multielemento, es decir, permite analizar, de manera simultánea, varios analitos presentes en la misma muestra (Sereshti *et al.*, 2012).

Por otra parte, es importante señalar que ciertas técnicas analíticas estudiadas en este TFG, como son SEM/EDX, Espectrometrías Raman y FTIR y XRF, se emplean principalmente para caracterizar materiales, puesto que el análisis cuantitativo con ellas es problemático (bajas sensibilidades, métodos semicuantitativos, etc.) (Abadllah *et al.*, 2020).

A continuación, se comparó el número de publicaciones referidas a las distintas técnicas de análisis y determinación de plomo en Scopus y WOS, retirando los resultados relativos a las técnicas de caracterización (**Fig. 11**). La **Figura 11** permite comprobar que, para todas las técnicas analíticas, excepto ICP-MS, el número de publicaciones rastreadas es mayor en el buscador WOS.

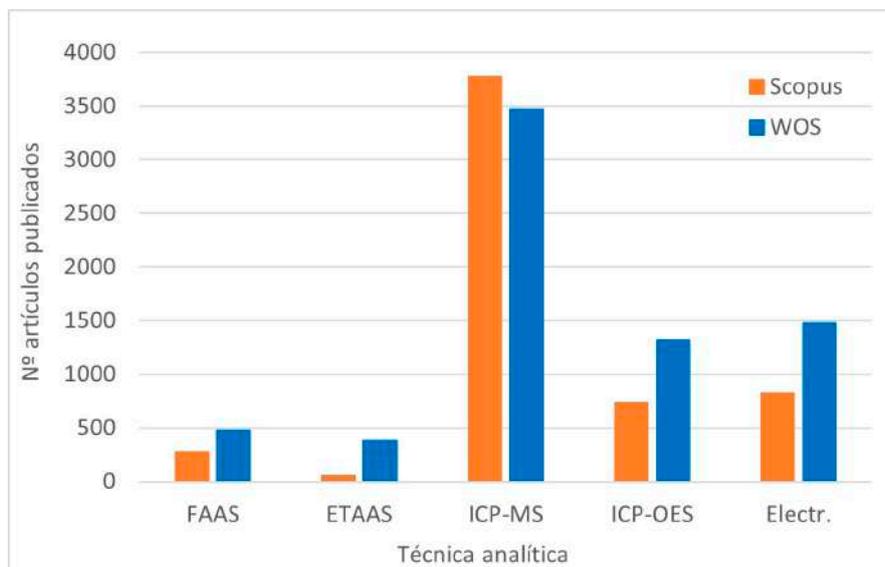


Figura 11. Comparación entre el número total de artículos, publicados en el intervalo de tiempo estudiado, proporcionados por Scopus y WOS, referidos a las distintas técnicas de análisis y determinación de plomo.

Finalmente, se llevó a cabo un estudio (**Fig. 12**) con el objetivo de analizar el número de artículos publicados anualmente para cada técnica analítica. Se han retirado las técnicas de caracterización mencionadas anteriormente.

De esta figura se deduce que, para la mayoría de las técnicas analíticas, el número de publicaciones en ambas plataformas se ha mantenido estable o ha crecido ligeramente. Sin embargo, para la técnica de ICP-MS, la tendencia es diferente, puesto que se aprecia un claro crecimiento en el intervalo de tiempo estudiado.

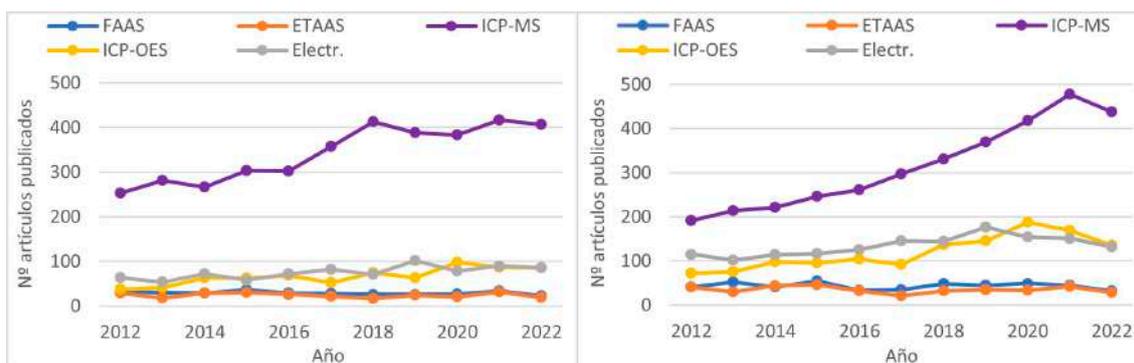


Figura 12. Número de artículos publicados anualmente para las diferentes técnicas de análisis y determinación de plomo en (A) Scopus, y (B) WOS.

Estudio de métodos de eliminación de plomo

Se escogieron como métodos de eliminación de plomo la coagulación/floculación, las técnicas electroanalíticas, los procesos fotocatalíticos, la filtración por membrana, la adsorción, la biorremediación y la precipitación (**Fig. 13**).

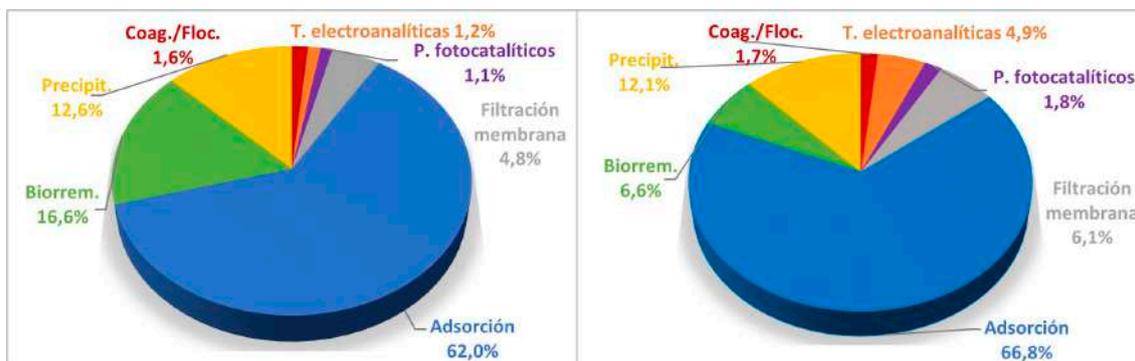


Figura 13. Diagrama de sectores de las publicaciones rastreadas por (A) Scopus, y (B) WOS, referidas a los principales métodos de eliminación de plomo.

Como se ilustra en estos diagramas de sectores, el método de eliminación de plomo más estudiado en los últimos diez años es la adsorción (62,0 % en Scopus y el 66,8 % en WOS). Esto se debe a que los materiales adsorbentes se caracterizan por poseer una alta porosidad, lo que se traduce en una elevada área superficial: consecuentemente, expone más superficie a la disolución y dispone de más sitios de unión al contaminante, favoreciendo la efectividad de su eliminación (Tahoon *et al.*, 2020). Además de esto, es una técnica limpia, de diseño simple y de fácil operación (Velarde *et al.*, 2023).

A continuación, el método de precipitación es el más empleado para la plataforma WOS (12,1 %) mientras que en el caso de Scopus el segundo más citado es el de biorremediación (16,6 %). Desde el punto de vista medioambiental, la biorremediación es un proceso limpio, económico, sencillo y que demanda poca energía, que aprovecha la capacidad que tienen algunos seres vivos, principalmente hongos, bacterias y plantas, para movilizar o inmovilizar el plomo (Lovley y Coates, 1997) mientras que la precipitación química genera una mayor cantidad de residuos en forma de sales insolubles (Zeng *et al.*, 2017).

Seguidamente, se procedió a comparar el número de artículos publicados en cada buscador para los diferentes métodos de eliminación (**Fig. 14**).

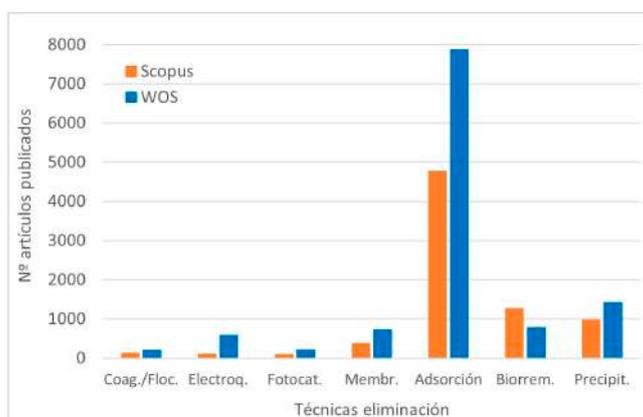


Figura 14. Comparación entre el número total de artículos, publicados en el intervalo de tiempo estudiado, proporcionados por Scopus y WOS, referidos a los métodos de eliminación de plomo.

Observando la **Figura 14**, se constata que WOS aporta un número mayor de artículos que Scopus para todos los métodos estudiados, exceptuando para la biorremediación. En el caso del método de adsorción se percibe una gran diferencia de publicaciones entre WOS y Scopus.

Finalmente, en la **Figura 15** se analizó el número de publicaciones anuales para cada método de eliminación de plomo y para cada plataforma de búsqueda.

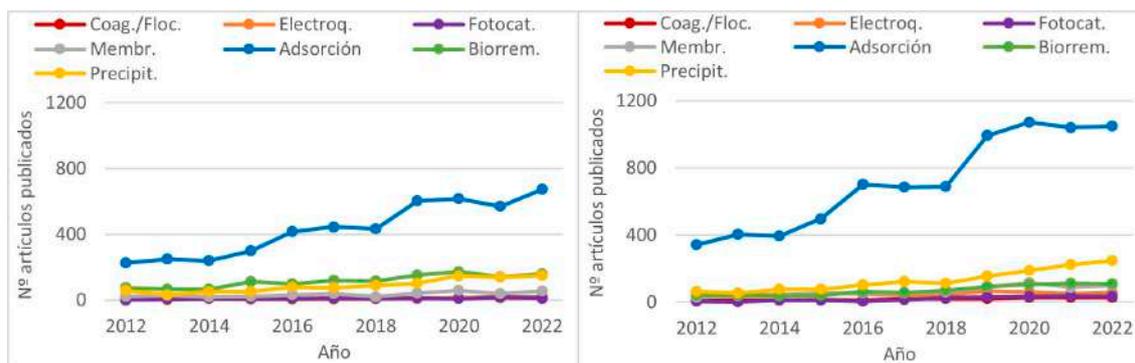


Figura 15. Número de artículos publicados anualmente para las diferentes técnicas de eliminación de plomo en (A) Scopus, y (B) WOS.

En la **Figura 15** se percibe, como en el resto de estudios, un ascenso en el número de artículos en el intervalo de tiempo. Dicho ascenso sigue el mismo patrón para todos los métodos, excepto para la adsorción, donde la curva de ascenso tiene mayor pendiente, aunque comienza a estabilizarse a partir del año 2019.

5. Conclusiones

- *Existe una tendencia ascendente en cuanto al número de artículos publicados a lo largo del intervalo de estudio, aunque a partir del año 2020 se detecta una mayor estabilidad.*
- *Se ha identificado que la plataforma WOS aporta un mayor número de publicaciones que la plataforma Scopus para todos los estudios llevados a cabo, exceptuando para la presencia de plomo en los diferentes compartimentos ambientales, donde ocurre lo contrario.*
- *La mayor parte de las publicaciones hablan de la contaminación de plomo en el agua, en el suelo y en ambos compartimentos combinados, principalmente. Por otra parte, la minería fue la fuente antropogénica de emisión de plomo más estudiada.*
- *El ICP-MS es la técnica de determinación de plomo más empleada. Asimismo, la técnica de adsorción es la más utilizada para su eliminación.*

6. Referencias

- Abadllah, B., Assfour, B., Kakhia, M. y Bumajdad, A. 2020. HRTEM, XPS and XRD characterization of ZnS/PbS nanorods prepared by thermal evaporation technique. *Nanosystems: Physics, Chemistry, Mathematics*, 11(5): 537–545.
- Acosta, J.A., Faz, A., Martínez-Martínez, S., Zornoza, R., Carmona, D.M. y Kabas, S. 2011. Multivariate statistical and GIS-based approach to evaluate heavy metals behavior in mine sites for future reclamation. *Journal of Geochemical Exploration*, 109(1–3): 8–17.
- Islam, M.S., Ahmed, M.K., Raknuzzaman, M., Habibullah-Al-Mamun, M. y Islam, M.K. 2015. Heavy metal pollution in surface water and sediment: A preliminary assessment of an urban river in a developing country. *Ecological Indicators*, 48: 282–291.
- Khan, N., Jeong, I.S., Hwang, I.M., Kim, J.S., Choi, S.H., Nho, E.Y., Choi, J.Y., Park, K.S. y Kim, K.S. 2014. Analysis of minor and trace elements in milk and yogurts by inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS). *Food Chemistry*, 147: 220–224.
- Kumar, V., Dwivedi, S.K. y Oh, S. 2022. A critical review on lead removal from industrial wastewater: Recent advances and future outlook. *Journal of Water Process Engineering*, 45: 102518.
- Li, Z., Ma, Z., van der Kuijp, T.J., Yuan, Z. y Huang, L. 2014. A review of soil heavy metal pollution from mines in China: Pollution and health risk assessment, *Science of the Total Environment*, 468–469: 843–853.
- Lovley, D.R. y Coates, J.D. 1997. Bioremediation of metal contamination. *Current Opinion in Biotechnology*, 8(3): 285–289.
- Men, C., Liu, R., Xu, F., Wang, Q., Guo, L. y Shen, Z. 2018. Pollution characteristics, risk assessment, and source apportionment of heavy metals in road dust in Beijing, China. *Science of the Total Environment*, 612: 138–147.
- Muñoz Lucas, M. 2012. *Caracterización y acondicionamiento de cenizas volantes para la eliminación de metales pesados en aguas contaminadas*. Tesis Doctoral. Universidad de León.
- Needleman, H. 2004. Lead poisoning. *Annual Review of Medicine*, 55: 209–222.
- Organización Mundial de la Salud. 2021. *Seguridad química: intoxicación por plomo*. Available at: <https://www.who.int/es/news-room/questions-and-answers/item/chemical-safety-lead-poisoning> (Accessed: May 19, 2023).
- Pereira, F.J., Vázquez, M.D., Debán, L. y Aller, A.J. 2016. Inorganic arsenic speciation by differential pulse anodic stripping voltammetry using thoria nanoparticles-carbon paste electrodes. *Talanta*, 152: 211–218.
- Rózański, S., Jaworska, H., Matuszczak, K., Nowak, J. y Hardy, A. 2017. Impact of highway traffic and the acoustic screen on the content and spatial distribution of

- heavy metals in soils. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(14): 12778–12786.
- Sereshti, H., Entezari Heravi, Y. y Samadi, S. 2012. Optimized ultrasound-assisted emulsification microextraction for simultaneous trace multielement determination of heavy metals in real water samples by ICP-OES. *Talanta*, 97: 235–241.
- Tahoon, M., Siddeeg, S.M., Alsaiani, N.S., Mnif, W. y Rebah, F.B. 2020. Effective heavy metals removal from water using nanomaterials: A review. *Processes*, 8(6): 1–24.
- Tokalioglu, Ş. 2012. Determination of trace elements in commonly consumed medicinal herbs by ICP-MS and multivariate analysis. *Food Chemistry*, 134(4): 2504–2508.
- Trzcinka-Ochocka, M., Brodzka, R. y Janasik, B. 2016. Useful and fast method for blood lead and cadmium determination using ICP-MS and GF-AAS; validation parameters. *Journal of Clinical Laboratory Analysis*, 30(2): 130–139.
- Velarde, L., Nabavi, M.S., Escalera, E., Antti, M.L. y Akhtar, F. 2023. Adsorption of heavy metals on natural zeolites: A review. *Chemosphere*, 328: 138508.
- Zeng, G., Wan, J., Huang, D., Hu, L. *et al.* 2017. Precipitation, adsorption and rhizosphere effect: The mechanisms for Phosphate-induced Pb immobilization in soils—A review. *Journal of Hazardous Materials*, 339: 354–367.
- Zhang, J., Yang, R., Li, Y.C., Peng, Y., Wen, X. y Ni, X. 2020. Distribution, accumulation, and potential risks of heavy metals in soil and tea leaves from geologically different plantations. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 195: 110475.
- Zheng, K., Zeng, Z., Tian, Q., Huang, J., Zhong, Q. y Huo, X. 2023. Epidemiological evidence for the effect of environmental heavy metal exposure on the immune system in children. *Science of the Total Environment*, 868: 161691.
- Zhuang, P., McBride, M.B., Xia, H., Li, N. y Li, Z. 2009. Health risk from heavy metals via consumption of food crops in the vicinity of Dabaoshan mine, South China. *Science of the Total Environment*, 407(5): 1551–1561.