

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Trabajo Fin de Grado

**Evaluación Ecotoxicológica de Residuos y
Materiales de Construcción: Un Enfoque
Metodológico**

**(Ecotoxicological Assessment of Waste and
Construction Materials: A Methodological
Approach)**

Para acceder al Título de

Graduado/a en Ingeniería Química

Autor: Elena Ortea Fariñas

TÍTULO	Evaluación Ecotoxicológica de Residuos y Materiales de Construcción: Un Enfoque Metodológico		
AUTOR	Elena Ortea Fariñas		
DIRECTOR/CODIRECTOR	Eva Cifrian Bemposta		
TITULACIÓN	Ingeniería Química	FECHA	4/02/2025

PLABRAS CLAVE/KEYWORDS

bioassay, construction, material, environmental, impact, ecotoxicity, groundwater, soil, leaching, cement, test, waste, Lolium perenne, arthrobacter globiformis, eisenia fetida, folsomia candida, enchytraeus, helix aspersa, hordeum vulgare.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA/SCOPE

La ecotoxicidad es la capacidad que tienen ciertas sustancias químicas para causar efectos dañinos en los organismos y en los ecosistemas en los que habitan, manifestándose en diferentes niveles de organización biológica. La evaluación de la ecotoxicidad implica estudiar, mediante la realización de distintas pruebas, cómo estas sustancias afectan a los organismos, así como sus interacciones con el medio ambiente. En el marco europea hay dos normativas específicas para determinar la evaluación ecotoxicológica de residuos y materiales de construcción, la UNE-CEN/TR 16110:2024 y la CEN/TS 17459:2022. Estas normativas proporcionan directrices y una batería de ensayos de ecotoxicidad para evaluar el impacto de estos materiales.

El objetivo principal de este trabajo es conocer el estado del arte en cuanto a la aplicación de ensayos de ecotoxicidad en la literatura científica, utilizados para evaluar el impacto ambiental en diferentes ámbitos. El estudio tiene como propósito identificar las metodologías más efectivas y las normativas específicas aplicables.

RESULTADOS /RESULTS

En la revisión bibliográfica se han identificado un total de 122 artículos relevantes. Es necesario un análisis de la información extraída de los artículos, para lo cual se desarrolló la clasificación de la Fig 1.

Una vez clasificada se analiza la evolución temporal, los materiales y submateriales ensayados, los tipos de ensayos aplicados, terrestres o acuáticos, marinos o en agua dulce, los organismos utilizados y las interrelaciones o los patrones deducidos de toda la información. Un ejemplo de esta información se muestra en la Fig 2.



Figura 1. Clasificación de la información

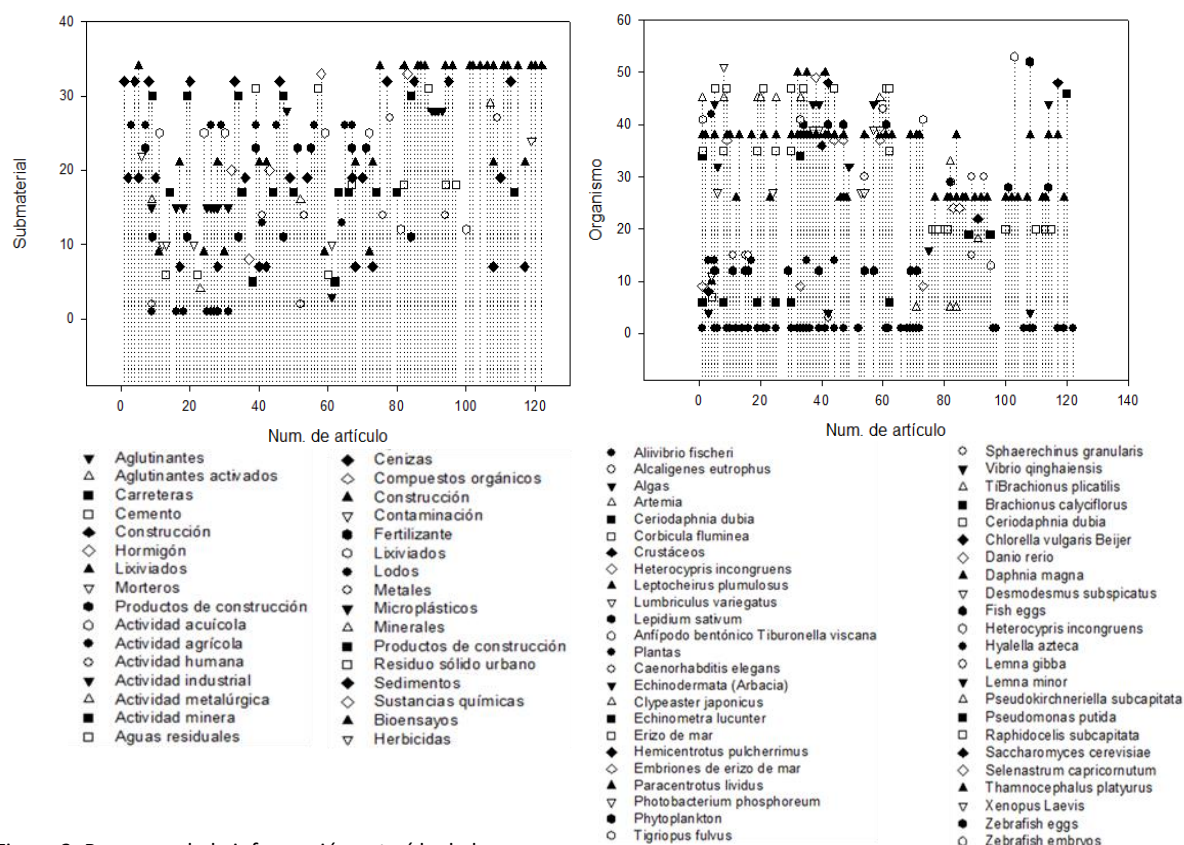


Figura 2. Resumen de la información extraída de los artículos

CONCLUSIONES / CONCLUSIONS

- Se ha observado un aumento significativo en las publicaciones sobre ecotoxicidad en los últimos años, reflejando un creciente interés por la sostenibilidad y la necesidad de desarrollar metodologías estandarizadas para evaluar los impactos ambientales.
- Los residuos, especialmente las cenizas de incineración, y materiales de construcción como morteros y hormigones, son los más estudiados debido a su potencial liberación de compuestos tóxicos. Los estudios sugieren que una combinación de análisis químicos y bioensayos es esencial para comprender mejor sus efectos y desarrollar estrategias más eficaces para mitigar su impacto, lo cual subraya la necesidad de más investigaciones sobre las condiciones operativas y sus efectos.
- Los ensayos acuáticos predominan sobre los terrestres, con una mayor cantidad de estudios dedicados a agua de mar en comparación con agua dulce.
- Organismos como *Aliivibrio fischeri*, *Daphnia magna*, *Paracentrotus lividus* y *Pseudokirchneriella subcapitata* son los más utilizados en los ensayos de ecotoxicidad debido a su sencillez y alta sensibilidad a los contaminantes.

BIBLIOGRAFÍA/REFERENCES

- UNE-CEN/TR 16110:2024: Guía para el uso de ensayos de ecotoxicidad aplicados a residuos. Ratificada por la Asociación Española de Normalización en marzo de 2024.
- CEN/TS 17459:2022: Evaluación de la emisión de sustancias peligrosas - Determinación de la ecotoxicidad de los eluatos de productos de construcción. Diciembre de 2022.

TÍTULO	Ecotoxicological Assessment of Waste and Construction Materials: A Methodological Approach		
AUTOR	Elena Ortea Fariñas		
DIRECTOR/CODIRECTOR	Eva Cifrian Bemposta		
TITULACIÓN	Ingeniería Química	FECHA	4/02/2025

PLABRAS CLAVE/KEYWORDS

bioassay, construction, material, environmental, impact, ecotoxicity, groundwater, soil, leaching, cement, test, waste, Lolium perenne, arthrobacter globiformis, eisenia fetida, folsomia candida, enchytraeus, helix aspersa, hordeum vulgare.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA/SCOPE

Ecotoxicity refers to the ability of certain chemical substances to cause harmful effects on organisms and ecosystems in which they reside, manifesting at different levels of biological organization. The assessment of ecotoxicity involves studying, through various tests, how these substances affect organisms, as well as their interactions with the environment. Within the European framework, there are two specific regulations for determining the ecotoxicological assessment of waste and construction materials: UNE-CEN/TR 16110:2024 and CEN/TS 17459:2022. These regulations provide guidelines and a battery of ecotoxicity tests to evaluate the impact of these materials.

The main objective of this work is to understand the state of the art regarding the application of ecotoxicity tests in the scientific literature, used to assess environmental impact in different areas. The study aims to identify the most effective methodologies and the specific regulations applicable.

RESULTADOS /RESULTS

In the literature review, a total of 122 relevant articles have been identified. An analysis of the information extracted from the articles is necessary, for which the classification in Fig. 1 was developed. Once classified, the temporal evolution, the materials and submaterials tested, the types of tests applied—whether terrestrial or aquatic, marine or freshwater—the organisms used, and the interrelations or patterns derived from all the information are analyzed. An example of this information is shown in Fig. 2.



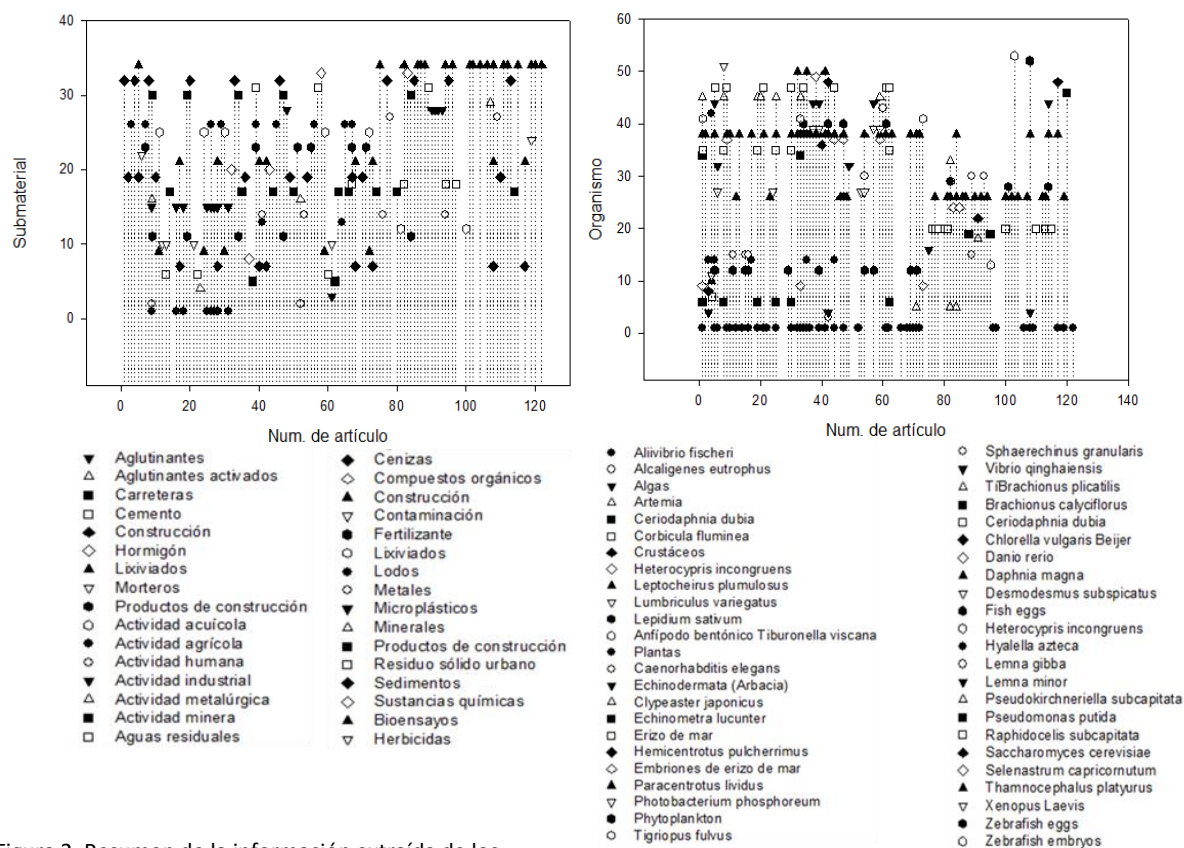


Figura 2. Resumen de la información extraída de los artículos

CONCLUSIONES / CONCLUSIONS

- A significant increase in publications on ecotoxicity has been observed in recent years, reflecting a growing interest in sustainability and the need to develop standardized methodologies to assess environmental impacts.
- Waste, especially incineration ash, and construction materials such as mortars and concretes, are the most studied due to their potential release of toxic compounds. Studies suggest that a combination of chemical analyses and bioassays is essential for better understanding their effects and developing more effective strategies to mitigate their impact, emphasizing the need for further research on operational conditions and their effects.
- Aquatic tests predominate over terrestrial ones, with a greater number of studies dedicated to seawater compared to freshwater.
- Organisms such as *Aliivibrio fischeri*, *Daphnia magna*, *Paracentrotus lividus*, and *Pseudokirchneriella subcapitata* are the most commonly used in ecotoxicity assays due to their simplicity and high sensitivity to pollutants.

BIBLIOGRAFÍA/REFERENCES

UNE-CEN/TR 16110:2024: Guía para el uso de ensayos de ecotoxicidad aplicados a residuos. Ratificada por la Asociación Española de Normalización en marzo de 2024.

CEN/TS 17459:2022: Evaluación de la emisión de sustancias peligrosas - Determinación de la ecotoxicidad de los eluatos de productos de construcción. Diciembre de 2022.

Contenido

1. INTRODUCCIÓN.....	4
1.1. Ensayos de ecotoxicidad.....	5
1.2. Objetivos	6
2. METODOLOGÍA	7
3. RESULTADOS	11
3.1. Recogida y clasificación de la información bibliográfica.....	11
3.1.1. Establecimiento de categorías de análisis.....	11
3.1.2. Uso de palabras clave.....	16
3.1.3. Clasificación de la información recogida en base a las categorías de análisis	17
3.1.4. Evolución temporal de las publicaciones.....	20
3.2. Análisis de resultados en cada categoría	21
3.2.1. Análisis de materiales y submateriales	21
3.2.2. Análisis del tipo de ensayo	22
3.2.3. Análisis de los organismos empleados	25
3.3. Interrelaciones y patrones entre los estudios.....	34
3.3.1. Análisis temporal	34
3.3.2. Análisis de materiales y submateriales	35
3.3.3. Análisis del tipo de ensayo	49
4. CONCLUSIONES	54
5. REFERENCIAS	56
6. ANEXO	66

Índice de figuras

Figura 1 - Etapas de la revisión bibliográfica	8
Figura 2 - Resumen de las clasificaciones de materiales, organismos y tipos de ensayo analizadas	10
Figura 3 - Mapa de palabras clave de los artículos analizados	16
Figura 4 - Submateriales que se analizan en cada uno de los artículos.....	18
Figura 5 - Organismos que se utilizan en cada uno de los artículos	19
Figura 6 - Análisis temporal	20
Figura 7 - Cantidad de estudios de cada material	21
Figura 8 - Artículos de cada submaterial	22
Figura 9 - Número de artículos dedicados a cada ensayo	23
Figura 10 - Número de artículos dedicados a cada ensayo clasificados por material	23
Figura 11 - Proporción de ensayos acuáticos dedicados a agua dulce y agua de mar	24
Figura 12 - Relación del número de artículos con el material y el tipo de agua empleada en el ensayo acuático	25
Figura 13 - Relación número de artículos-organismo para materiales de construcción...	26
Figura 14 - Relación número de artículos-organismo para materiales sintéticos	28
Figura 15 - Relación número de artículos-organismo para analizar residuos	30
Figura 16 - Relación número de artículos-organismo para residuos empleando ensayos terrestres	32
Figura 17 - Análisis temporal de publicación de artículos	34
Figura 18 - Análisis temporal de la publicación de artículos para el material Construcción.	36
Figura 19 - Organismos utilizados en los submateriales mayoritarios para el material Construcción	36
Figura 20 - Progresión temporal de publicación de artículos de Bioensayos	40
Figura 21 - Organismos utilizados en los Bioensayos.....	41
Figura 22 - Análisis temporal de la publicación de artículos para el material Residuo	44
Figura 23 - Organismos utilizados en los submateriales mayoritarios para el material Residuo	45
Figura 24 - Submateriales más comunes en el material Residuo.....	49
Figura 25 - Distribución de organismos para los submateriales comunes con cada tipo de agua	50

Índice de tablas

Tabla 1 - Artículos para la categoría Construcción y los organismos empleados	37
Tabla 2 - Artículos para la categoría Material sintético y los organismos empleados.....	41
Tabla 3 - Artículos para la categoría Residuo y los organismos empleados	46
Tabla 4 - Artículos seleccionados	52
Tabla 5 - Leyenda de artículos	66

1. INTRODUCCIÓN

La ecotoxicidad es la capacidad que tienen ciertas sustancias químicas para causar efectos dañinos en los organismos y en los ecosistemas en los que habitan, manifestándose en diferentes niveles de organización biológica.

La evaluación de la ecotoxicidad implica estudiar, mediante la realización de distintas pruebas, cómo estas sustancias afectan a los organismos, así como sus interacciones con el medio ambiente. Cuando se llevan a cabo ensayos de toxicidad es importante utilizar procedimientos estandarizados que permitan una comparación de los resultados obtenidos intra e interlaboratorios. Existen metodologías estandarizadas recomendadas por ciertos Organismos internacionales como la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de Norteamérica (U.S. Environmental Protection Agency - US EPA), la Agencia Ambiental Canadiense (Environmental Canada - EC), la Organización para la Cooperación Económica y el Desarrollo (Organization for Economic Cooperation and Development -OECD).

En el marco europeo, la Comisión Europea y el Comité Europeo de Normalización (CEN) son los organismos encargados de promover normativas de ensayo y legislación, así como de desarrollar estándares técnicos como las normas europeas (EN). Entre estas normativas las que describen los procedimientos generales para los ensayos de ecotoxicidad son la UNE-CEN/TR 16110:2024: Guía para el uso de ensayos de ecotoxicidad aplicados a residuos y la CEN/TS 17459:2022, para productos de construcción: Evaluación de la emisión de sustancias peligrosas - Determinación de la ecotoxicidad de los eluatos de productos de construcción. El informe técnico CEN/TR 16110:2024 proporciona directrices sobre cómo realizar ensayos de ecotoxicidad para evaluar el impacto ambiental de los residuos. La especificación técnica CEN/TS 17459:2022 especifica un procedimiento de ensayo que combina pruebas de lixiviación horizontal con ensayos de ecotoxicidad para la evaluación de los eluatos de productos de construcción sometidos a condiciones húmedas en uso exterior. Describe varios métodos de lixiviación utilizados para evaluar la ecotoxicidad de los eluatos de productos de construcción. Los principales métodos mencionados son (i) Ensayo Dinámico de Lixiviación Superficial (DSLIT) (CEN/TS 16637-2): Este método evalúa la lixiviación de sustancias peligrosas desde la superficie de productos de construcción bajo condiciones dinámicas. Se simula el contacto con agua de lluvia en condiciones de uso exterior; (ii) Ensayo de Percolación Horizontal de Flujo Ascendente (CEN/TS 16637-3): Este método evalúa la lixiviación de sustancias peligrosas a través de la masa del producto de construcción bajo condiciones de flujo ascendente; (iii) Ensayos Alternativos de Lixiviación: Además de los métodos mencionados, la norma permite el uso de otros

ensayos de lixiviación que sean adecuados para evaluar la ecotoxicidad de los productos de construcción, como los ensayos de lixiviación de cumplimiento de residuos UNE-EN 12457. Estos ensayos evalúan la lixiviación de sustancias peligrosas desde residuos granulares y lodos bajo condiciones controladas. La norma UNE-EN 12457 se divide en cuatro partes que describen métodos de lixiviación para residuos. La Parte 1 y la Parte 2 utilizan relaciones líquido/sólido de 2 l/kg y 10 l/kg, respectivamente, para partículas menores de 4 mm. La Parte 3 emplea un ensayo de dos etapas con relaciones de 2 l/kg y 8 l/kg. La Parte 4 aplica una relación de 10 l/kg para partículas menores de 10 mm. Estas variaciones permiten evaluar la liberación de contaminantes bajo diferentes condiciones. Las más utilizadas para posteriores ensayos de ecotoxicidad son las partes 2 y 4.

1.1. Ensayos de ecotoxicidad.

El uso de procedimientos estandarizados permite maximizar la comparabilidad, reproducibilidad y la confianza en los datos obtenidos. Dependiendo de los resultados preliminares, las pruebas de toxicidad de laboratorio pueden variar desde simples pruebas de corto plazo hasta pruebas más complejas de largo plazo. Sin embargo, todos siguen un esquema de diseño experimental básico en el que los organismos se exponen a un contaminante durante un período de tiempo determinado, produciendo un efecto que se considera una variable de respuesta o criterio de valoración.

Entre los ensayos más empleados para evaluar la toxicidad se encuentran:

- *Test de bioluminiscencia*

Se trata de uno de los test de ecotoxicidad más utilizados. Consiste en observar la inhibición de la luminiscencia de un cultivo de bacterias bioluminiscentes (*Vibrio fischeri*), que emiten luz cuando son estimuladas por ciertas condiciones específicas, como consecuencia de la presencia de productos tóxicos.

- *Test de inhibición de crecimiento*

En esta prueba, se exponen diversos cultivos como las algas verdes unicelulares, diatomeas y cianobacterias seleccionadas en fase exponencial de crecimiento a diversas concentraciones de una sustancia de ensayo. Se incuban durante un periodo de tiempo determinado, monitoreando la densidad celular y la inhibición del crecimiento en comparación con un cultivo control. Las normas ISO 8692:2012 y las directrices de la UE 440/2008 recomiendan el uso de algas como *Pseudokirchneriella subcapitata* (*Selenastrum capricornutum*) y *Desmodesmus subspicatus* (*Scenedesmus subspicatus*). La OECD 201:2011 también considera adecuadas especies como

Selenastrum capricornutum, *Scenedesmus subspicatus*, *Navicula pelliculosa* y ciertas cianobacterias. La norma ISO 6341:2012 emplea *Daphnia magna* para el ensayo de inhibición de crecimiento de algas.

- *Test de mortalidad*

Estos ensayos se basan en la exposición de los organismos seleccionados a diferentes concentraciones de la sustancia de ensayo durante un período de tiempo específico, observándose los efectos sobre la supervivencia y el comportamiento de los organismos expuestos. La norma ISO 15088:2013 proporciona un método estandarizado para evaluar la toxicidad aguda de muestras de agua y productos químicos mediante pruebas con *Danio rerio* (pez cebra).

- *Test de crecimiento*

Para la realización de este test, se exponen plántulas a diferentes concentraciones de una sustancia química, mezcladas con suelo, y se monitorea el crecimiento de las raíces durante un período de tiempo determinado. Se observan los efectos de la sustancia química en el crecimiento de las plántulas y se comparan con un control no expuesto. La norma ISO 11269-2:2012, proporciona un método detallado para realizar pruebas de toxicidad en el suelo utilizando plántulas de *Brassica rapa*.

- *Test de comportamiento.*

Esta prueba evalúa la toxicidad del suelo mediante la determinación de la reproducción y supervivencia de las lombrices *Eisenia fétida* (ISO 17512-2:2008) expuestas a sustancias químicas en el suelo, lo que proporciona información sobre la toxicidad del suelo para estos organismos.

1.2. Objetivos

El objetivo principal de este trabajo es conocer el estado del arte en cuanto a la aplicación de ensayos de ecotoxicidad en la literatura científica, utilizados para evaluar el impacto ambiental en diferentes ámbitos, en concreto en la valorización de residuos y en los materiales de construcción. El estudio tiene como propósito identificar las metodologías más efectivas y las normativas aplicables. Para alcanzar este objetivo, han de alcanzarse a su vez los siguientes objetivos específicos:

- Identificar y clasificar la información bibliográfica relevante sobre ensayos de ecotoxicidad aplicados a residuos y materiales de construcción, estableciendo categorías de análisis y evaluando la evolución temporal de las publicaciones.

- Evaluar y comparar los diferentes materiales y submateriales utilizados en los estudios de ecotoxicidad, determinando la cantidad de artículos dedicados a cada categoría y subcategoría, y analizando las tendencias en la investigación.
- Analizar la distribución de los ensayos acuáticos y terrestres en relación con los materiales estudiados, evaluando la proporción de ensayos dedicados a agua dulce y agua de mar, y determinando la influencia del tipo de ensayo en los resultados obtenidos.
- Identificar los organismos más utilizados en los ensayos de ecotoxicidad, evaluando su sensibilidad a los contaminantes y su papel en la evaluación de la calidad del agua y del suelo, y analizando las tendencias en la investigación científica.
- Identificar las interrelaciones y patrones entre los estudios revisados, evaluando las tendencias temporales, los materiales y submateriales más estudiados, y los organismos más empleados, para proporcionar una visión integrada de la evolución en el estudio de la ecotoxicidad.

2. METODOLOGÍA

Para lograr los objetivos establecidos, se ha procedido a recopilar información sobre los ensayos que involucran microorganismos para la evaluación ambiental de los procesos de valorización de residuos y para los materiales de construcción. Esta recopilación se ha basado en diversas regulaciones que abarcan los ensayos y los tipos de microorganismos utilizados, a través de una revisión exhaustiva de la literatura especializada.

La metodología llevada a cabo para el desarrollo de la revisión bibliográfica consta de cuatro etapas (Figura 1).



Figura 1 - Etapas de la revisión bibliográfica

Para la realización de la búsqueda bibliográfica se ha empleado SCOPUS como base de datos. SCOPUS, cubre una amplia gama de disciplinas académicas y proporciona acceso a diversos tipos de archivos, incluyendo artículos de revistas científicas, conferencias, libros y patentes.

Para efectuar la búsqueda, se emplean palabras clave relacionadas con el tema de estudio. Estas palabras clave sirven como filtro para seleccionar los artículos que pueden contener información relevante o estar relacionados con los parámetros de búsqueda establecidos. Inicialmente, se utilizan combinaciones de palabras generales que proporcionan unos resultados amplios, para posteriormente, emplear palabras clave más específicas que permiten refinar la búsqueda. Los grupos de palabras empleados han sido: *bioassay, construction, material, environmental, impact, ecotoxicity*; *bioassay, groundwater, ecotoxicity, material, soil*; *bioassay, construction, material, environmental, ecotoxicity, leaching*; *bioassay, cement, environmental, ecotoxicity*; *bioassay, impact, test, waste, construction*; *bioassay, ecotoxicity, construction*; *Lolium perenne, construction, waste, bioassay, ecotoxicity*; *arthrobacter giobiformis, construction, waste, bioassay, ecotoxicity*; *eisenia fetida, ecotoxicity, bioassay, waste*; *eisenia fetida,*

ecotoxicity, bioassay, waste; folsomia candida, ecotoxicity, bioassay, waste, construction; enchytraeus, ecotoxicity, bioassay, waste, construction; helix aspersa, ecotoxicity, bioassay, waste, construction; hordeum vulgare, ecotoxicity, bioassay, waste, construction.

Además, se ha considerado el campo de investigación al que pertenecen los artículos, dando prioridad a aquellos que se encuadran dentro del ámbito de la ingeniería, especialmente en áreas como la ingeniería química y las ciencias ambientales. Asimismo, se ha llevado a cabo una búsqueda en las referencias de los artículos seleccionados para identificar aquellos trabajos que podrían encajar con los criterios de búsqueda establecidos.

Finalizado el proceso de selección, se han identificado un total de 122 artículos relevantes. Estos artículos se han organizado en una tabla (Anexo 1) con el fin de resumir y presentar la información de manera más clara y visual. Estos artículos se han organizado en base al título del artículo, el año de publicación, los organismos empleados, el tipo de ensayo (acuático o terrestre), el tipo de agua (dulce o de mar), el material y el submaterial. Es importante señalar que cuando se menciona el término *material*, se hace referencia al material que está siendo investigado con el microorganismo, mientras que el *submaterial* hace referencia a una subclasificación genérica de estos materiales con el propósito de facilitar su ordenación y análisis posterior.

Se muestra a continuación un esquema (Figura 2) en el que se muestra de forma sencilla la clasificación que se ha aplicado a la información obtenida de los artículos.



Figura 2 - Resumen de las clasificaciones de materiales, organismos y tipos de ensayo analizadas

3. RESULTADOS

3.1. Recogida y clasificación de la información bibliográfica

3.1.1. Establecimiento de categorías de análisis

Se recoge a continuación el motivo de la clasificación de dichos artículos, detallando los criterios utilizados. Además, se han seleccionado ciertos artículos como ejemplos representativos debido a la ambigüedad de con el objetivo de ofrecer una explicación más detallada sobre el propósito y los análisis realizados.

Materiales

Se han categorizado los artículos según los temas abordados en cada uno. Después de una lectura exhaustiva, se han buscado los puntos en común entre ellos para poder clasificarlos en unos pocos grupos. En cuanto a los materiales, se han creado tres grupos distintos: **residuos**, **construcción** y **materiales sintéticos**.

Los artículos dentro del grupo de **residuos** se centran en el estudio de materiales residuales que abarcan una amplia gama de temas, incluyendo su impacto ambiental, métodos de gestión y tratamiento, así como su influencia en la contaminación del suelo, agua y aire. Por otro lado, exploran la generación de residuos a partir de diversas actividades humanas, como la minería, la industria, la agricultura y la construcción, y examinan la presencia y efectos de contaminantes. De esta forma, en el grupo de los residuos se puede encontrar el artículo (*Lecomte et al., 2020*), en el que se presenta un enfoque metodológico para la caracterización ecotoxicológica de sedimentos no peligrosos con el objetivo de determinar su idoneidad para su reutilización, o el artículo (*Bandarra et al., 2023*), que se centra en la caracterización integral de cenizas de fondo de la incineración de residuos sólidos municipales y su aplicación sostenible.

En el grupo de **construcción**, los artículos se centran en el estudio de materiales utilizados en la industria de la construcción. Estos materiales son considerados productos de construcción porque están destinados a ser utilizados en la edificación de estructuras y obras. Dentro de este grupo, se encuentra, por ejemplo, el artículo (*Heisterkamp et al., 2023*), en el que se estudia la liberación de sustancias de productos de construcción y su posible impacto ambiental durante su uso, o el artículo (*S. Gartiser et al., 2017*), en el que se desarrollan recomendaciones para una batería de pruebas para la evaluación ecotoxicológica del impacto ambiental de productos de construcción destinados al uso en exteriores. Otro artículo que se puede encontrar en esta categoría es (*Brás et al., 2020*), cuyo objetivo es evaluar el efecto de la sustitución de áridos por diferentes residuos en la producción de hormigón.

La distinción entre un producto de construcción y un residuo radica en su estado y uso actual. Los materiales evaluados son productos de construcción, es decir, están destinados a ser utilizados en la construcción de edificios u obras. Aunque estos productos pueden liberar compuestos peligrosos durante su uso, aún no han alcanzado el final de su vida útil y no se consideran residuos.

Los artículos clasificados como **material sintético** son aquellos en los que se evalúan la concentración de elementos y su repercusión en los microorganismos a través de ensayos de ecotoxicidad. Esto ocurre en artículos como (*Blewett et al., 2016*), donde se analiza la sensibilidad de los embriones del erizo de mar de Nueva Zelanda al níquel presente en el agua, demostrando que son los más sensibles entre todas las especies marinas estudiadas. Se observa que la exposición al níquel afecta el desarrollo larval y causa problemas en la formación del esqueleto. Además, se muestra cómo la presencia de materia orgánica natural puede influir en la acumulación y toxicidad del níquel. Otro artículo clasificado en este grupo es (*Chakraborty et al., 2010*). Este artículo se centra en el estudio de la toxicidad de cuatro metales de transición (Co, Ni, Cu y Zn) en el fitoplancton del río Godavari. Se investiga el cambio en la estructura de la comunidad del fitoplancton y sus diferentes niveles de tolerancia para los diferentes metales y proporciona información valiosa sobre cómo los metales de transición pueden afectar al fitoplancton en un entorno de agua dulce.

Submateriales

Dentro de la categoría de materiales, se ha creado una subdivisión adicional denominada submateriales. Esto permite una clasificación más específica y detallada de los elementos estudiados en cada artículo. Cada subgrupo se enfoca en aspectos específicos relacionados con los materiales y las actividades que se estudian en los artículos. Estas subcategorías incluyen **sedimentos, bioensayos, cenizas, lodos, herbicidas, contaminación, fertilizante, productos de construcción, actividad metalúrgica, actividad industrial, lixiviados, morteros, aglutinantes, actividad minera, hidrocarburos, construcción, microplásticos, actividad humana, compuestos orgánicos, metales, hormigón, residuo sólido urbano, actividad agrícola, actividad acuícola, aguas residuales y sustancias químicas.**

Estos subgrupos se han creado tras una revisión de todos los artículos seleccionados. El principal objetivo al asignar los artículos a estas subcategorías es garantizar que cada estudio se ajuste con la mayor precisión posible a una clasificación específica y puedan compararse los resultados. Esto permite examinar y comprender con detalle cómo se relaciona cada material y actividad estudiada.

De esta forma, el artículo (Santos et al., 2023), se encuentra de la categoría **morteros**, ya que se centra en el análisis ecotoxicológico de materiales de construcción, específicamente en morteros alternativos propuestos para su uso como materiales de arrecifes artificiales (ARs). Mientras que (Mocová et al., 2019), está en la subcategoría de **hormigón** ya que el estudio evalúa la ecotoxicidad de las lixiviaciones de dos muestras de hormigón de diferentes productores y residuos de construcción a base de hormigón en forma de lixiviado. Aunque el estudio examina los lixiviados como parte de la evaluación de la ecotoxicidad, el enfoque principal es el análisis de la toxicidad de las muestras de hormigón en sí mismas. En la categoría **lixiviados**, por otra parte, está, por ejemplo, el artículo (Foucault et al., 2013), debido a que se centra específicamente en evaluar la ecotoxicidad de los lixiviados de suelos contaminados por metales y metaloides. Aunque el estudio aborda la gestión de suelos contaminados y la evaluación del riesgo ambiental, su enfoque principal está en la ecotoxicidad de los lixiviados generados por estos suelos, en lugar de centrarse en el análisis directo de los suelos contaminados en sí mismos.

De igual forma, el artículo (Brás et al., 2020), se centra en evaluar el impacto ambiental y las propiedades del hormigón resultante al sustituir los agregados por desechos de industrias locales. Aunque el cemento es un componente fundamental del hormigón, el estudio no se enfoca en las propiedades específicas del cemento, sino en cómo la sustitución de áridos afecta el rendimiento general del hormigón y su impacto ambiental. Por lo tanto, la clasificación en la subcategoría de **aglutinantes** es más adecuada ya que refleja el enfoque principal del estudio en la evaluación de los materiales que aglutinan los componentes del hormigón, en lugar de analizar directamente las características del cemento en sí mismo.

Se ha hecho también una distinción entre **construcción y producto de construcción**. **Construcción** hace referencia al proceso de planificación, diseño y construcción de infraestructuras como carreteras, incluyendo las diferentes medidas y estructuras utilizadas para controlar el flujo de agua y los sedimentos. En esta categoría se puede encontrar el artículo (Wik et al., 2008), que aborda la evaluación de la calidad de los sedimentos en sistemas de retención de escorrentías viales en Suecia. En sedimentos, sin embargo, está el artículo (Rial et al., 2017). Este artículo se clasifica dentro de la categoría de sedimentos debido a que se centra en el análisis de muestras de sedimentos de varias áreas marinas.

Sin embargo, en **producto de construcción** se engloban artículos que hacen referencia a los materiales específicos utilizados en la construcción de edificios u obras. Esto

incluye productos como pinturas, recubrimientos, adhesivos, selladores, entre otros, que se aplican en la construcción de estructuras, como por ejemplo ocurre en (Vermeirssen et al., 2017), que se centra específicamente en la toxicidad asociada con los recubrimientos anticorrosivos utilizados en ingeniería hidráulica y civil. Aunque estos recubrimientos son utilizados en el contexto de la construcción de estructuras e infraestructuras, el enfoque principal del estudio está en la evaluación de la liberación de toxicidad de estos productos específicos, más que en el proceso general de construcción en sí mismo.

En el caso de **sustancias químicas**, se puede encontrar el artículo (Lavado et al., 2022) Este artículo se centra en la evaluación de la ecotoxicidad del suelo causada por compuestos químicos orgánicos. Aunque el estudio implica la utilización de bioensayos con el colembolo *Folsomia candida*, está más orientado hacia la evaluación de la toxicidad de diversas sustancias químicas presentes en el suelo. Por lo tanto, se clasifica en este subgrupo debido a su enfoque principal en la actividad y el impacto de estos compuestos en el suelo y los organismos terrestres.

En lo referente a **actividad metalúrgica, actividad industrial, actividad minera, actividad humana, actividad agrícola y actividad acuícola**, se han establecido categorías distintas para clasificar los artículos. De esta forma, (Fernández and Beiras, 2001), podría considerarse dentro de la categoría de **actividad industrial o actividad minera** debido a que los metales pesados analizados, como el mercurio, el cobre, el plomo y el cadmio, suelen estar asociados con procesos industriales y mineros. Sin embargo, la razón principal por la que se clasifica como **actividad humana** es porque el estudio se centra en la evaluación de la toxicidad de estos metales en organismos vivos, específicamente en el erizo de mar *Paracentrotus lividus*, debido a la influencia directa de la actividad humana en la liberación de estos contaminantes al medio ambiente. El artículo no se enfoca en los procesos industriales o mineros en sí, sino en los efectos ambientales de la contaminación causada por estos metales, lo que lo vincula más directamente con la actividad humana en general.

El artículo, (Eom et al., 2007) sin embargo, se centra en la ecotoxicidad de un suelo contaminado con hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH), y está clasificado dentro de la subcategoría de actividad industrial. Esto se debe a que los PAH son compuestos que frecuentemente se encuentran como resultado de actividades industriales, como la combustión de combustibles fósiles y la producción de ciertos productos químicos.

En cambio, el artículo (Bastian and Alleman, 1998), se encuentra clasificado dentro de la subcategoría de actividad metalúrgica debido a que aborda la evaluación de residuos

de arena generados en la industria de la fundición, específicamente residuos de fundiciones de hierro gris y dúctil, así como de fundiciones de acero y aluminio. Estos residuos se consideran subproductos de los procesos de fundición metalúrgica.

Organismos

Se realiza una clasificación basada en el tipo de organismo, lo cual proporciona información relevante sobre su sensibilidad a los contaminantes y su papel en la evaluación de la calidad del agua.

Ensayo y tipo de agua

Otra de las clasificaciones que se han llevado a cabo ha sido según el tipo de agua en el que se llevan a cabo los ensayos mencionados. Aquellos artículos que se enfocan en evaluar los efectos de los materiales y residuos en suelos, biodiversidad terrestre y ecosistemas circundantes, mediante la exposición de organismos terrestres, han sido clasificados como **ensayos terrestres**, tal y como ocurre en (Pukalchik et al., 2019), que se centra en la evaluación del efecto de un fertilizante a base de residuos minerales en el suelo y en los organismos terrestres que lo habitan.

Mientras tanto, los que se centran en la evaluación de la toxicidad y efectos ambientales en el agua, mediante la exposición de organismos acuáticos, han sido categorizados como **ensayos acuáticos**. Como ocurre en el artículo (Ore et al., 2007), clasificado como acuático debido a que el estudio se enfoca en la evaluación del impacto de los lixiviados en el agua y en la realización de ensayos de toxicidad acuática.

Los estudios acuáticos pueden subclasificarse en **agua dulce** o **agua de mar** dependiendo del tipo de ambiente acuático en el que se llevan a cabo. Esta distinción se hace debido a las diferencias significativas en las condiciones y características de los ecosistemas de agua dulce y salada, así como en las especies que los habitan. De esta forma, el artículo (Teodorovic et al., 2009), clasificado como acuático y de agua dulce debido a que, aunque no se menciona explícitamente la ubicación geográfica del estudio, se centra en pruebas de toxicidad comúnmente utilizadas en la evaluación de la calidad del agua dulce. Mientras que (Vezzzone et al., 2019), está clasificado como acuático y agua de mar porque evalúa la contaminación y toxicidad en los sedimentos de la Laguna Rodrigo de Freitas (RFL) en Río de Janeiro, Brasil, un sistema lacustre conectado al océano Atlántico. Utiliza además organismos marinos como el anfípodo *Tiburonella viscana* y los embriones del erizo de mar *Echinometra lucunter* para evaluar la toxicidad de los sedimentos, lo que respalda aún más la clasificación del artículo.

3.1.2. Uso de palabras clave

Una vez seleccionados los documentos de interés, se realiza también un análisis bibliométrico. Esta técnica cuantifica y evalúa la producción y el impacto de la literatura académica. Para poder llevarlo a cabo se importan los documentos desde la base de datos de SCOPUS al programa VOSviewer. Esta herramienta ofrece una perspectiva visual que facilita la comprensión de la dinámica y la interconexión entre los trabajos de investigación en diversas disciplinas. De esta forma, se obtiene un mapa de palabras clave (Figura 3) que ayuda a visualizar conexiones entre conceptos, detectar tendencias y explorar la literatura científica de manera más eficiente.

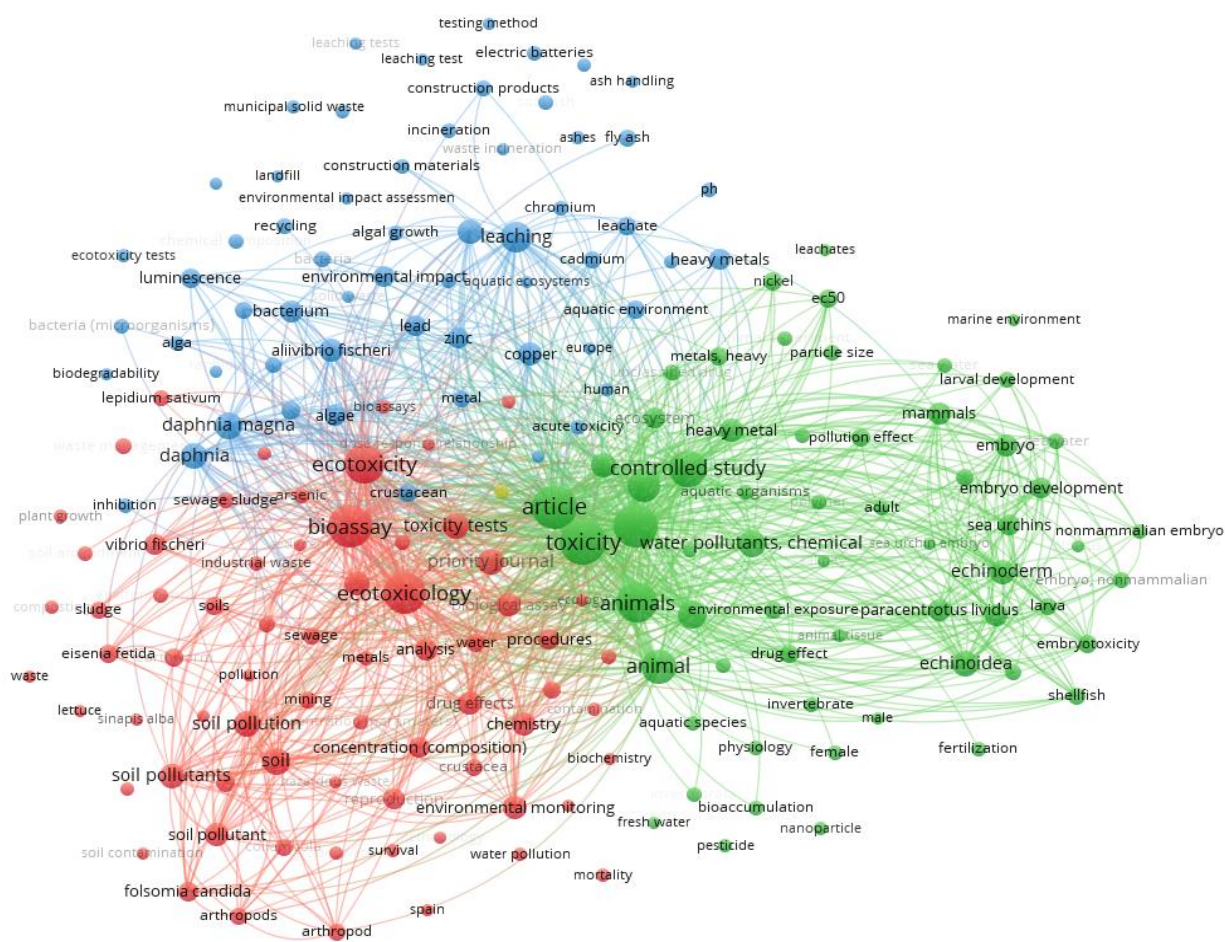


Figura 3 - Mapa de palabras clave de los artículos analizados

En el mapa, los elementos se representan por etiquetas y círculos, donde el tamaño de ambos depende del uso de esta etiqueta. Los colores de las etiquetas están determinados por los grupos a los que pertenecen. Las líneas entre elementos indican enlaces y la distancia entre elementos refleja la relación entre ellos, siendo los más

cercanos los elementos más relacionados. Para la investigación llevada a cabo se evalúan un total de 2049 palabras clave. De acuerdo con los resultados obtenidos, *toxicity*, *article*, *nonhuman*, *bioassay*, *animal*, *ecotoxicology*, *ecotoxicity* y *controlled study*, son las palabras clave más repetidas y con mayor número de enlaces.

3.1.3. Clasificación de la información recogida en base a las categorías de análisis

A continuación, se recoge la información obtenida en la revisión bibliográfica. Se muestra de forma gráfica la relación entre los artículos, los microorganismos y los submateriales investigados. Para poder llevar a cabo la representación, se ha empleado el software SigmaPlot, desarrollado por Systat Software Inc. Esta herramienta especializada permite un alto grado de personalización y precisión para el análisis estadístico, superando las capacidades de software general como Excel.

En la Figura 4, se representa el submaterial que se analiza frente al número de artículo. La relación del número del artículo con el título y el autor, puede verse en la tabla 1 del Anexo.

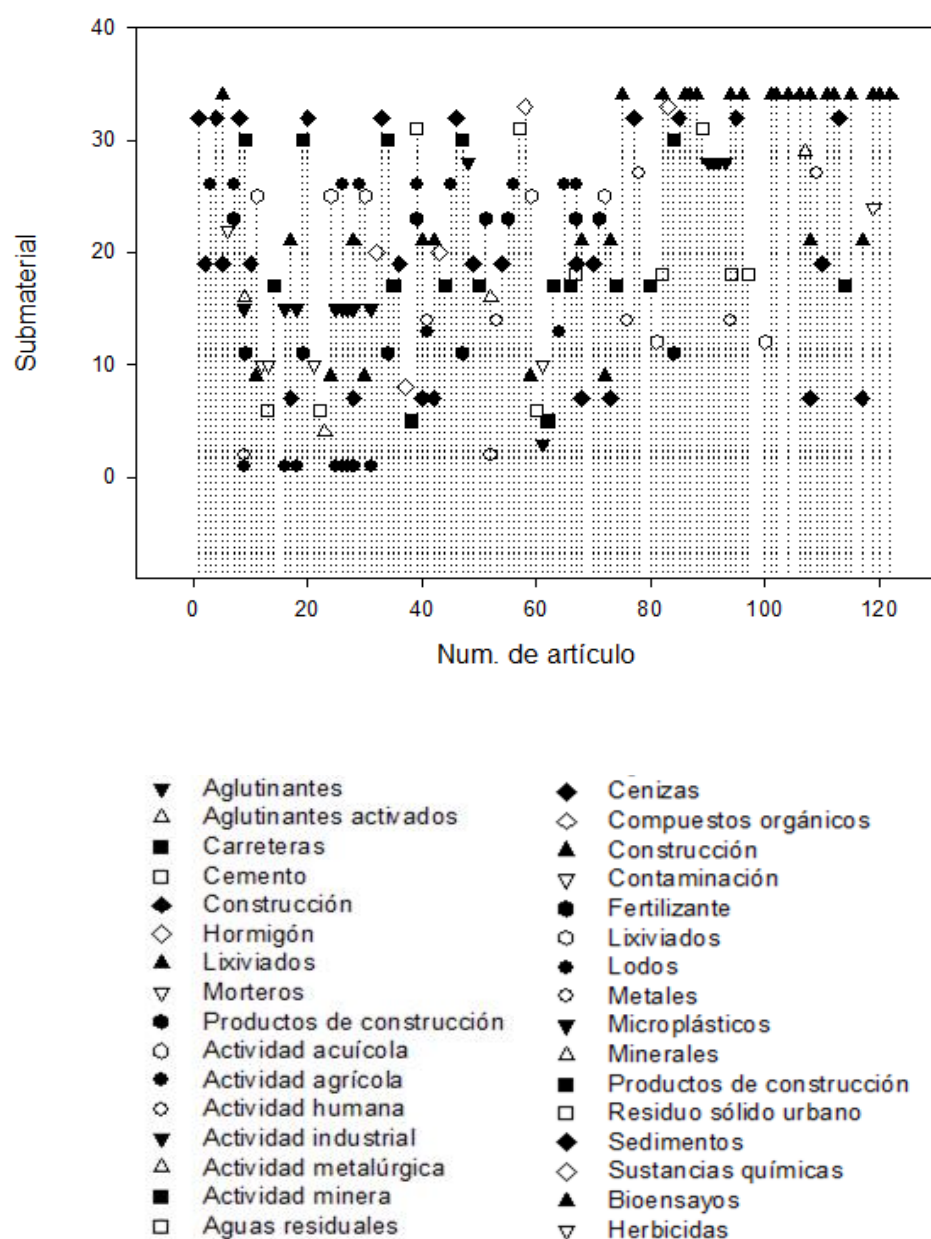
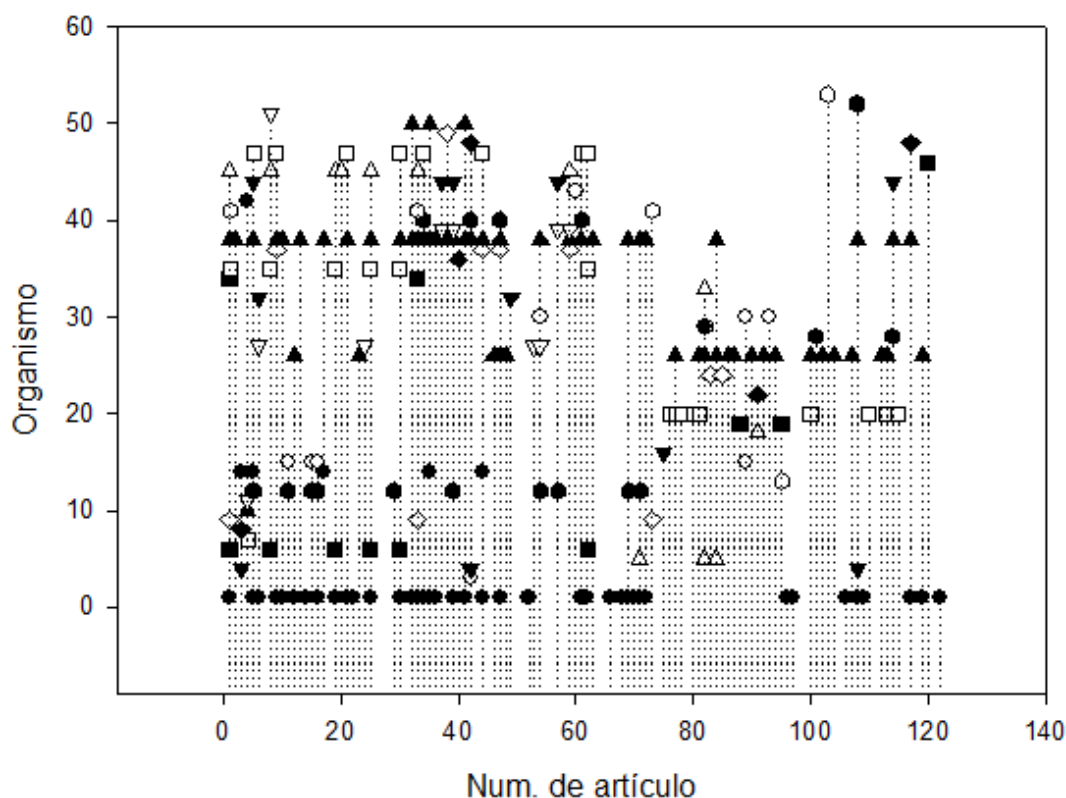


Figura 4 - Submateriales que se analizan en cada uno de los artículos

En el caso de la Figura 5, se representa el organismo utilizado en cada artículo.



- | | |
|--|-----------------------------------|
| ● Aliivibrio fischeri | ◇ Sphaerechinus granularis |
| ○ Alcaligenes eutrophus | ▼ Vibrio qinghaiensis |
| ▼ Algas | △ Tibrachionus plicatilis |
| △ Artemia | ■ Brachionus calyciflorus |
| ■ Ceriodaphnia dubia | □ Ceriodaphnia dubia |
| □ Corbicula fluminea | ◆ Chlorella vulgaris Beijer |
| ◆ Crustáceos | ◇ Danio rerio |
| ◇ Heterocypris incongruens | ▲ Daphnia magna |
| ▲ Leptocheirus plumulosus | ▽ Desmodesmus subspicatus |
| ▽ Lumbriculus variegatus | ● Fish eggs |
| ● Lepidium sativum | ○ Heterocypris incongruens |
| ○ Anfípodo bentónico Tiburonella viscana | ● Hyalella azteca |
| ● Plantas | ○ Lemna gibba |
| ○ Caenorhabditis elegans | ▼ Lemna minor |
| ▼ Echinodermata (Arbacia) | △ Pseudokirchneriella subcapitata |
| △ Clypeaster japonicus | ■ Pseudomonas putida |
| ■ Echinometra lucunter | □ Raphidocelis subcapitata |
| □ Erizo de mar | ◆ Saccharomyces cerevisiae |
| ◆ Hemicentrotus pulcherrimus | ◇ Selenastrum capricornutum |
| ◇ Embriones de erizo de mar | ▲ Thamnocephalus platyurus |
| ▲ Paracentrotus lividus | ▽ Xenopus Laevis |
| ▽ Photobacterium phosphoreum | ● Zebrafish eggs |
| ● Phytoplankton | ○ Zebrafish embryos |
| ○ Tigriopus fulvus | |

Figura 5 - Organismos que se utilizan en cada uno de los artículos

3.1.4. Evolución temporal de las publicaciones

Para comprender mejor la evolución, dinámica e impacto de la investigación, se realiza un análisis temporal de los artículos seleccionados (Figura 6). Este estudio permite observar variaciones en la publicación de artículos y estimar áreas de crecimiento y cambios de interés en comunidad científica.

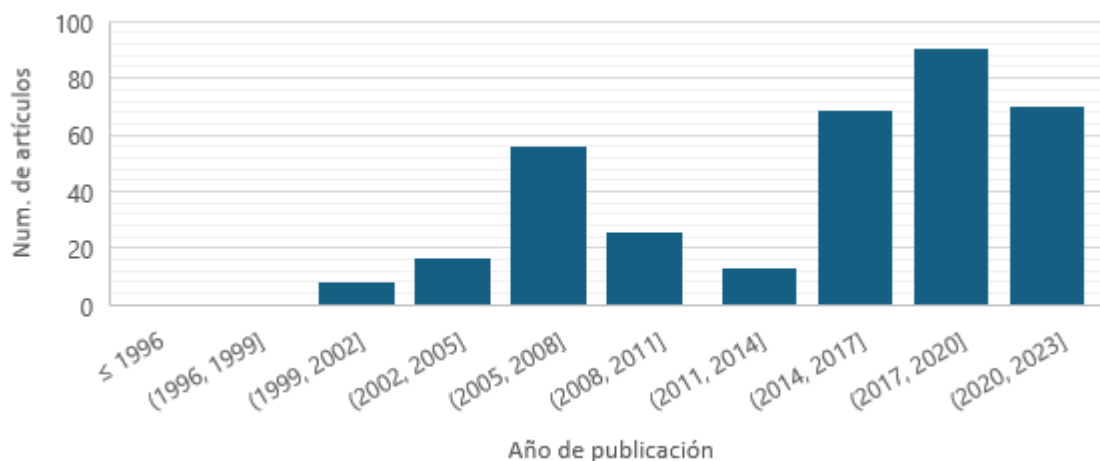


Figura 6 - Análisis temporal

La evolución de la investigación en el uso de bioensayos para la valorización de residuos, productos de construcción y materiales sintéticos, muestra un patrón a lo largo del tiempo.

En años anteriores al 2002, la literatura científica en este campo resulta escasa, lo que refleja un interés relativamente bajo. Sin embargo, entre los años 2003 y 2008, se puede apreciar un ligero incremento en el número de publicaciones, probablemente motivado por una mayor importancia en la gestión de residuos.

Posteriormente, entre 2009 y 2014, ocurre una disminución en la cantidad de estudios, lo que sugiere un posible estancamiento en el interés o la financiación para la investigación.

Sin embargo, a partir de 2015, se observa un aumento muy significativo, alcanzando su punto máximo entre los años 2018 y 2020. Este incremento puede deberse a un enfoque renovado en la gestión sostenible de residuos, así como a avances tecnológicos que facilitan la investigación. Un factor importante que podría haber contribuido a este crecimiento es la implementación de un mayor número de normativas más estrictas relacionadas con la gestión de residuos. Es posible que estas regulaciones hayan alentado a investigadores e instituciones a centrarse en encontrar soluciones

innovadoras y sostenibles para la gestión de residuos, dando lugar a un mayor número de publicaciones sobre el tema en los últimos años.

3.2. Análisis de resultados en cada categoría

3.2.1. *Análisis de materiales y submateriales*

Este apartado se centra en revisar la cantidad de artículos que se han seleccionado y determinar cuántos de esos artículos pertenecen a las distintas áreas explicadas anteriormente. Es necesario mencionar que, durante la investigación se han encontrado diferentes artículos que recogen baterías de ensayos o varios materiales. Es por ello, que el número de artículos que se manejan difiere del número de artículos totales que han sido evaluados.

El análisis muestra (Figura 7) una predominancia en el tema de residuos, seguido por materiales de construcción, y, en tercer lugar, materiales sintéticos.

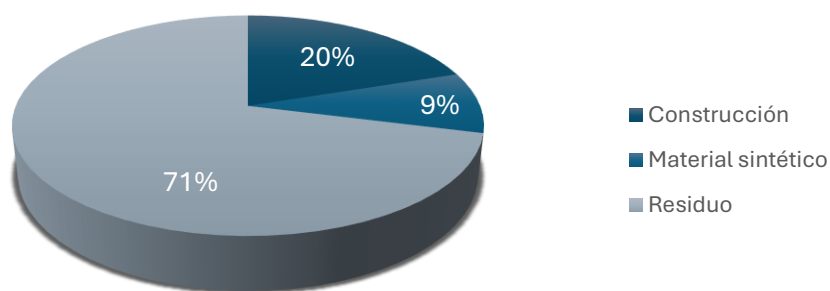


Figura 7 - Cantidad de estudios de cada material

Se expone a continuación, en la Figura 8, el número de artículos dedicados a cada submaterial. La figura proporciona, además, información acerca de los submateriales presentes en cada categoría (material), lo que resulta muy útil para obtener una visión más global.

Se ha observado de manera destacada que el apartado de “bioensayos” representan el submaterial con mayor cantidad de artículos recopilados. Esto se debe, fundamentalmente, al hecho de que los artículos que abordaban una batería de ensayos y que incluían múltiples organismos de estudio en un solo estudio, han sido clasificados únicamente como bioensayos. La inclusión de diversos organismos en un solo estudio ha influido significativamente en el recuento final de artículos.

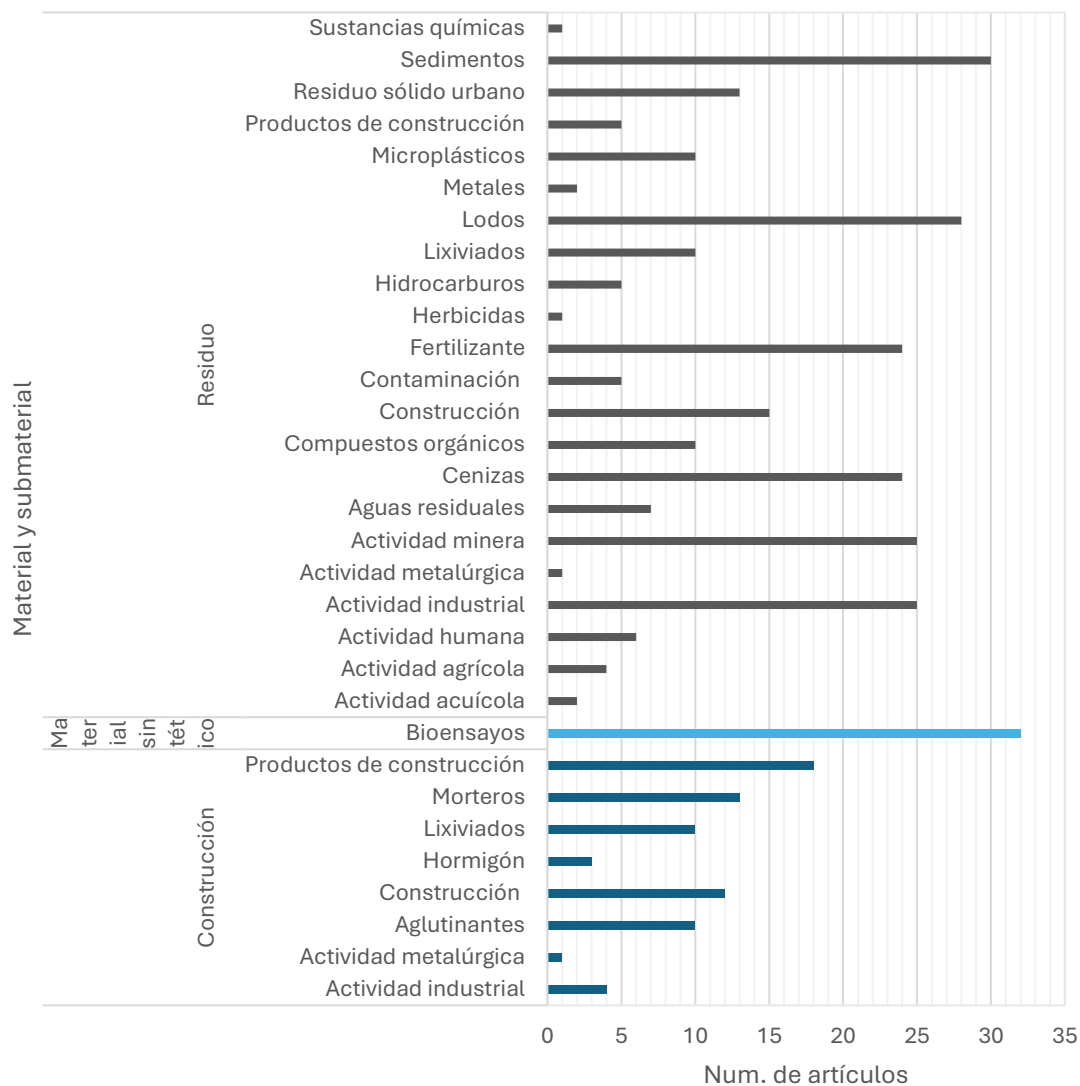


Figura 8 - Artículos de cada submaterial

3.2.2. Análisis del tipo de ensayo

El estudio del número de artículos dedicados a ensayos acuáticos y terrestres (Figura 9), permite comprender los diferentes entornos y las respuestas biológicas asociadas.

Los ensayos acuáticos se centran en evaluar la toxicidad y los efectos ambientales que los materiales/residuos pueden tener en el agua mediante la exposición de organismos acuáticos, como peces, algas o crustáceos, a diferentes concentraciones para determinar su impacto en la vida acuática y la calidad del agua. Los ensayos terrestres, por otro lado, se centran en evaluar cómo esos materiales y residuos afectan a los suelos, la biodiversidad terrestre y los ecosistemas circundantes. Para llevarlo a cabo, se exponen ciertos organismos terrestres, como plantas, organismos invertebrados del

suelo o pequeños mamíferos, con el fin de estudiar su impacto en el crecimiento de las plantas, la actividad del suelo o la salud de los propios organismos terrestres.

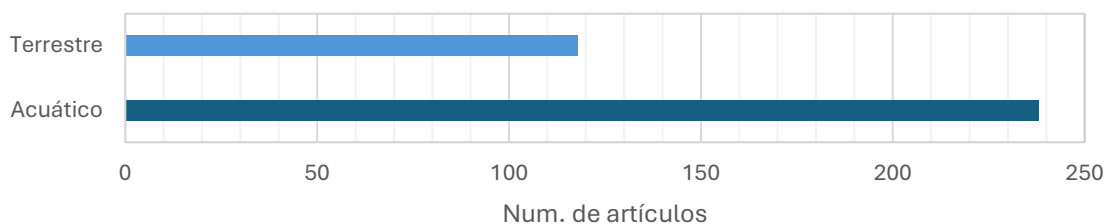


Figura 9 - Número de artículos dedicados a cada ensayo

La figura 9 revela un mayor número de investigaciones dedicadas a ensayos acuáticos (238) en comparación con las dedicadas a ensayos terrestres (118). Esto se debe a la amplia disponibilidad de hábitats acuáticos, su importancia ecológica y el impacto humano en estos ecosistemas. Una situación que contrasta con la limitada distribución y diversidad de hábitats terrestres, influyendo en la preferencia a la hora de llevar a cabo las diferentes investigaciones.

Distribución de los ensayos por tipo de material estudiado

Investigar la distribución de los ensayos acuáticos y terrestres en relación con el uso de residuos, materiales de construcción y materiales sintéticos resulta fundamental para comprender la preocupación de cómo estos afectan a los diferentes entornos ambientales (Figura 10).

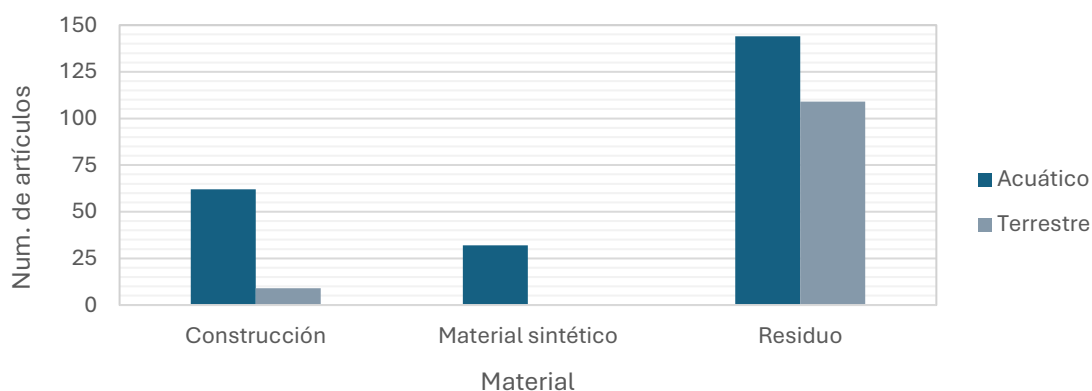


Figura 10 - Número de artículos dedicados a cada ensayo clasificados por material

Se observa que hay un total de 144 artículos dedicados a ensayos acuáticos en residuos, seguidos por 62 en materiales de construcción y 32 en materiales sintéticos.

En cuanto a los artículos enfocados en ensayos terrestres, se encuentran 109 en residuos y 9 en materiales de construcción.

Se aprecia, además, una tendencia generalizada tanto en ensayos acuáticos como terrestres, en la que existe un mayor número de artículos dedicados a residuos, seguidos por estudios centrados en materiales de construcción, y finalmente, una menor cantidad de investigación dirigida a materiales sintéticos.

La abundancia de artículos en materia de residuos supone una creciente preocupación por la gestión ambiental y la calidad del agua. Sin embargo, la menor cantidad de estudios centrados en materiales de construcción y materiales sintéticos puede atribuirse a la complejidad de los materiales y la disponibilidad limitada de datos y recursos.

Tipo de agua en los ensayos acuáticos

El estudio de los ensayos acuáticos realizados en entornos de agua dulce o de mar supone una herramienta para entender las tendencias de investigación en ecosistemas acuáticos (figura 11).

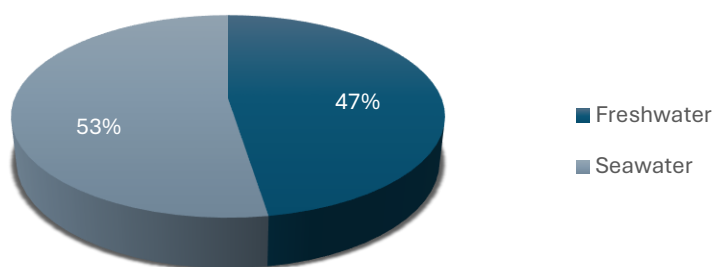


Figura 11 - Proporción de ensayos acuáticos dedicados a agua dulce y agua de mar

El contraste entre la cantidad de artículos en los que se realizan ensayos acuáticos en agua de mar en comparación con aquellos que se realizan en agua dulce se debe, principalmente, a que la disponibilidad de hábitats marinos es considerablemente mayor que la de los ecosistemas de agua dulce, ofreciendo una amplia gama de entornos para el análisis. Por otro lado, los ecosistemas marinos y costeros tienden a atraer un gran interés científico debido a su complejidad e importancia para la biodiversidad. (Trowbridge et al., 2019), (Bielmyer et al., 2005)

Si se analiza de forma más detallada la relación entre el número de artículos con el tipo de ensayo y el material implicado (Figura 12), se destaca que, en el caso de los materiales construcción, existe un mayor número de artículos dedicados a ensayos

acuáticos en agua dulce, algo que no ocurre en el resto de los tipos de materiales donde, no solo existe un mayor número de artículos dedicados a ensayos de agua de mar, sino que, además, la diferencia entre el número de artículos es considerable.

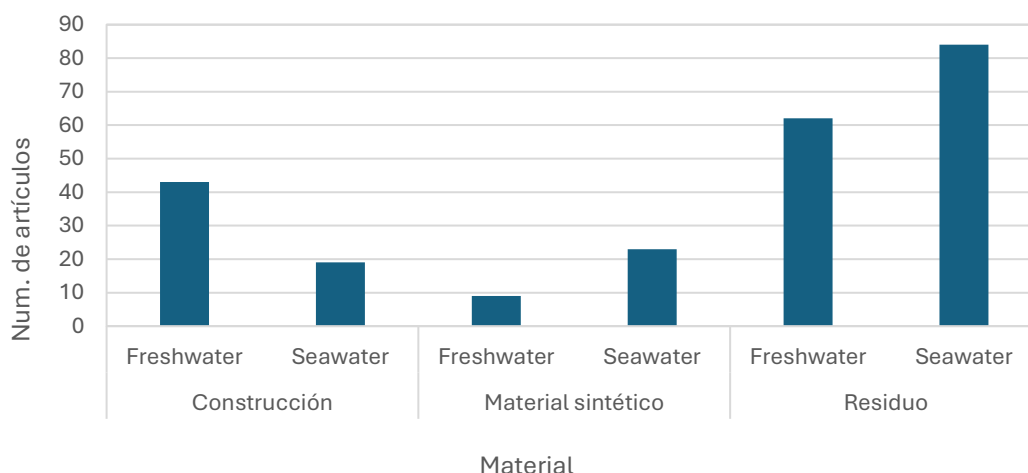


Figura 12 - Relación del número de artículos con el material y el tipo de agua empleada en el ensayo acuático

3.2.3. Análisis de los organismos empleados

La evaluación de la cantidad de artículos que emplean un organismo en particular puede reflejar su importancia y sensibilidad a ciertos estímulos ambientales. Permite también evaluar las tendencias en la investigación científica, determinar la relevancia y representatividad de los resultados obtenidos en estudios particulares, así como identificar áreas de investigación emergentes o menos estudiadas. El conocimiento de la cantidad de artículos dedicados a un organismo en particular no solo proporciona información sobre la exposición y los efectos de sustancias químicas en la salud y el medio ambiente, sino que también permite identificar organismos bioindicadores clave para la evaluación del riesgo ambiental. La cantidad de investigaciones dedicadas a un organismo específico puede indicar su susceptibilidad a ciertos contaminantes.

A continuación, se presentan las frecuencias de cada organismo en los distintos ensayos, tanto acuáticos como terrestres, en relación con su uso como material de estudio.

El análisis de la distribución de organismos en diferentes pruebas acuáticas y terrestres permite obtener conclusiones sobre su respuesta a contaminantes en diferentes ambientes. De tal forma que, si un organismo se encuentra con mucha frecuencia en ensayos acuáticos, indica una alta sensibilidad a los contaminantes presentes en el agua y, si se usa más habitualmente en experimentos con materiales sintéticos en

comparación con materiales de construcción, significa que es un organismo modelo que permite obtener resultados más relevantes.

Analizando la frecuencia de uso de cada organismo se puede identificar cuáles se prefieren para su uso en la evaluación de la toxicidad de ciertos materiales o en la realización de pruebas específicas.

Construcción

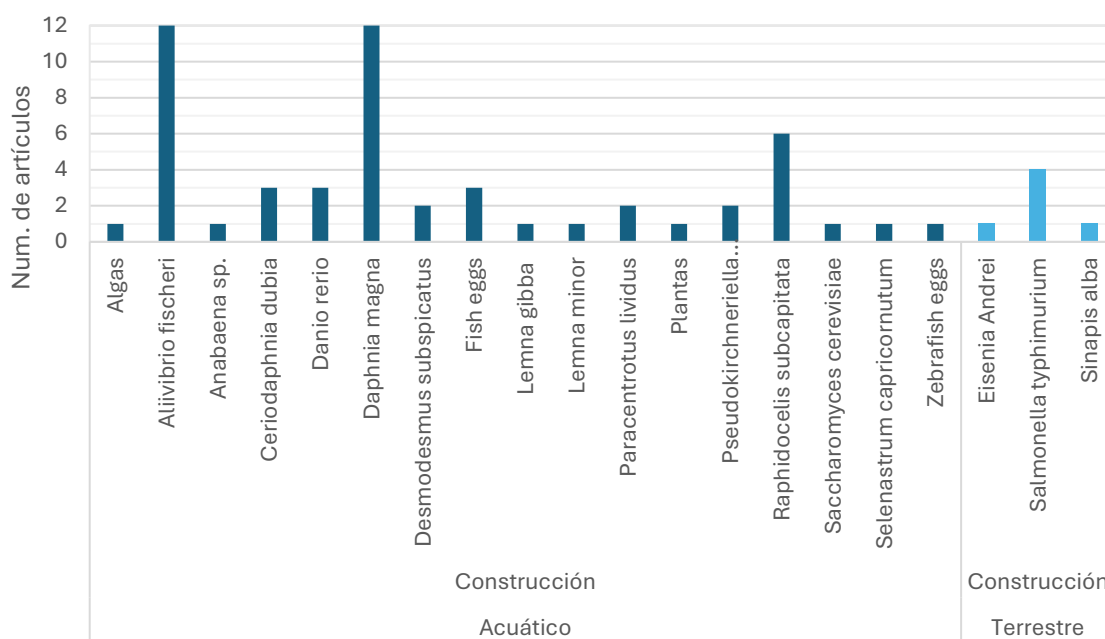


Figura 13 - Relación número de artículos-organismo para materiales de construcción

En la Figura 13 se recogen los resultados obtenidos para los organismos empleados en materiales de construcción. Se observa que, para los **ensayos acuáticos**, los organismos más utilizados en orden decreciente son Daphnia magna, Aliivrio fischeri, Raphidocelis subcapita Fish eggs, Danio rerio y Ceriodaphnia dubia, entre otros en menor proporción.

El **Danio rerio** también conocido como pez cebra, es altamente sensible a los contaminantes químicos presentes en el agua, entre los que se incluyen metales pesados como el plomo, el mercurio y el cadmio y compuestos orgánicos como los pesticidas y los hidrocarburos aromáticos policíclicos (Heisterkamp et al., 2019). Este pez de agua dulce es un organismo modelo común en investigación especialmente en el campo de la toxicología, debido a su rápida reproducción, desarrollo embrionario transparente y fácil mantenimiento en el laboratorio. El uso de este organismo en ensayos de materiales de construcción no solo permite evaluar el impacto de sustancias

químicas individuales, sino también la interacción entre diferentes compuestos y su efecto acumulativo en los ecosistemas acuáticos y la salud de los organismos que los habitan (Heisterkamp et al., 2023). El **Raphidocelis subcapita** es una microalga unicelular comúnmente utilizada en estudios acuáticos debido a su sensibilidad a los cambios ambientales y a la presencia de contaminantes en el agua. Este organismo, es especialmente sensible a metales pesados como el cobre, el zinc, el cadmio, el plomo y el mercurio, así como a compuestos orgánicos como herbicidas, pesticidas e hidrocarburos aromáticos policíclicos. (Bandarra et al., 2023). Por otro lado, el **Ceriodaphnia dubia**, una especie de crustáceo acuático también es ampliamente empleado en ensayos de toxicidad acuática debido a su sensibilidad a los cambios en la calidad del agua y su papel como indicador de la salud de los ecosistemas acuáticos. El *Ceriodaphnia dubia* ha demostrado ser especialmente susceptible a contaminantes como metales pesados, incluyendo el plomo, el cobre y el zinc, así como a compuestos orgánicos como pesticidas y herbicidas. (Eom et al., 2007).

Si bien estos organismos muestran una sensibilidad común a contaminantes como los metales pesados y los compuestos orgánicos, cada uno de ellos puede reaccionar de manera única ante distintas sustancias químicas y condiciones ambientales. Mientras que *Daphnia magna* es sensible a factores como la temperatura y el pH, el *Raphidocelis subcapita* muestra una sensibilidad a cambios en la calidad del agua y a la presencia de metales pesados. Además, *Daphnia magna* y *Ceriodaphnia dubia* son consumidores primarios en la cadena alimentaria, mientras que *Raphidocelis subcapita* está en la base como productor primario. Estas diferencias biológicas influyen en cómo responden a los contaminantes y en su propagación a través de la cadena alimentaria.

En el caso de los **ensayos terrestres**, el organismo más empleado es la **Salmonella typhimurium**, una bacteria gramnegativa que se encuentra comúnmente en el suelo y permite evaluar su calidad y salud. Este organismo es especialmente sensible a compuestos orgánicos como hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) y compuestos orgánicos volátiles (COV) (Heisterkamp et al., 2019). También muestra sensibilidad a metales pesados como el plomo, el cadmio, el arsénico y el mercurio, además de pesticidas y herbicidas. En este sentido, la *Salmonella typhimurium* no solo es un organismo adecuado para estudiar el impacto de los materiales de construcción en los suelos terrestres, sino que su presencia o ausencia, además de su respuesta a los contaminantes, puede proporcionar información importante sobre la salud del ecosistema terrestre.

Material sintético

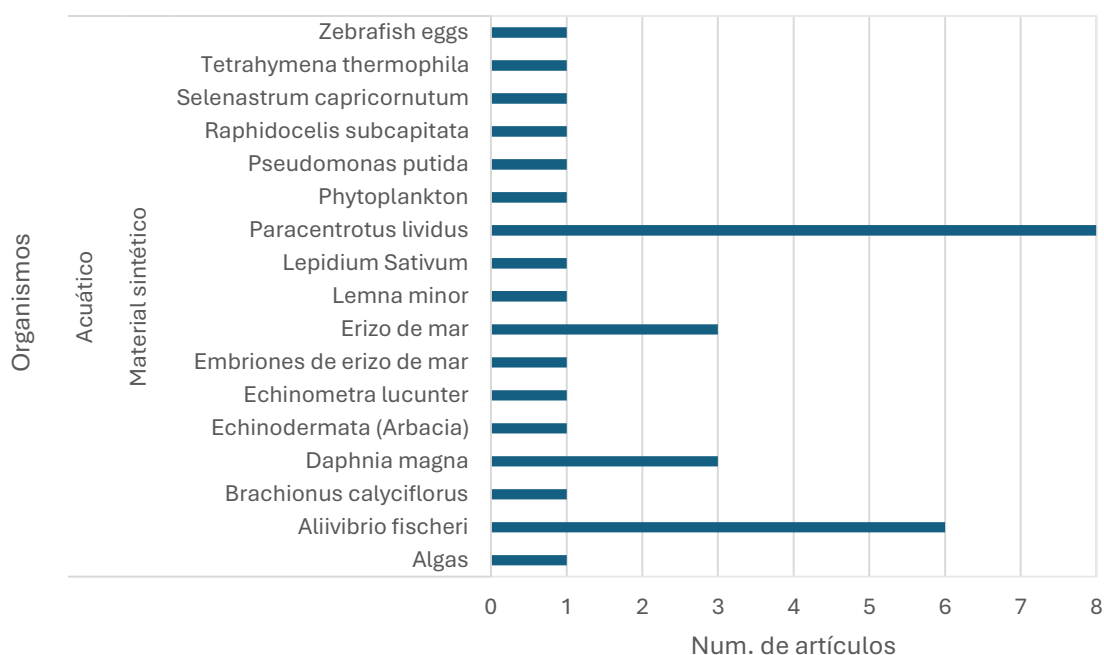


Figura 14 - Relación número de artículos-organismo para materiales sintéticos

En el caso de los materiales sintéticos, solo se han obtenido resultados de ensayos acuáticos, siendo los organismos más empleados *Paracentrotus lividus*, otras especies de erizo de mar, la bacteria luminiscente *Aliivibrio fischeri* y la *Daphnia magna*.

El ***Paracentrotus lividus***, también conocido como erizo de mar púrpura, que habita en el Atlántico oriental y el mar Mediterráneo. Este erizo desempeña un papel importante en los ecosistemas marinos como herbívoro, alimentándose principalmente de algas y controlando la vegetación marina (Grassi et al., 2019). Además, es reconocido por su sensibilidad a diversos factores ambientales, incluyendo la acidez del agua, la concentración de oxígeno disuelto y la presencia de metales pesados como plomo, cadmio, mercurio, cromo y níquel (Bonaventura et al., 2018). Cabe destacar que, aunque se considera al *Paracentrotus lividus* como un erizo de mar, su clasificación se ha diferenciado en ciertos artículos. En algunos casos se hace referencia específicamente a esta especie, mientras que en otros se utiliza el término genérico *erizo de mar*. A pesar de ser parte de la categoría de erizos de mar comunes, el *Paracentrotus lividus* presenta diferencias notables en aspectos como coloración, hábitat, morfología, ecología y comportamiento respecto a otras especies. Estas distinciones, aunque sutiles, resultan significativas en cuanto a su adaptación al entorno y a las funciones ecológicas particulares.

La **Daphnia magna** o pulga de agua, es un crustáceo acuático particularmente sensible a una amplia gama de contaminantes acuáticos, incluyendo pesticidas, herbicidas, metales pesados como plomo, cadmio, mercurio, cromo y níquel; y compuestos orgánicos e inorgánicos (Stefan Gartiser et al., 2017). Su fácil cultivo y reproducción en laboratorio permiten la realización eficiente y estandarizada de estudios de toxicidad. Además, su ciclo de vida corto y alta tasa de reproducción posibilitan la realización de pruebas a gran escala, mientras que su transparencia facilita la observación directa de sus órganos internos, lo que contribuye a la detección temprana de efectos adversos por contaminantes.

Aunque la *Daphnia magna* y el *Paracentrotus lividus* son sensibles a muchos de los mismos tipos de contaminantes, existen diferencias en sus características biológicas y en los contextos en los que se utilizan, lo que los hace más adecuados para ciertos tipos de estudios. Mientras que la *Daphnia magna* prefiere hábitats de agua dulce, como estanques y ríos, el *Paracentrotus lividus* reside en el océano, enfrentando así diferentes fuentes de contaminación. Por lo tanto, la selección entre estos organismos dependerá del ecosistema bajo estudio. En términos de tamaño y ciclo de vida, la *Daphnia magna*, siendo más pequeña y con un ciclo de reproducción rápido, es ideal para estudios de toxicidad a corto plazo y a gran escala. Por otro lado, el *Paracentrotus lividus*, que es más grande y tiene un ciclo de vida más largo, requiere investigaciones más prolongadas y caras. Además, este organismo cuenta con un sistema nervioso más avanzado y sus procesos de reproducción y alimentación son más complejos.

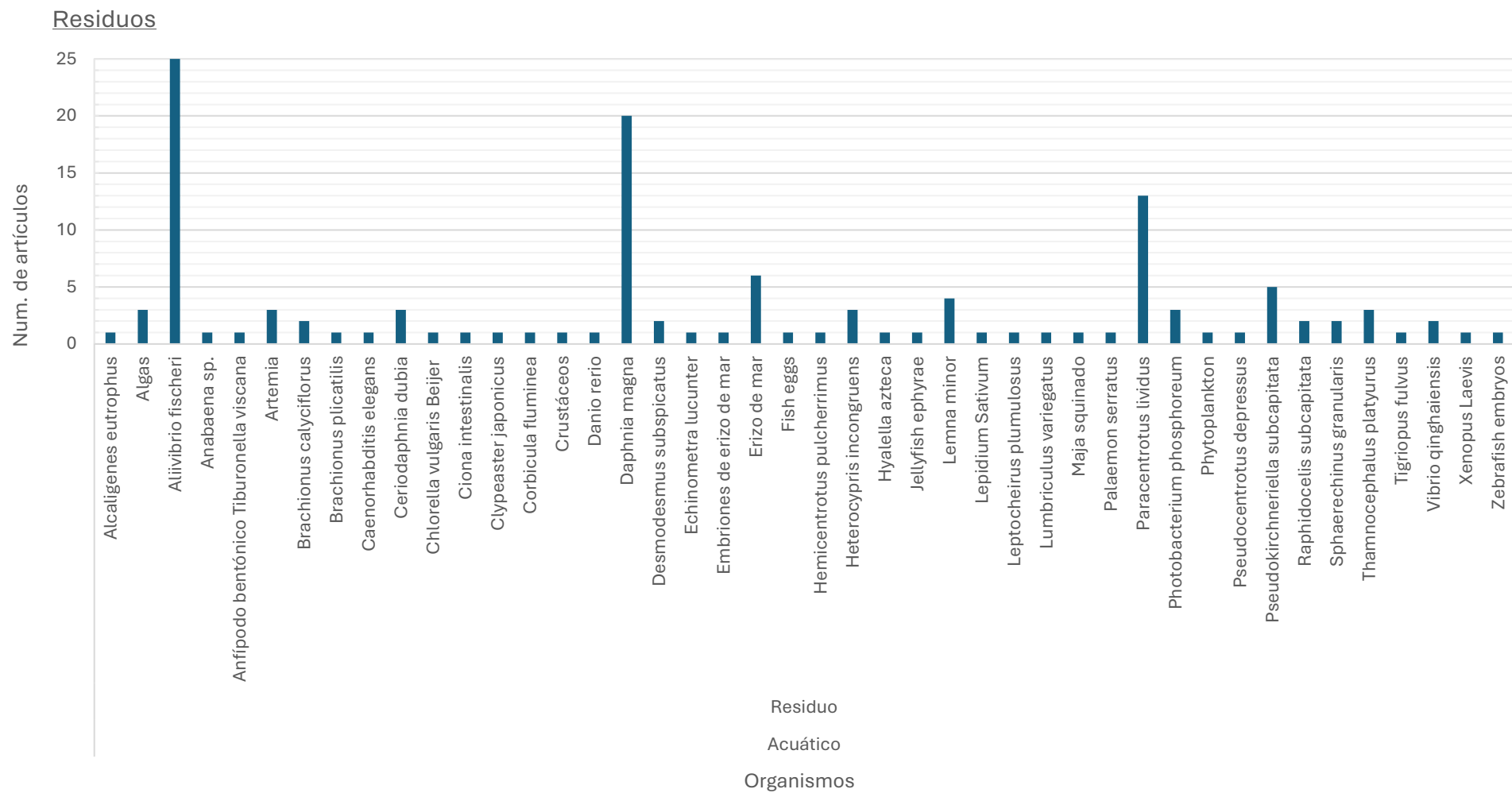


Figura 15 - Relación número de artículos-organismo para analizar residuos

De los artículos seleccionados, aquellos que están relacionados con los residuos y los ensayos acuáticos, revelan que el *Aliivibrio fischeri*, la *Daphnia magna*, el *Paracentrotus lividus*, otras especies de erizo de mar, el *Pseudokirchneriella subcapitata* y la *Lemna minor* son los organismos más frecuentemente mencionados. Estos organismos, son ampliamente reconocidos y utilizados en estudios de ecotoxicología debido a sus características particulares.

El ***Aliivibrio fischeri***, es una bacteria luminiscente capaz de producir luz a través de un proceso enzimático llamado bioluminiscencia, que involucra una enzima llamada luciferasa y un sustrato llamado luciferina. Esta característica permite medir de forma rápida y sensible la toxicidad de diversas sustancias químicas y contaminantes en el agua, haciendo que cualquier alteración causada por la presencia de contaminantes o cambio en las condiciones ambientales, afecte a la bioluminiscencia. Entre los factores que pueden influir en este organismo se encuentran los metales pesados (como mercurio, plomo, cadmio), compuestos orgánicos (como pesticidas, hidrocarburos aromáticos policíclicos, fenoles), productos químicos industriales (como disolventes orgánicos), cambios en el pH del agua, la temperatura, la salinidad y la disponibilidad de nutrientes. (Alvarenga et al., 2016)

La ***Lemna minor***, una planta acuática también conocida como lenteja de agua que flota en la superficie del agua, se emplea en ensayos de toxicidad de aguas. Estos organismos no solo son sensibles a los cambios ambientales, sino que también son fáciles de mantener y reproducir en condiciones de laboratorio, lo que los convierte en elecciones ideales para estudios de toxicidad acuática donde puede crecer rápidamente en medios acuosos simples y permite la realización de ensayos de toxicidad estandarizados y reproducibles. (Kočí et al., 2010) La *Lemna minor* es especialmente sensible a una variedad de contaminantes químicos, incluido metales pesados como el mercurio, el plomo y el cadmio y el zinc, así como a compuestos orgánicos como pesticidas, herbicidas, hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), bifenilos policlorados (PCB) y compuestos fenólicos.

La ***Pseudokirchneriella subcapitata***, es un alga verde unicelular sensible a metales pesados como el mercurio, el plomo, el cadmio y el zinc, además de a algunos pesticidas, herbicidas, hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP). (Cesar et al., 2015) Esta sensibilidad la convierte en un organismo modelo en estudios de ecotoxicología, donde puede crecer rápidamente en medios acuosos simples y permite la realización de ensayos de toxicidad estandarizados y reproducibles.

Aunque *Aliivibrio fischeri*, *Lemna minor* y *Pseudokirchneriella subcapitata* comparten ciertas sensibilidades a contaminantes y factores ambientales, cada uno tiene características únicas que los hacen adecuados para diferentes tipos de estudios y aplicaciones en ecotoxicología y evaluación de la calidad del agua. El *Aliivibrio fischeri* es especialmente sensible a metales pesados y compuestos orgánicos, mientras que la *Pseudokirchneriella subcapitata* se utiliza comunmente en estudios de toxicidad aguda y crónica en agua dulce, lo que la hace útil para evaluar la toxicidad de productos químicos y contaminantes en general. *Lemna minor*, sin embargo, se emplea para evaluar la toxicidad de contaminantes en ambientes acuáticos con un enfoque en plantas superiores. Por otro lado, *Pseudokirchneriella subcapitata* puede crecer rápidamente en medios acuosos simples y es fácil de mantener en cultivo, lo que la convierte en una opción popular para ensayos de toxicidad en laboratorio, mientras que el *Aliivibrio fischeri* es una bacteria que se cultiva fácilmente en medios de cultivo estándar. Además, el *Aliivibrio fischeri* puede proporcionar respuestas rápidas en ensayos de toxicidad aguda, mientras que *Lemna minor* puede ser más adecuada para estudios a más largo plazo sobre los efectos crónicos de los contaminantes en las plantas acuáticas.

En relación con los **ensayos terrestres**, se observa (Figura 16) que los organismos más frecuentemente encontrados son *Folsomia candida*, *Eisenia fetida*, *Lepidium sativum*, *Sinapis alba*, varias especies de plantas como *Lolium perenne* y *Lactuca sativa*.

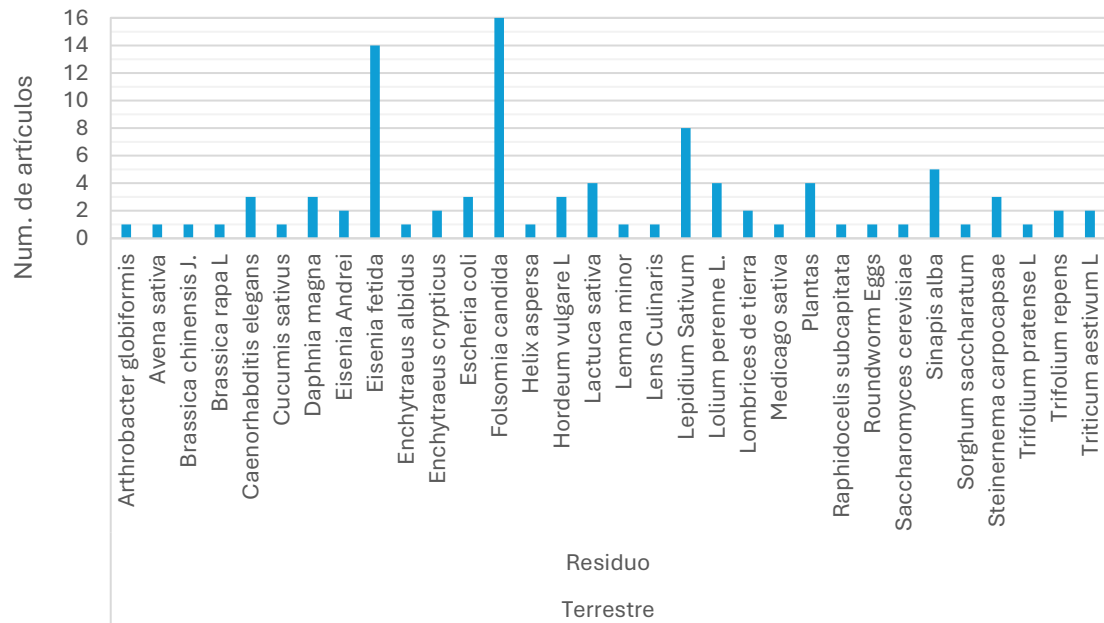


Figura 16 - Relación número de artículos-organismo para residuos empleando ensayos terrestres

Estos organismos poseen una notable sensibilidad a los contaminantes presentes en el suelo. La **Folsomia candida** es un tipo de colémbolo, un pequeño artrópodo terrestre muy común que se encuentran en una amplia variedad de hábitats. Es sensible a metales pesados como el cadmio, el plomo, el zinc y el cobre, que pueden tener efectos tóxicos en su supervivencia, reproducción y comportamiento, así como a pesticidas, herbicidas e hidrocarburos (Lavado et al., 2022). Los cambios en la acidez del suelo, la humedad y la temperatura también pueden afectar su capacidad para sobrevivir y reproducirse. Debido a su sensibilidad, se utiliza como organismo modelo en ensayos de toxicidad del suelo para determinar los efectos de los contaminantes en la supervivencia, reproducción y comportamiento de los organismos del suelo, así como para evaluar la calidad del suelo.

La **Eisenia fétida**, es una especie de lombriz terrestre, conocida como lombriz roja californiana, sensible a ciertos metales pesados como el cadmio, el plomo y el cobre, así como a pesticidas y herbicidas comunes. (Bori et al., 2017) Este organismo se emplea tanto en la evaluación de la salud del suelo como en la producción de compost orgánico de alta calidad a través del vermicompostaje, un proceso de descomposición controlada de materia orgánica.

El **Lepidium sativum** se conoce como berro de jardín, una planta herbácea sensible a la contaminación por metales pesados como el plomo, el cadmio, el mercurio y el zinc, además de a la contaminación por compuestos orgánicos como pesticidas, herbicidas e hidrocarburos. (Alvarenga et al., 2007) Estos factores pueden llegar a afectar negativamente el crecimiento de las plantas, pudiendo inhibir la germinación de las semillas. Este organismo, además, responde a la presencia de agua contaminada, ya que puede absorber contaminantes presentes, afectando así a su crecimiento y salud.

La **Sinapis Alba**, por otro lado, es una planta que funciona como indicador en estudios de toxicidad del suelo y como biomarcador de estrés ambiental en estudios de campo para evaluar la calidad del suelo debido a su sensibilidad a diversos contaminantes presentes en el suelo, incluidos metales pesados como el plomo, el cadmio y el zinc, así como a compuestos orgánicos como pesticidas, herbicidas e hidrocarburos. (Pukalchik et al., 2019)

Estos organismos, que son sensibles a contaminantes similares, se seleccionan según sus características y el tipo de estudio. Las plantas terrestres como Sinapis alba y Lepidium sativum se prefieren para estudios de toxicidad del suelo, que pueden cultivarse fácilmente a partir de semillas en condiciones controladas de temperatura, humedad y luz, mientras que Eisenia fetida es ideal para estudios de toxicidad del suelo

y vermicompostaje debido a su facilidad de manejo y cultivo en laboratorio. Además, *Eisenia fetida* podría considerarse potencialmente más costosa en términos de adquisición y mantenimiento en comparación debido a que son organismos vivos que requieren ciertas condiciones ambientales y de alimentación.

3.3. Interrelaciones y patrones entre los estudios

Este estudio bibliográfico ha permitido identificar tendencias, diferencias y áreas de interés entre los artículos revisados. Como parte de este proceso, se han identificado los años con mayor cantidad de artículos publicados y, además, se han seleccionado los organismos mayoritarios examinando los artículos asociados con ellos. Asimismo, se explorará la posible existencia de relaciones entre los autores de estos artículos y la presencia de zonas geográficas comunes.

Esta visión ofrece no solo un resumen y contextualización de los resultados, sino que también muestran una perspectiva integrada de la evolución en el estudio de la ecotoxicidad y la influencia de organismos específicos, así como la distribución temporal de la investigación.

3.3.1. *Análisis temporal*

Tras haber realizado un análisis temporal, se desglosan ahora los años (Figura 17) con el objetivo de conocer el número de documentos de cada tema de interés seleccionado en este estudio bibliográfico. Al comprender mejor cómo se distribuye la investigación en estos temas, se espera que las tendencias se vean más claramente, lo que permitirá extraer conclusiones significativas sobre las áreas de mayor interés.

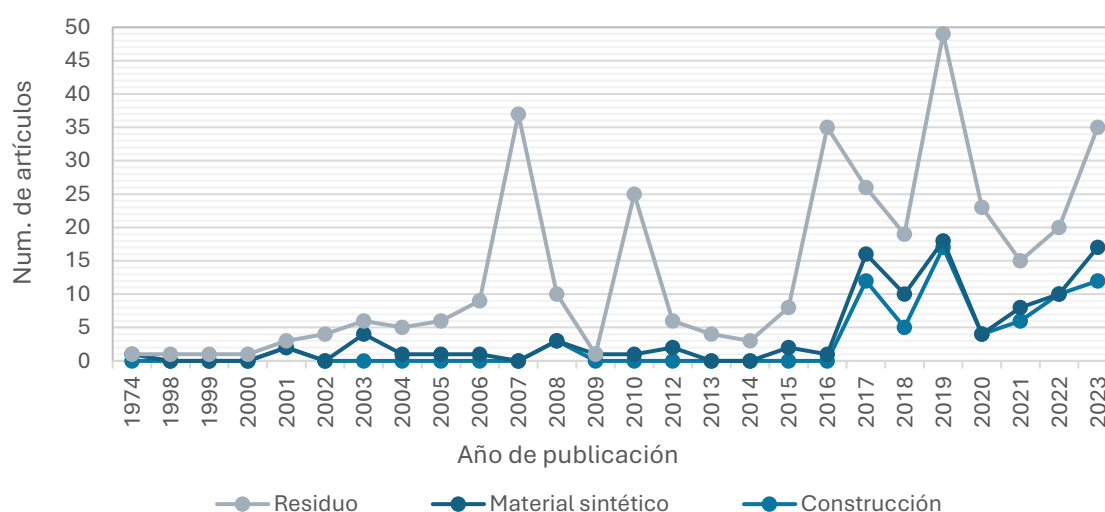


Figura 17 - Análisis temporal de publicación de artículos

Este desglose revela una tendencia general de un mayor número de artículos sobre residuos en comparación con aquellos centrados en materiales sintéticos y construcción, como cabía esperar. Sin embargo, es importante destacar que, en los años más recientes, aunque la tendencia general se mantiene, se observa un aumento notable en la cantidad de artículos centrados en la construcción en comparación con los años anteriores, lo que sugiere un aumento en el interés hacia la investigación en el ámbito de la valorización de productos de construcción.

Se ha observado también que en los años 2007 y 2019 se realizaron un mayor número de publicaciones. Estos años coinciden con la publicación de la Directiva 2008/98/CE y la Directiva (UE) 2018/851. Ambas directivas comparten el objetivo de promover una gestión más sostenible de los recursos. La Directiva 2008/98/CE establece un marco general para la gestión de residuos en la UE, con el objetivo de prevenir y reducir la generación de residuos, así como fomentar su reciclaje y valorización. Por otro lado, la Directiva (UE) 2018/851 se enfoca en promover la transición hacia una economía circular, con medidas específicas para mejorar la gestión de residuos, especialmente en áreas como los residuos municipales.

3.3.2. Análisis de materiales y submateriales

Este apartado se enfoca en analizar los materiales y submateriales empleados en los artículos científicos seleccionados permitiendo establecer una relación entre ellos junto con los organismos empleados. Para poder llevarlo a cabo se considerarán aquellos submateriales más comúnmente abordados dentro de cada material y aquellos organismos más empleados.

Para facilitar la comprensión, este apartado se divide en los tres tipos de materiales en los que han sido clasificados los artículos.

Construcción

Resulta de gran interés conocer cómo se distribuyen los artículos publicados sobre el material Construcción a lo largo de los años y en relación con los diferentes submateriales. Con este fin, se ha generado una figura que muestra esta distribución, permitiendo una visualización clara y detallada de la evolución temporal y de los submateriales de estudio dentro de este campo (Figura 18)

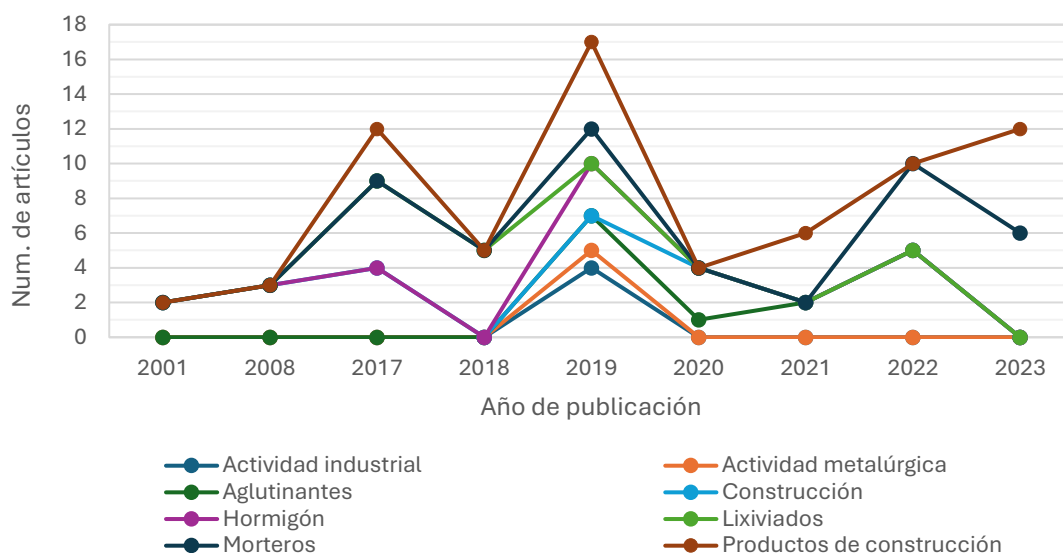


Figura 18 - Análisis temporal de la publicación de artículos para el material Construcción.

La figura previa muestra una progresión de la cantidad de artículos publicados, lo que permite determinar que los submateriales más destacados son *Productos de construcción*, *Morteros* y *Lixiviados*. Por ello, el análisis se enfocará en analizar específicamente estos submateriales.

Una vez identificados estos submateriales, se procede a investigar qué organismos se encuentran involucrados en (Figura 19). Como resultado, se observa que *Aliivibrio fischeri* y *Daphnia magna* son los organismos más comúnmente estudiados en relación con estos materiales y submateriales. Los artículos seleccionados se han recopilado en una tabla con el fin de realizar un análisis detallado de cada uno de ellos (Tabla 1).

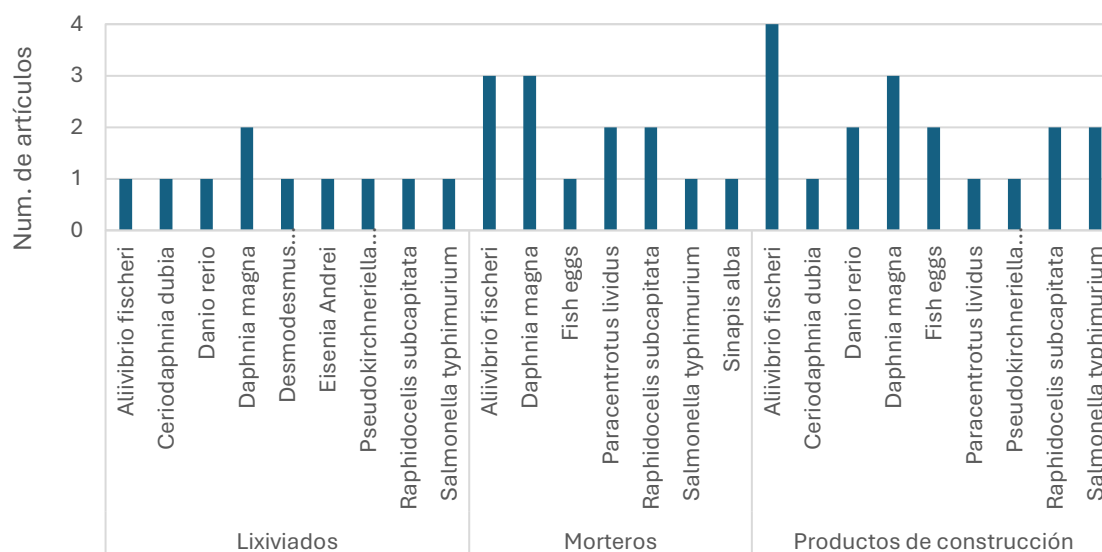


Figura 19 - Organismos utilizados en los submateriales mayoritarios para el material Construcción

Tabla 1 - Artículos para la categoría Construcción y los organismos empleados

SUBMAT.	ORGAN.	ARTÍCULO	CITA
Construcción	Aliivibrio fischeri	Evaluation of the Ecotoxicological Potential of Fly Ash and Recycled Concrete Aggregates Use in Concrete	(Rodrigues et al., 2020)
		Results from a round robin test for the ecotoxicological evaluation of construction products using two leaching tests and an aquatic test battery	(Stefan Gartiser et al., 2017)
		Sediment quality assessment of road runoff detention systems in Sweden and the potential contribution of tire wear	(Wik et al., 2008)
		Toxic response of the bacterium Vibrio fischeri to sodium lauryl ether sulphate residues in excavated soils	(Mariani et al., 2020)
	Daphnia magna	Chemical characterization and ecotoxicity of three soil foaming agents used in mechanized tunneling	(Baderna et al., 2015)
		Environmental impact of construction and repair materials on surface water and groundwater: Detailed evaluation of waste-amended highway materials	(Thayumanavan et al., 2001)
		Evaluation of the Ecotoxicological Potential of Fly Ash and Recycled Concrete Aggregates Use in Concrete	(Rodrigues et al., 2020)
		Results from a round robin test for the ecotoxicological evaluation of construction products using two leaching tests and an aquatic test battery	(Stefan Gartiser et al., 2017)
Morteros	Aliivibrio fischeri	Assessment of the environmental acceptability of potential artificial reef materials using two ecotoxicity tests: Luminescent bacteria and sea urchin embryogenesis	(Santos et al., 2023a)
		Do new cement-based mortars pose a significant threat to the aquatic environment?	(Accardo et al., 2023)
		Release of substances from joint grouts based on various binder types and their ecotoxic effects	(Schoknecht et al., 2022)
	Daphnia magna	Assessment of the impact of municipal solid waste incineration bottom ash used as partial cement replacement in cement mixture using bioassays	(Fialová et al., 2019)
		Do new cement-based mortars pose a significant threat to the aquatic environment?	(Accardo et al., 2023)
		Release of substances from joint grouts based on various binder types and their ecotoxic effects	(Schoknecht et al., 2022)
Productos de construcción	Aliivibrio fischeri	Assessment of leachates from reactive fire-retardant coatings by chemical analysis and ecotoxicity testing	(Heisterkamp et al., 2019)
		Corrosion protection products as a source of bisphenol A and toxicity to the aquatic environment	(Vermeirssen et al., 2017)
		Ecotoxicological evaluation of construction products: inter-laboratory test with DSLT and percolation test eluates in an aquatic biotest battery	(Heisterkamp et al., 2021)
		Investigating the ecotoxicity of construction product eluates as multicomponent mixtures	(Heisterkamp et al., 2023)
	Daphnia magna	Assessment of leachates from reactive fire-retardant coatings by chemical analysis and ecotoxicity testing	(Heisterkamp et al., 2019)
		Ecotoxicological evaluation of construction products: inter-laboratory test with DSLT and percolation test eluates in an aquatic biotest battery	(Heisterkamp et al., 2021)
		Investigating the ecotoxicity of construction product eluates as multicomponent mixtures	(Heisterkamp et al., 2023)
		Potential toxicity of improperly discarded exhausted photovoltaic cells	(Motta et al., 2016)

El artículo Rodrigues et al., (2020) se centra en evaluar el potencial ecotoxicológico del uso de cenizas volantes y agregados de concreto reciclado en la producción de cemento. Examina los posibles efectos adversos que estos materiales podrían tener en el medio acuático cuando se utilizan en la construcción de estructuras de cemento. El

estudio utiliza bioensayos con *Aliivibrio fischeri* para evaluar los efectos de estas sustancias en la salud de los ecosistemas acuáticos. Aparece dos veces en la lista proporcionada; una vez bajo el subtítulo "Construcción" y nuevamente bajo el subtítulo "Productos de construcción". Esto se debe a que el estudio aborda aspectos relacionados tanto con el proceso general de construcción, como con materiales específicos utilizados en la misma, siendo relevante para ambas categorías.

El artículo Gartiser et al., 2017 se centra en la evaluación ecotoxicológica de productos de construcción y su impacto ambiental en el contexto del diseño y la construcción de infraestructuras, lo que justifica su clasificación bajo la categoría 'Construcción', mediante dos pruebas de lixiviación y una batería de pruebas acuáticas empleando tanto *Daphnia magna* como *Aliivibrio fischeri*. Este estudio proporciona resultados de una prueba colaborativa realizada para evaluar los posibles efectos adversos de los productos de construcción en el medio ambiente, utilizando diferentes métodos de prueba para obtener una evaluación integral de su impacto ecotoxicológico.

Los artículos Wik et al., 2008, Mariani et al., 2020, Santos et al., 2023 y Vermeirssen et al., 2017, emplean ***Aliivibrio fischeri*** en sus estudios. Los dos primeros artículos se centran en evaluar la calidad del medio ambiente en diferentes contextos, uno relacionado con la evaluación de la calidad del sedimento en sistemas de retención de escorrentía vial y el otro en la respuesta tóxica de una bacteria a los residuos de un producto químico en suelos excavados. Por otro lado, el artículo Santos et al., 2023, se enfoca en evaluar la aceptabilidad ambiental de posibles materiales para arrecifes artificiales mediante dos pruebas de ecotoxicidad: una utilizando bacterias luminiscentes y otra basada en la embriogénesis de erizos de mar. Se encuentra en la categoría "morteros" debido a su enfoque en evaluar materiales potenciales para la construcción de arrecifes artificiales, los cuales pueden incluir morteros u otros materiales similares utilizados en la industria de la construcción marina. Por último, Vermeirssen et al., 2017 clasificado dentro de la categoría "Productos de construcción", examina los productos de protección contra la corrosión y su potencial como fuente de bisfenol A, así como su toxicidad para el medio ambiente acuático.

Los artículos Baderna et al., 2015, Fialová et al., 2019, Motta et al., 2016, Thayumanavan et al., 2001, Heisterkamp et al., 2019, emplean ***Daphnia magna*** como organismo de estudio. Baderna et al., 2015 y Fialová et al., 2019 están clasificados en la categoría de construcción. En el primero, se centra en la caracterización química y la evaluación de agentes espumantes de suelo utilizados en excavaciones de túneles mecanizados, mientras que en el segundo se examina el impacto de la ceniza de fondo

de incineración de residuos sólidos municipales como reemplazo parcial del cemento en mezclas de cemento. Motta et al., 2016 está clasificado como “construcción”, en él se analiza la toxicidad potencial de las células fotovoltaicas agotadas que son desechadas de manera inapropiada. Thayumanavan et al., 2001, Heisterkamp et al., 2019 están dentro del submaterial “producto de construcción”. Mientras que el primero se enfoca en evaluar el impacto detallado de materiales de carreteras modificados con residuos en el agua superficial y subterránea, en el segundo se centra en evaluar el impacto ambiental de productos de construcción mediante la lixiviación de sustancias posiblemente peligrosas, incluyendo la corrosión, y su efecto en el medio ambiente.

Los estudios Accardo et al., 2023 y Schoknecht et al., 2022 se centran en la evaluación de la ecotoxicidad de los eluyentes de productos de construcción. Están clasificados dentro de los morteros, dado que son componentes comunes en la construcción empleando. Ambos estudios emplean tanto *Aliivibrio fischeri* como *Daphnia magna*. Mientras que el primero investiga la idoneidad ambiental de materiales propuestos para arrecifes artificiales, el segundo se enfoca específicamente en morteros de cemento y su impacto en el medio ambiente acuático.

Los estudios catalogados como “Productos de construcción”, abordan la evaluación de la ecotoxicidad de productos relacionados con la construcción, destacando la importancia de comprender el impacto ambiental de estos materiales. En Vermeirssen et al., 2017 se examina los productos de protección contra la corrosión utilizados en componentes de acero y su posible liberación de bisfenol A (BPA) al medio ambiente acuático. En Heisterkamp et al., 2021 se evalúan una variedad de productos de construcción, mediante pruebas de lixiviación y bioensayos acuáticos. Por último, en Heisterkamp et al., 2023 se examina la ecotoxicidad de los eluyentes de productos de construcción como mezclas multicomponentes. Se destaca la importancia de considerar el efecto combinado de múltiples sustancias liberadas por los productos de construcción en el medio ambiente.

Además, se ha observado que cada artículo cuenta con un conjunto diferente de autores, a excepción de Heisterkamp et al., 2021 y Heisterkamp et al., 2023. En cuanto al análisis temporal, durante el análisis de los años de publicación de los artículos relacionados con la construcción, se observó una evolución significativa en el enfoque de la investigación. En 2017, se observó un mayor énfasis en la construcción en comparación con los materiales sintéticos y los residuos, lo cual se refleja en la publicación del artículo Vermeirssen et al., 2017. Finalmente, los años 2021-2023, cubren la mayoría de los artículos discutidos, confirmando la gran cantidad de artículos

publicados que se detectó en esos años durante el análisis temporal global en el campo de la ecotoxicidad en productos de construcción.

En los estudios analizados, se observa una asociación específica entre los organismos utilizados y los submateriales evaluados. *Aliivibrio fischeri* se emplea predominantemente en investigaciones relacionadas con la calidad del agua y la toxicidad de los materiales. Por ejemplo, en el estudio de Santos et al. (2023), esta bacteria se utiliza para evaluar la toxicidad de materiales propuestos para arrecifes artificiales. Por otro lado, *Daphnia magna* se utiliza principalmente en estudios sobre el impacto ambiental de los materiales en el agua superficial y subterránea.

Material sintético

De igual forma que en el caso anterior, se procede a evaluar los artículos cuyo material fue catalogado como Material Sintético (Figura 20). En este caso particular, como ya se ha mencionado anteriormente, todos los artículos se tratan de Bioensayos.

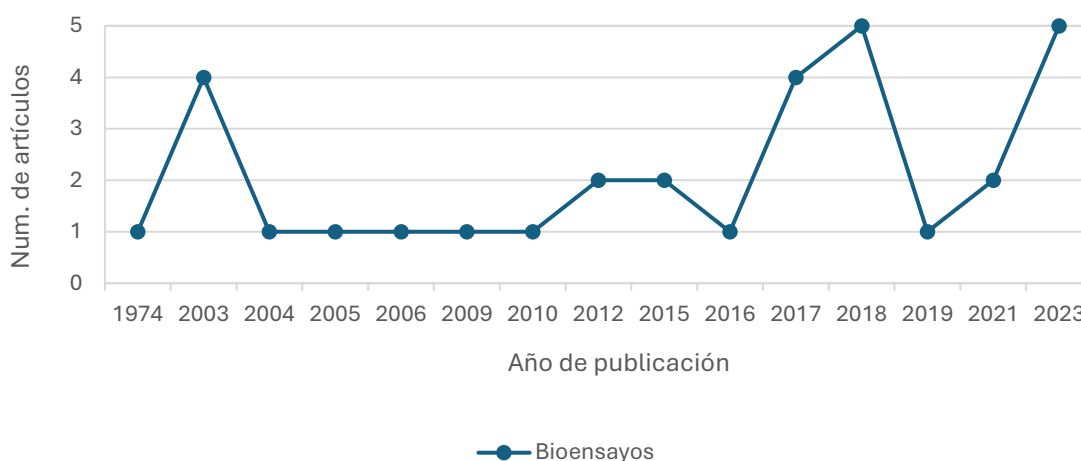


Figura 20 - Progresión temporal de publicación de artículos de Bioensayos

En la Figura 21 se identifican los microorganismos más utilizados en los ensayos con materiales sintéticos. Dado que *Paracentrotus lividus* y *Aliivibrio fischeri* son los más predominantes, se recopilan en una tabla (Tabla 2) los artículos que utilizan dichos organismos.

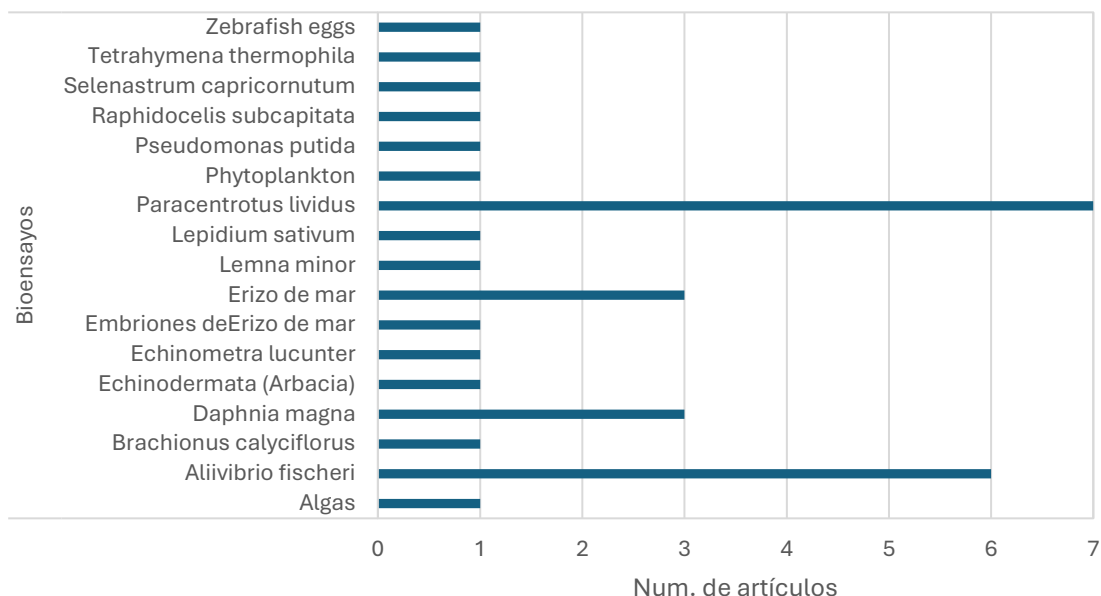


Figura 21 - Organismos utilizados en los Bioensayos

Tabla 2 - Artículos para la categoría Material sintético y los organismos empleados

ORGANISMO	ARTÍCULO	CITA
Aliivibrio fischeri	An integrated characterisation of incineration bottom ashes towards sustainable application: Physicochemical, ecotoxicological, and mechanical properties	(Bandarra et al., 2023)
	Interactive toxic effects of heavy metals and humic acids on Vibrio fischeri	(Tsiridis et al., 2006)
	Patterns of metals and arsenic poisoning in Vibrio fischeri bacteria	(Fulladosa et al., 2005)
	Results from a round robin test for the ecotoxicological evaluation of construction products using two leaching tests and an aquatic test battery	(Stefan Gartiser et al., 2017)
	Vibrio fischeri bioluminescence inhibition assay for ecotoxicity assessment: A review	(Abbas et al., 2018)
Paracentrotus lividus	Evaluation of the toxicity of metal pollutants on embryonic development of the sea urchin Paracentrotus lividus (Lamarck, 1816) (Echinodermata Echinoidea)	(Dermeche et al., 2012)
	In situ embryo toxicity test with sea urchin: Development of exposure chamber for test execution	(Morrone et al., 2018)
	Insights into the CuO nanoparticle ecotoxicity with suitable marine model species	(Rotini et al., 2018)
	Nickel toxicity in P. lividus embryos: Dose dependent effects and gene expression analysis	(Bonaventura et al., 2018)
	No 'silver bullet': Multiple factors control population dynamics of European purple sea urchins in Lough Hyne Marine Reserve, Ireland	(Trowbridge et al., 2019)
	The sea urchin Paracentrotus lividus immunological response to chemical pollution exposure: The case of lindane	(Stabili and Pagliara, 2015)
	Toxic effects induced by vanadium on sea urchin embryos	(Chiarelli et al., 2021)

Entre los artículos que emplean **Aliivibrio fischeri**, se pueden encontrar (Tsiridis et al., 2006), (Fulladosa et al., 2005) y (Abbas et al., 2018). El primer artículo, se centra en

investigar los efectos tóxicos de la interacción entre metales pesados y ácidos húmicos, mientras que, en el segundo, se evalúan patrones de envenenamiento por metales y arsénico en las bacterias *Vibrio fischeri*, proporcionando una comprensión más profunda de cómo estos contaminantes afectan la viabilidad y la función celular del organismo.

Por otro lado, cabe destacar que el artículo (Bandarra *et al.*, 2023), en el que se aborda la evaluación integral de las cenizas de fondo de incineración mediante la realización de pruebas de toxicidad en organismos modelo para evaluar los efectos de las cenizas en la salud y supervivencia de los organismos expuestos, el artículo está clasificado tanto en el grupo de residuo como en el grupo de bioensayos. De igual forma ocurre en el artículo (Stefan Gartiser *et al.*, 2017), que se puede encontrar en el grupo de construcción además de como bioensayo, dado que el artículo presenta los resultados de un ensayo interlaboratorio para evaluar la toxicidad de productos de construcción mediante dos pruebas de lixiviación y una batería de pruebas acuáticas ya mencionados en el apartado 'Construcción'

Estos estudios resaltan la importancia de evaluar los efectos de contaminantes y productos en el medio ambiente y los organismos vivos. Además, de comprender cómo estas sustancias pueden afectar la salud y la supervivencia de los organismos expuestos destacan la necesidad de enfoques integrados que combinen pruebas de laboratorio con estudios de campo para una evaluación precisa de la toxicidad ambiental.

Para los artículos que emplean **Paracentrotus lividus** en sus estudios, se ha podido observar que en (Dermeche *et al.*, 2012), el estudio se enfoca en evaluar cómo la exposición a metales pesados, como el plomo, el mercurio y el cadmio, afecta el desarrollo embrionario y la viabilidad del erizo de mar *Paracentrotus lividus*. En (Morrone *et al.*, 2018), se desarrolló una cámara de exposición específica para evaluar la toxicidad en *Paracentrotus lividus* con el objetivo de proporcionar una metodología definida. Además, se utilizó esta cámara para investigar si el naufragio del crucero "Costa Concordia" en la Isla del Giglio (Toscana, Italia) podría haber actuado como fuente de contaminación. Los resultados revelaron que las pruebas in situ mostraron una mayor sensibilidad y porcentajes de embriones normales más bajos en comparación con las pruebas de laboratorio.

Por otro lado, en (Rotini *et al.*, 2018), se evaluaron la toxicidad de las nanopartículas de óxido de cobre (CuO NPs) en diferentes especies marinas, con el objetivo de identificar las concentraciones letales y subletales de estas nanopartículas en estos organismos, así como comprender su comportamiento en medios acuáticos. Los resultados

mostraron una respuesta concentración-dependiente en todas las especies evaluadas, destacando la importancia de la sensibilidad de las diferentes especies a la toxicidad de las CuO NPs. En (Bonaventura et al., 2018), se investigó los efectos del níquel analizando sus efectos en los mecanismos de estrés y respuesta inmune, evaluando los cambios en la morfología, así como las respuestas a nivel proteico y de expresión génica. En el artículo (Trowbridge et al., 2019) se investiga los factores que influyen en la dinámica poblacional de los erizos de mar europeos en la Reserva Marina Lough Hyne en Irlanda. Se examinan variables como la temperatura del agua, la disponibilidad de alimentos y la presencia de depredadores para comprender cómo estos factores afectan la densidad y distribución de los erizos de mar en el área protegida. En (Stabili and Pagliara, 2015), se analiza la respuesta inmunológica del erizo de mar *Paracentrotus lividus* a la exposición al lindano, un contaminante químico, evaluando cambios en la actividad de las células inmunes y la expresión de genes relacionados con la respuesta inmunitaria. Por último, (Chiarelli et al., 2021) se centra en los efectos tóxicos del vanadio en los embriones de erizo de mar exponiéndolos a diferentes concentraciones de vanadio. Se analizan, además, los mecanismos moleculares subyacentes a los efectos tóxicos del vanadio en los embriones de erizo de mar.

Aunque comparten el objetivo general de comprender los impactos de la exposición a sustancias en la salud y el desarrollo de estos organismos, cada estudio aborda diferentes aspectos y utiliza métodos distintos. Esto subraya la importancia de considerar múltiples factores, como la sensibilidad de las especies, los efectos a diferentes niveles biológicos y la influencia de factores ambientales, para evaluar adecuadamente la toxicidad en los ecosistemas acuáticos. Cabe destacar que los estudios difieren en los métodos utilizados y los *endpoints* evaluados. Cada uno emplea diferentes parámetros de toxicidad y modelos de organismos, lo que conduce a resultados específicos para cada estudio y que no pueden ser comparados.

Residuos

A partir del análisis de materiales y submateriales (Figura 22), se ha observado que, para el material catalogado como Residuo, los submateriales identificados como *Sedimentos*, *Lodos*, *Fertilizante*, *Cenizas*, *Actividad minera* y *Actividad industrial* se han encontrado en un mayor número de artículos, es por ello por lo que se va a realizar un estudio más exhaustivo de los mismos.

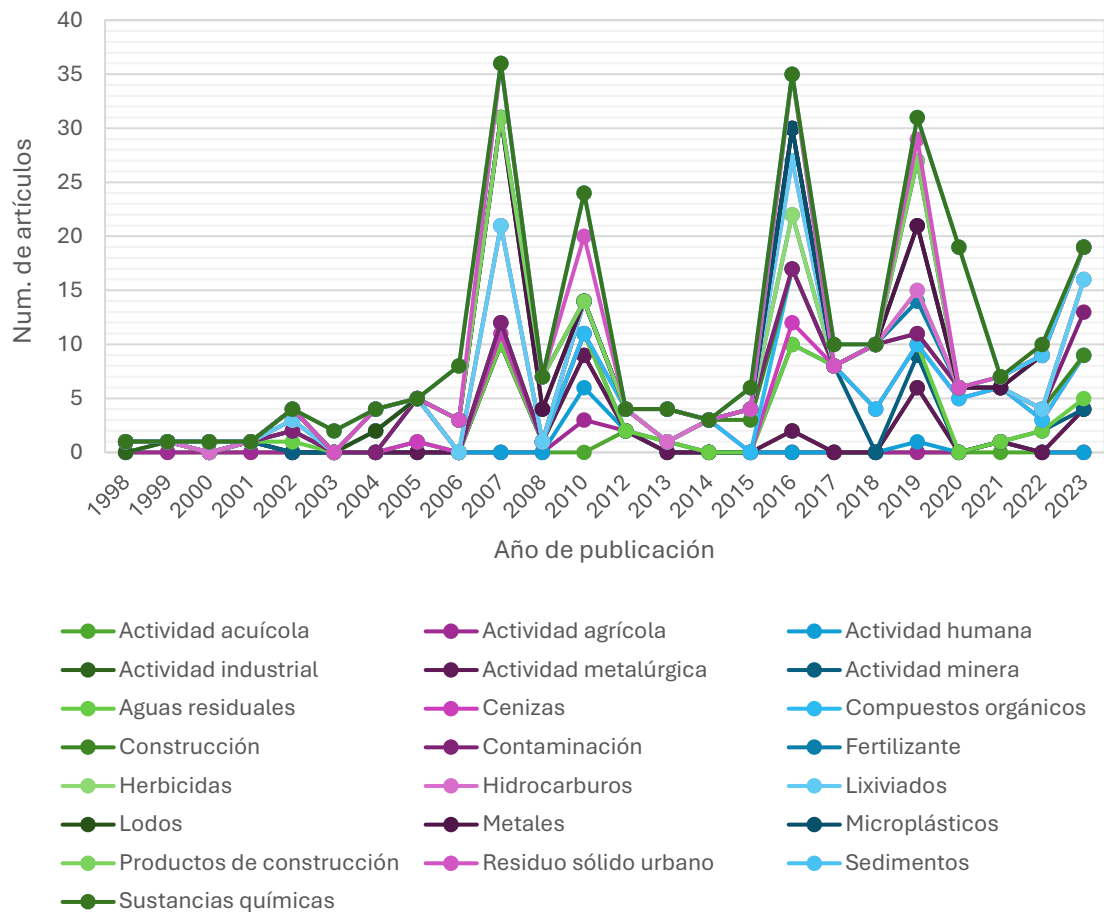


Figura 22 - Análisis temporal de la publicación de artículos para el material Residuo

Resulta ahora de interés, determinar qué microorganismos han sido los más empleados para estos submateriales (Figura 23) y Tabla 3.

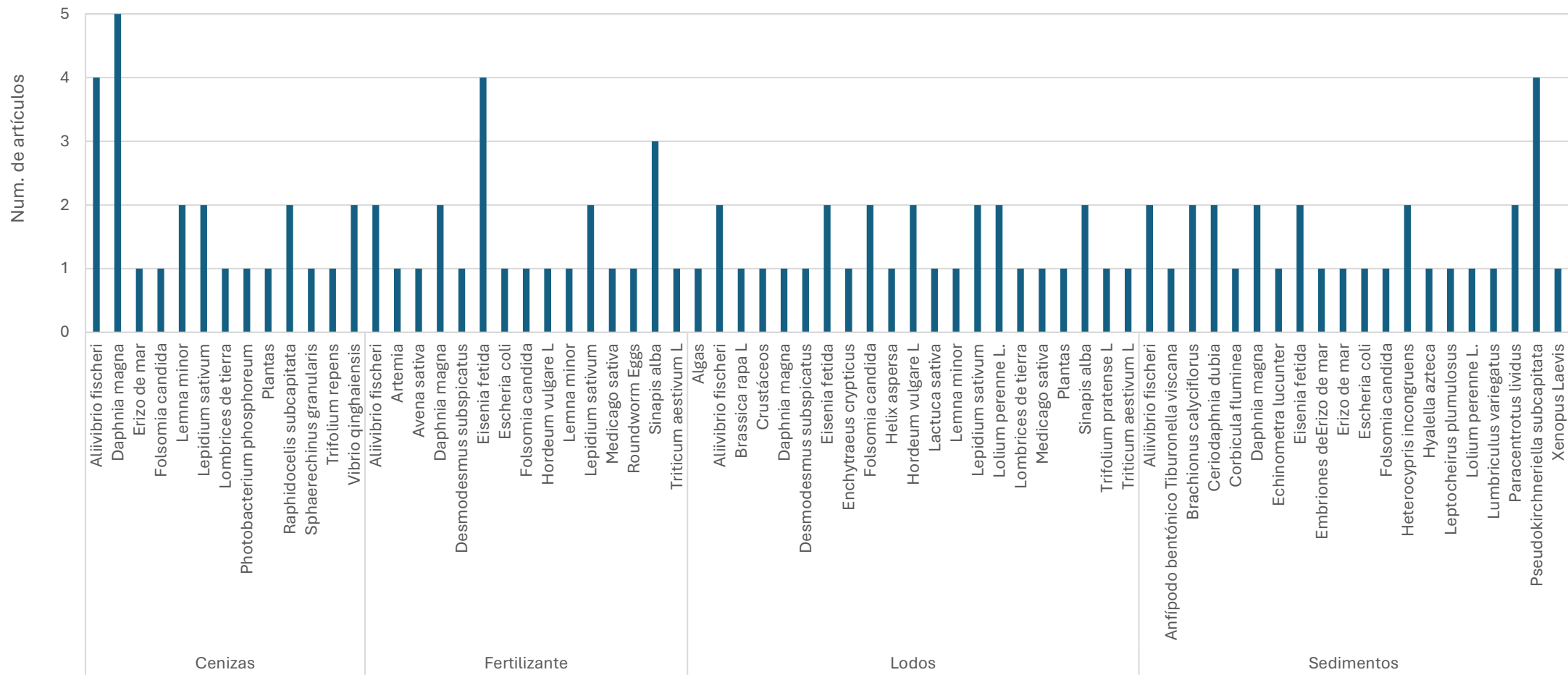


Figura 23 - Organismos utilizados en los submateriales mayoritarios para el material Residuo

Tabla 3 - Artículos para la categoría Residuo y los organismos empleados

SUBMAT.	ORGANISMO	ARTÍCULO	CITAS
Cenizas	Aliivibrio fischeri	Assessment of hazardous property HP 14 using ecotoxicological tests: a case study of weathered coal fly ash	(Bandarra et al., 2020)
		Assessment of mobility and bioavailability of contaminants in MSW incineration ash with aquatic and terrestrial bioassays	(Ribé et al., 2014)
		Environmental hazard assessment of coal fly ashes using leaching and ecotoxicity tests	(Tsiridis et al., 2012)
		Toxicity of leachate from bottom ash in a road construction	(Ore et al., 2007)
	Daphnia magna	A Study on the Classification of a Mirror Entry in the European List of Waste: Incineration Bottom Ash from Municipal Solid Waste	(Bandarra et al., 2022)
		Assessment of hazardous property HP 14 using ecotoxicological tests: a case study of weathered coal fly ash	(Bandarra et al., 2020)
		Assessment of mobility and bioavailability of contaminants in MSW incineration ash with aquatic and terrestrial bioassays	(Ribé et al., 2014)
		Environmental hazard assessment of coal fly ashes using leaching and ecotoxicity tests	(Tsiridis et al., 2012)
		Municipal Solid Waste Incineration and Sustainable Development	(Bandarra and Quina, 2021)
		Assessing the chronic toxicity of spreading organic amendments on agricultural soil: Tests on earthworms and plants	(Roques et al., 2023)
Fertilizante	Eisenia fetida	Evaluation of chemical and ecotoxicological characteristics of biodegradable organic residues for application to agricultural land	(Alvarenga et al., 2007)
		Machine learning methods for estimation the indicators of phosphogypsum influence in soil	(Pukalchik et al., 2019)
		Use of digestate from a decentralized on-farm biogas plant as fertilizer in soils: An ecotoxicological study for future indicators in risk and life cycle assessment	(Pivato et al., 2016)
	Sinapis alba	Assessing the chronic toxicity of spreading organic amendments on agricultural soil: Tests on earthworms and plants	(Roques et al., 2023)
		Evaluation of chemical and ecotoxicological characteristics of biodegradable organic residues for application to agricultural land	(Alvarenga et al., 2007)
		Machine learning methods for estimation the indicators of phosphogypsum influence in soil	(Pukalchik et al., 2019)
Sedimentos	Pseudokirchneriella subcapitata	A methodological approach for ecotoxicological characterization of non-hazardous sediments for their beneficial reuse	(Lecomte et al., 2020)
		Assessment of ecotoxicological risks related to depositing dredged materials from canals in northern France on soil	(Perrodin et al., 2006)
		Disposal of dredged sediments in tropical soils: ecotoxicological evaluation based on bioassays with springtails and enchytraeids	(Cesar et al., 2015)
		Ecotoxicological characterization of emissions from steel coatings in contact with water	(Bell et al., 2020)

Se va a realizar el análisis para tipo de submaterial.

Cenizas

Se han identificado seis artículos que evalúan las cenizas como residuos. De estos artículos, se observa que, Bandarra et al., 2022, Ribé et al., 2014 y Tsiridis et al., 2012, comparten organismos de estudio empleando en todos ellos, *Daphnia Magna* y *Aliivibrio fischeri*. De esta forma, en Bandarra et al., 2022, se aborda la clasificación de las cenizas de fondo de incineración (IBA) procedentes de residuos sólidos municipales conforme a la Lista de Residuos (LoW) de la Unión Europea. Se analizan las 15 propiedades peligrosas (HP) para determinar la categorización de las muestras de IBA como peligrosas o no. En Ribé et al., 2014 se evaluó la ecotoxicidad de las cenizas de fondo de incineración de residuos sólidos municipales (MSW) mediante análisis químicos y bioensayos acuáticos y terrestres. Se encontraron altos niveles de metales como Cu, Pb y Zn en las cenizas, y concentraciones especialmente altas de Cr en los lixiviados. Finalmente, en Tsiridis et al., 2012, se evaluó el riesgo ambiental de seis muestras de cenizas volantes de carbón, utilizando pruebas de lixiviación, análisis fisicoquímicos y ecotoxicológicos. Se encontró que algunas muestras excedían los límites de metales pesados según regulaciones europeas. *Daphnia magna* fue la más sensible a estos contaminantes. La bioluminiscencia de *Vibrio fischeri* se vio afectada por metales como Cu, Ni y Zn en dosis bajas. Además, se encontró que ciertas pruebas subestimaron la peligrosidad de las cenizas. El test de lixiviación de disponibilidad NEN 7341 proporcionó información valiosa sobre la ecotoxicidad de los residuos.

En relación con los artículos que hacen uso de *Aliivibrio fischeri*, se destaca el artículo Ore et al., 2007 en el que se estudió la toxicidad de los lixiviados del fondo de ceniza de incineración de residuos sólidos urbanos (MSWI) en una carretera experimental durante 36 meses. Se comparó con lixiviados de grava como referencia.

Por otro lado, los artículos que utilizan *Daphnia magna* en sus investigaciones son Bandarra et al., 2020, en el que los autores evaluaron los impactos ecotoxicológicos de las cenizas volantes de carbón (CFA) de un vertedero. Los resultados sugieren que las CFA envejecidas pueden considerarse no peligrosas, con un bajo efecto tóxico en el ambiente; y Bandarra and Quina, 2021, aborda el tema de la incineración de residuos sólidos urbanos (RSU) y su papel en el desarrollo sostenible. En él se explora las dimensiones económicas, sociales y ambientales de la incineración de MSW con recuperación de energía.

Fertilizante

En Alvarenga et al., 2007, evaluaron la idoneidad de diferentes residuos orgánicos biodegradables (BORs) para la aplicación en suelos agrícolas. Se realizaron pruebas de toxicidad directa e indirecta, que incluyeron bioensayos con *Lepidium sativum*, *Hordeum*

vulgare, *Eisenia fetida* y *Daphnia magna*. Se encontró que los lodos de depuradora no eran adecuados para la agricultura debido a su alto contenido de metales, especialmente zinc, que era altamente biodisponible y ecotóxico. Por otro lado, el compost de residuos de jardinería mostró ser adecuado para su uso agrícola, con mínimos efectos negativos en las pruebas de toxicidad.

En (Pivato et al., 2016) se evaluó el uso de digestato como biofertilizante en agricultura mediante una serie de pruebas ecotoxicológicas. Las pruebas incluyeron bioensayos con *Lepidium sativum*, *Eisenia fetida*, *Artemia* sp., *Daphnia magna* y *Vibrio fischeri*. Se concluyó que el digestato podría ser utilizado como biofertilizante en la agricultura, siempre y cuando se apliquen concentraciones adecuadas.

En (Roques et al., 2023), se evaluó la ecotoxicidad crónica de la aplicación de enmiendas orgánicas en suelos agrícolas. Se utilizaron bioensayos con *Medicago sativa*, *Sinapis alba* y *Eisenia fetida*. Los resultados mostraron que, aunque estos residuos orgánicos pueden mejorar la calidad del suelo y beneficiar el crecimiento de plantas y lombrices de tierra, también presentan riesgos para la reproducción de las lombrices de tierra, especialmente en el caso de los lodos de depuradora.

Sedimentos

Para *Pseudokirchneriella subcapitata*, también conocida como alga verde unicelular, se emplea en algunos de los estudios para evaluar los efectos de diferentes sustancias en la salud de los ecosistemas acuáticos. En el artículo (Ribé et al., 2014), se utiliza para evaluar la movilidad y biodisponibilidad de contaminantes en cenizas de incineración de residuos sólidos urbanos. Asimismo, en (Tsiridis et al., 2012), se emplea en la evaluación de los riesgos ambientales de las cenizas volantes de carbón. Por otro lado, en (Lecomte et al., 2020) se propone un enfoque metodológico para la caracterización y reutilización de sedimentos empleando *Pseudokirchneriella subcapitata* como parte de los ensayos para evaluar los efectos en la salud de los ecosistemas acuáticos y en (Bell et al., 2020) explora la ecotoxicidad de emisiones de recubrimientos de acero en contacto con agua utilizando el microorganismo como organismo modelo para evaluar los efectos de estas emisiones en los ecosistemas acuáticos. Finalmente, en Cesar et al., 2015 se investigó la ecotoxicidad de un sedimento dragado de la bahía de Guanabara, Río de Janeiro, Brasil, en dos tipos de suelos locales (ferralsol y chernosol) mediante pruebas de evitación y reproducción con *Folsomia candida* y *Enchytraeus crypticus*. Aunque las mezclas de chernosol tenían las concentraciones de metales totales más altas, la influencia de los minerales arcillosos expansivos y los altos contenidos de nutrientes parecen reducir la ecotoxicidad.

Se observa la presencia significativa y repetida de ciertos autores en diversos estudios. Bandarra y Quina participan en múltiples investigaciones relacionadas con la ecotoxicidad de las cenizas de incineración.

3.3.3. Análisis del tipo de ensayo

Después de comprobar la distribución de los ensayos, se ha observado que el material catalogado como **Residuo** es el más común entre los artículos, tanto en muestras de agua dulce como de agua de mar. Resulta interesante conocer qué submateriales predominan para poder realizar un análisis los artículos en profundidad.

Se ha elaborado un gráfico para representar visualmente estos resultados permitiendo una evaluación más precisa de la distribución de residuos en los ecosistemas acuáticos. (Figura 24).

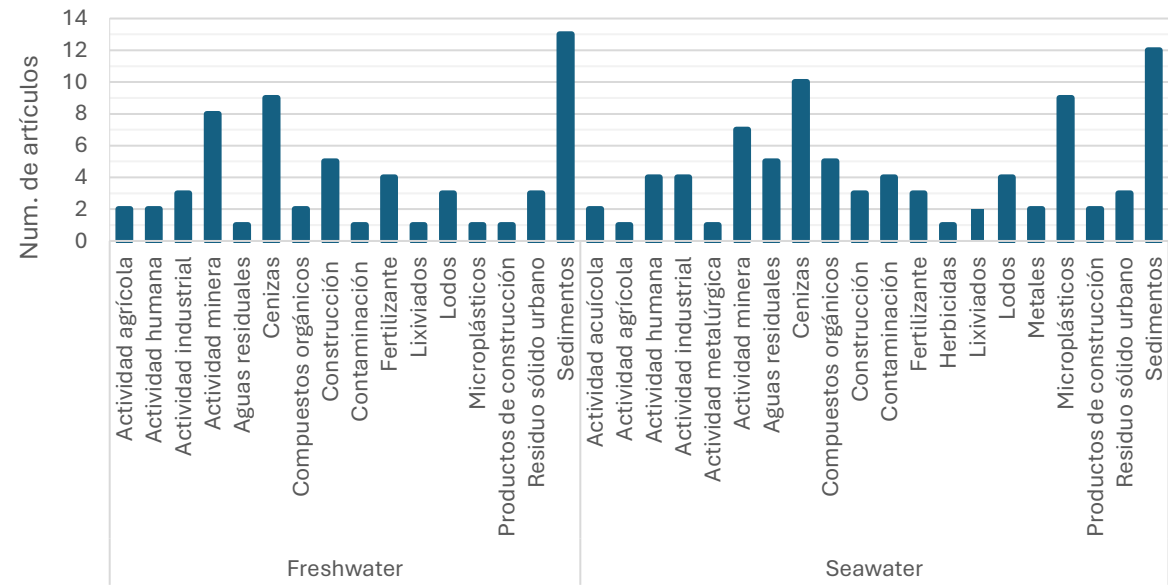


Figura 24 - Submateriales más comunes en el material Residuo

Se ha realizado una selección de aquellos submateriales que abarcan ocho o más artículos para un análisis más detallado. Se observa que, para el caso de agua dulce, se ha identificado que los submateriales mayoritarios son la *actividad minera*, las *cenizas* y los *sedimentos*, mientras que para el agua de mar son las *cenizas*, los *microplásticos* y los *sedimentos*.

Resulta ahora de interés conocer qué microorganismos están asociados a estos submateriales aportando así una visión más completa sobre los ensayos y su relación con la presencia de residuos en el agua dulce y salada (Figura 25)

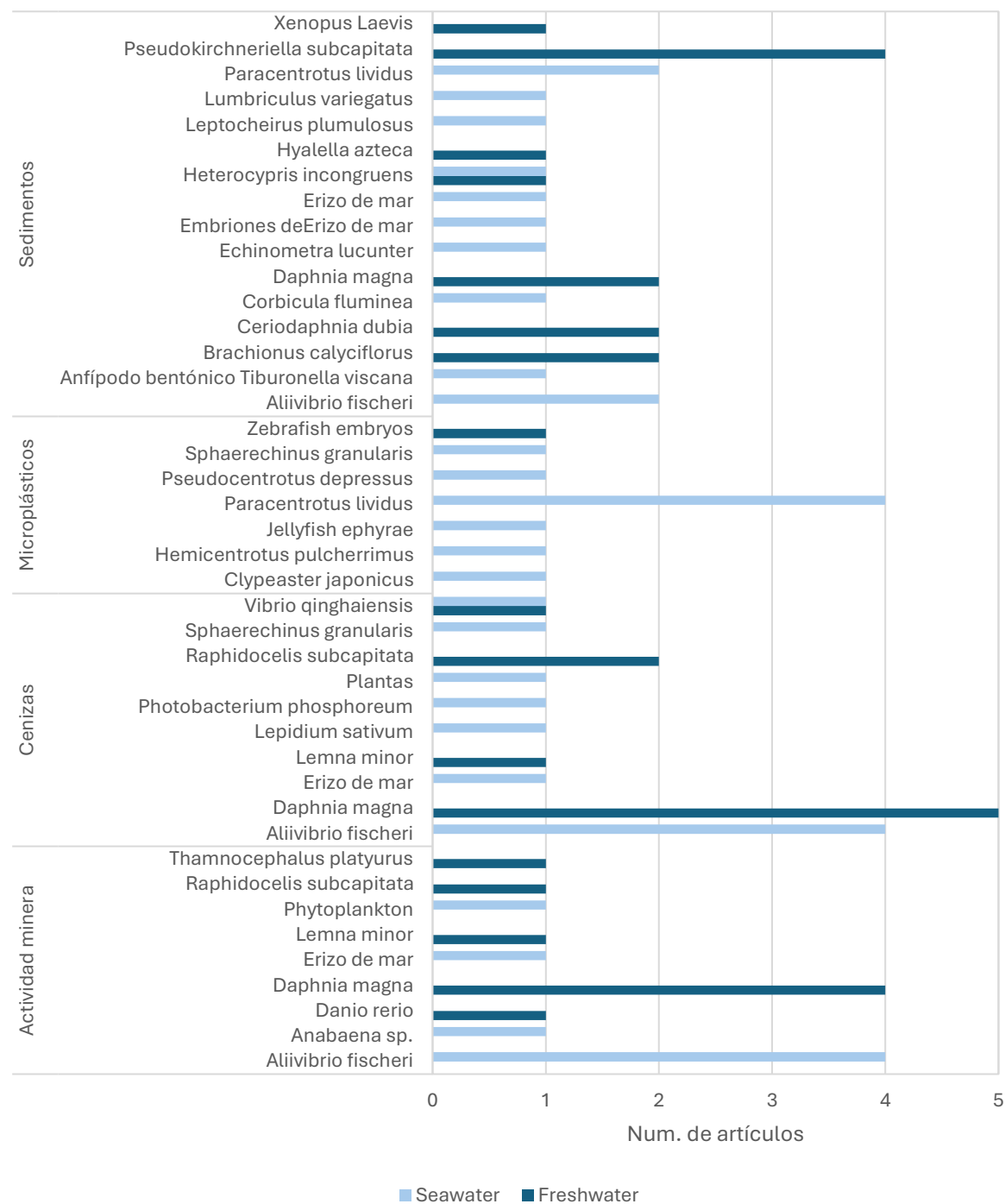


Figura 25 - Distribución de organismos para los submateriales comunes con cada tipo de agua

Estos datos se han recopilado en una tabla (tabla 4) para facilitar su análisis. Se han seleccionado los organismos Daphnia magna, Aliivibrio fischeri Pseudokirchneriella

subcapitata y *Paracentrotus lividus* para su inclusión en la tabla, ya que son los más empleados en los ensayos.

Tabla 4 - Artículos seleccionados

SUBMAT.	ORGAN.	ARTÍCULO	CITA
Actividad minera	Daphnia magna	Ecotoxicological risks of the abandoned F–Ba–Pb–Zn mining area of Osor (Spain)	(Bori et al., 2017)
		Geochemistry and environmental threats of soils surrounding an abandoned mercury mine	(Bori et al., 2016)
		Soil and Freshwater Bioassays to Assess Ecotoxicological Impact on Soils Affected by Mining Activities in the Iberian Pyrite Belt	(Andreu-Sánchez et al., 2022)
		Toxicity of tailing leachates from a niobium mine toward three aquatic organisms	(Paquet et al., 2019)
	Aliivibrio fischeri	Bioassays prove the suitability of mining debris mixed with sewage sludge for land reclamation purposes	(Domene et al., 2010)
		Ecotoxicological risks of the abandoned F–Ba–Pb–Zn mining area of Osor (Spain)	(Bori et al., 2017)
Cenizas	Daphnia magna	Geochemistry and environmental threats of soils surrounding an abandoned mercury mine	(Bori et al., 2016a)
		Synergic use of chemical and ecotoxicological tools for evaluating multi-contaminated soils amended with iron oxides-rich materials	(Manzano et al., 2017)
		A Study on the Classification of a Mirror Entry in the European List of Waste: Incineration Bottom Ash from Municipal Solid Waste	(Bandarra et al., 2022)
		Assessment of hazardous property HP 14 using ecotoxicological tests: a case study of weathered coal fly ash	(Bandarra et al., 2020)
	Aliivibrio fischeri	Assessment of mobility and bioavailability of contaminants in MSW incineration ash with aquatic and terrestrial bioassays	(Ribé et al., 2014)
		Environmental hazard assessment of coal fly ashes using leaching and ecotoxicity tests	(Tsiridis et al., 2012)
		Municipal Solid Waste Incineration and Sustainable Development	(Bandarra and Quina, 2021)
		Assessment of hazardous property HP 14 using ecotoxicological tests: a case study of weathered coal fly ash	(Bandarra et al., 2020)
Microplásticos	Paracentrotus lividus	Assessment of mobility and bioavailability of contaminants in MSW incineration ash with aquatic and terrestrial bioassays	(Ribé et al., 2014)
		Environmental hazard assessment of coal fly ashes using leaching and ecotoxicity tests	(Tsiridis et al., 2012)
		Toxicity of leachate from bottom ash in a road construction	(Ore et al., 2007)
		Chemicals sorbed to environmental microplastics are toxic to early life stages of aquatic organisms	(Cormier et al., 2021)
Sedimentos	Pseudokirchneriella subcapitata	Developmental toxicity of plastic leachates on the sea urchin Paracentrotus lividus	(Rendell-Bhatti et al., 2021)
		Leachates of micronized plastic toys provoke embryotoxic effects upon sea urchin Paracentrotus lividus	(Oliviero et al., 2019)
		Proteomic profile of the hard corona of charged polystyrene nanoparticles exposed to sea urchin: Paracentrotus lividus coelomic fluid highlights potential drivers of toxicity	(Grassi et al., 2019)
		A methodological approach for ecotoxicological characterization of non-hazardous sediments for their beneficial reuse	(Lecomte et al., 2020)
		Assessment of ecotoxicological risks related to depositing dredged materials from canals in northern France on soil	(Perrodin et al., 2006)
		Disposal of dredged sediments in tropical soils: ecotoxicological evaluation based on bioassays with springtails and enchytraeids	(Cesar et al., 2015)
		Ecotoxicological characterization of emissions from steel coatings in contact with water	(Bell et al., 2020)

En el ámbito de la actividad minera, (Bori et al., 2017) evalúa los riesgos en un área minera abandonada en Osor, España, mientras que (Bori et al., 2016a) examina las amenazas ambientales en suelos cerca de una mina de mercurio abandonada en Almería, España. (Andreu-Sánchez et al., 2022) se centra en la evaluación de suelos afectados por actividades mineras en Portugal, y (Paquet et al., 2019) investiga la toxicidad de los lixiviados de colas de una mina de niobio en Canadá.

En cuanto a las cenizas, (Bandarra et al., 2022) aborda la clasificación de cenizas de fondo de incineración de residuos sólidos municipales en la Lista Europea de Residuos. (Bandarra et al., 2020) y (Ribé et al., 2014) evalúan propiedades peligrosas y movilidad de contaminantes en cenizas de incineración de residuos sólidos urbanos. (Tsiridis et al., 2012) analiza los riesgos ambientales de las cenizas volantes de carbón. Finalmente, (Ore et al., 2007) estudió la toxicidad de los lixiviados del fondo de ceniza de incineración de residuos sólidos urbanos (MSWI), como ya se ha comentado anteriormente.

Para los microplásticos, se comprueba que todos los artículos examinados emplean *Paracentrotus lívidus*. En (Oliviero et al., 2019), se evalúa la toxicidad de productos de PVC micronizados de diferentes colores en embriones de erizo de mar. En (Cormier et al., 2021) se investiga la ecotoxicidad de microplásticos recolectados en dos islas del archipiélago de Guadalupe. Estas muestras están compuestas principalmente por polietileno (PE) y polipropileno (PP). Por otro lado, en (Rendell-Bhatti et al., 2021) se analizan los efectos de los lixiviados de tres tipos de pellets plásticos en embriones de erizo de mar, revelando la presencia de compuestos tóxicos en los lixiviados de pellets varados y altamente plastificados, lo cual provoca anomalías de desarrollo. Finalmente, en (Grassi et al., 2019) se investiga la interacción entre las nanopartículas de poliestireno y el fluido celómico de los erizos de mar, lo que resulta en la formación de una capa de proteínas conocida como "corona de proteínas". Cabe destacar que, mientras que (Grassi et al., 2019) se centra en nanopartículas de poliestireno y la formación de coronas de proteínas, los otros tres artículos tratan sobre microplásticos más grandes.

En el ámbito de los sedimentos, (Lecomte et al., 2020) propone un enfoque metodológico para la caracterización ecotoxicológica de sedimentos no peligrosos, mientras que (Bell et al., 2020) explora la ecotoxicidad de emisiones de recubrimientos de acero en contacto con agua. Estos estudios comparten un enfoque común en la evaluación de la ecotoxicidad utilizando bioensayos con *Daphnia magna* y otros organismos acuáticos para comprender los impactos de las actividades humanas en el medio ambiente. Para *Pseudokirchneriella subcapitata*, destaca que los artículos

seleccionados se corresponden con los obtenidos para el material *Residuo* y el submaterial *Sedimentos*.

Se observa que varios artículos, como (Bell et al., 2020) y (Bori et al., 2016a), abordan la contaminación relacionada con actividades mineras en diferentes regiones de España. Específicamente en Osor (Girona, NE Spain) y Valle del Azogue (Almeria, Spain), respectivamente. Mientras que el estudio (Paquet et al., 2019) evalúa la ecotoxicidad de lixiviados de relaves originados en una mina de niobio ubicada en Canadá. Además, hay estudios que no se enfocan específicamente en una región geográfica particular.

Aunque los autores varían entre los estudios, algunos investigadores, como Bori y Bandarra, contribuyen a varios artículos. Bori se centra en la evaluación de riesgos ecotoxicológicos en áreas mineras abandonadas, mientras que Bandarra aborda cuestiones relacionadas con la toxicidad de las cenizas generadas por la incineración de residuos sólidos municipales.

4. CONCLUSIONES

El análisis bibliográfico realizado ofrece una visión clara de las principales tendencias, diferencias y áreas de interés en el estudio de la ecotoxicidad y la valoración de materiales en sectores como la construcción, los materiales sintéticos y los residuos.

- El análisis bibliográfico muestra un aumento significativo en las publicaciones sobre ecotoxicidad en los últimos años, reflejando un creciente interés por la sostenibilidad y la necesidad de desarrollar metodologías estandarizadas para evaluar los impactos ambientales de residuos y materiales de construcción.
- Los residuos, especialmente las cenizas de incineración de residuos sólidos urbanos, y los materiales de construcción como morteros y hormigones, son los más estudiados debido a su potencial liberación de compuestos tóxicos. Los estudios sugieren que una combinación de análisis químicos y bioensayos es esencial para comprender mejor sus efectos y desarrollar estrategias más eficaces para mitigar su impacto, lo cual subraya la necesidad de más investigaciones sobre las condiciones operativas y sus efectos.
- Los ensayos acuáticos predominan sobre los terrestres, con una mayor cantidad de estudios dedicados a agua de mar en comparación con agua dulce. Esto refleja la importancia de los ecosistemas acuáticos en la evaluación de la toxicidad de materiales y residuos.

- Organismos como *Aliivibrio fischeri*, *Daphnia magna*, *Paracentrotus lividus* y *Pseudokirchneriella subcapitata* son los más utilizados en los ensayos de ecotoxicidad debido a su sencillez y a la alta sensibilidad a los contaminantes. Estos organismos proporcionan datos clave para evaluar la toxicidad de diferentes materiales y residuos.

Se han identificado áreas específicas, como Osor y Almería, donde los residuos mineros tienen un impacto significativo. En comparación, los microplásticos y las cenizas afectan a ecosistemas a nivel global. Esto pone de manifiesto la importancia de combinar esfuerzos locales e internacionales, fomentando la colaboración entre disciplinas y el intercambio de conocimientos para abordar estos problemas de manera más efectiva.

5. REFERENCIAS

- Abbas, M., Adil, M., Ehtisham-ul-Haque, S., Munir, B., Yameen, M., Ghaffar, A., Shar, G.A., Asif Tahir, M., Iqbal, M., 2018. *Vibrio fischeri* bioluminescence inhibition assay for ecotoxicity assessment: A review. *Science of the Total Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.066>
- Accardo, S., Schiavo, S., Parrella, L., Montereali, M.R., Lama, G., Verdolotti, L., Manzo, S., 2023. Do new cement-based mortars pose a significant threat to the aquatic environment? *Chemosphere* 332. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138818>
- Alvarenga, P., Mourinha, C., Farto, M., Palma, P., Sengo, J., Morais, M.-C., Cunha-Queda, C., 2016. Ecotoxicological assessment of the potential impact on soil porewater, surface and groundwater from the use of organic wastes as soil amendments. *Ecotoxicol Environ Saf* 126, 102–110. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.12.019>
- Alvarenga, P., Palma, P., Gonçalves, A.P., Fernandes, R.M., Cunha-Queda, A.C., Duarte, E., Vallini, G., 2007. Evaluation of chemical and ecotoxicological characteristics of biodegradable organic residues for application to agricultural land. *Environ Int* 33, 505–513. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2006.11.006>
- Andreu-Sánchez, Ó., García-Lorenzo, M.L., Esbrí, J.M., Sánchez-Donoso, R., Iglesias-Martínez, M., Arroyo, X., Crespo-Feo, E., Ruiz-Costa, N., Roca-Pérez, L., Castiñeiras, P., 2022. Soil and Freshwater Bioassays to Assess Ecotoxicological Impact on Soils Affected by Mining Activities in the Iberian Pyrite Belt. *Toxics* 10. <https://doi.org/10.3390/toxics10070353>
- Araújo, C.V.M., Nascimento, R.B., Oliveira, C.A., Strotmann, U.J., Da Silva, E.M., 2005. The use of Microtox® to assess toxicity removal of industrial effluents from the industrial district of Camaçari (BA, Brazil). *Chemosphere* 58, 1277–1281. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2004.10.036>
- Baderna, D., Lomazzi, E., Passoni, A., Pogliaghi, A., Petoumenou, M.I., Bagnati, R., Lodi, M., Viarengo, A., Sforzini, S., Benfenati, E., Benfenati, E., Fanelli, R., 2015. Chemical characterization and ecotoxicity of three soil foaming agents used in mechanized tunneling. *J Hazard Mater* 296, 210–220. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2015.04.040>
- Bandarra, B.S., Gomes, L.A., Pereira, J.L., Gonçalves, F.J.M., Martins, R.C., Quina, M.J., 2020. Assessment of hazardous property HP 14 using ecotoxicological tests: a case study of weathered coal fly ash. *Environmental Science and Pollution Research* 27, 20972–20983. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08515-8>
- Bandarra, B.S., Gomes, L.A., Pereira, J.L., Gonçalves, F.J.M., Martins, R.C., Quina, M.J., 2019. Characterization of Ecotoxicological Effects of Green Liquor Dregs from the Pulp and Paper Industry. *ACS Sustain Chem Eng* 7, 14707–14715. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.9b02636>
- Bandarra, B.S., Mesquita, C., Passos, H., Martins, R.C., Coelho, P.A.L.F., Pereira, J.L., Quina, M.J., 2023. An integrated characterisation of incineration bottom ashes towards sustainable application: Physicochemical, ecotoxicological, and mechanical properties. *J Hazard Mater* 455. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.131649>

- Bandarra, B.S., Quina, M.J., 2021. Municipal solid waste incineration and sustainable development, *Advances in Sustainable Energy: Policy, Materials and Devices*. https://doi.org/10.1007/978-3-030-74406-9_23
- Bandarra, B.S., Silva, S., Pereira, J.L., Martins, R.C., Quina, M.J., 2022. A Study on the Classification of a Mirror Entry in the European List of Waste: Incineration Bottom Ash from Municipal Solid Waste. *Sustainability* (Switzerland) 14. <https://doi.org/10.3390/su141610352>
- Bandow, N., Gartiser, S., Ilvonen, O., Schoknecht, U., 2018. Evaluation of the impact of construction products on the environment by leaching of possibly hazardous substances. *Environ Sci Eur* 30. <https://doi.org/10.1186/s12302-018-0144-2>
- Bastian, K.C., Alleman, J.E., 1998. Microtox(TM) characterization of foundry sand residuals. *Waste Management* 18, 227–234. [https://doi.org/10.1016/S0956-053X\(98\)00030-0](https://doi.org/10.1016/S0956-053X(98)00030-0)
- Bell, A.M., Baier, R., Kocher, B., Reifferscheid, G., Buchinger, S., Ternes, T., 2020. Ecotoxicological characterization of emissions from steel coatings in contact with water. *Water Res* 173. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115525>
- Bellas, J., Beiras, R., Mariño-Balsa, J.C., Fernández, N., 2005. Toxicity of organic compounds to marine invertebrate embryos and larvae: A comparison between the sea urchin embryogenesis bioassay and alternative test species. *Ecotoxicology* 14, 337–353. <https://doi.org/10.1007/s10646-004-6370-y>
- Bernegossi, A.C., Freitas, B.L.S., Castro, G.B., Marques, J.P., Trindade, L.F., de Lima e Silva, M.R., Felipe, M.C., Ogura, A.P., 2022. A systematic review of the water treatment sludge toxicity to terrestrial and aquatic biota: state of the art and management challenges. *J Environ Sci Health A Tox Hazard Subst Environ Eng* 57, 282–297. <https://doi.org/10.1080/10934529.2022.2060021>
- Bielmyer, G.K., Brix, K. V., Capo, T.R., Grosell, M., 2005. The effects of metals on embryo-larval and adult life stages of the sea urchin, *Diadema antillarum*. *Aquatic Toxicology* 74, 254–263. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2005.05.016>
- Blewett, T.A., Smith, D.S., Wood, C.M., Glover, C.N., 2016. Mechanisms of Nickel Toxicity in the Highly Sensitive Embryos of the Sea Urchin *Evechinus chloroticus*, and the Modifying Effects of Natural Organic Matter. *Environ Sci Technol* 50, 1595–1603. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b05626>
- Bonaventura, R., Zito, F., Chiaramonte, M., Costa, C., Russo, R., 2018. Nickel toxicity in *P. lividus* embryos: Dose dependent effects and gene expression analysis. *Mar Environ Res* 139, 113–121. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2018.05.002>
- Bori, J., Vallès, B., Navarro, A., Riva, M.C., 2017. Ecotoxicological risks of the abandoned F–Ba–Pb–Zn mining area of Osor (Spain). *Environ Geochem Health* 39, 665–679. <https://doi.org/10.1007/s10653-016-9840-2>
- Bori, J., Vallès, B., Navarro, A., Riva, M.C., 2016a. Geochemistry and environmental threats of soils surrounding an abandoned mercury mine. *Environmental Science and Pollution Research* 23, 12941–12953. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-6463-1>

- Bori, J., Vallès, B., Ortega, L., Riva, M.C., 2016b. Bioassays with terrestrial and aquatic species as monitoring tools of hydrocarbon degradation. *Environmental Science and Pollution Research* 23, 18694–18703. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7097-z>
- Brás, I., Silva, P.C., Almeida, R.M.S.F., Silva, M.E., 2020. Recycling Wastes in Concrete Production: Performance and Eco-toxicity Assessment. *Waste Biomass Valorization* 11, 1169–1180. <https://doi.org/10.1007/s12649-018-0382-y>
- Carballeira, C., Ramos-Gómez, J., Martín-Díaz, L., DelValls, T.A., 2012. Identification of specific malformations of sea urchin larvae for toxicity assessment: Application to marine pisciculture effluents. *Mar Environ Res* 77, 12–22. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2012.01.001>
- Černecká, J., Škrobánková, H., Raclavská, H., Heliová, K., Bendová, M., 2017. Ecotoxicity of pyrolytic carbon produced by pyrolysis of municipal and industrial Waste. *Inzynieria Mineralna* 2017, 119–124.
- Cesar, R., Natal-da-Luz, T., Bidone, E., Castilhos, Z., Polivanov, H., Sousa, J.P., 2015. Disposal of dredged sediments in tropical soils: ecotoxicological evaluation based on bioassays with springtails and enchytraeids. *Environmental Science and Pollution Research* 22, 2916–2924. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3559-3>
- Chakraborty, P., Raghunadh Babu, P. V., Acharyya, T., Bandyopadhyay, D., 2010. Stress and toxicity of biologically important transition metals (Co, Ni, Cu and Zn) on phytoplankton in a tropical freshwater system: An investigation with pigment analysis by HPLC. *Chemosphere* 80, 548–553. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2010.04.039>
- Chiarelli, R., Martino, C., Roccheri, M.C., Cancemi, P., 2021. Toxic effects induced by vanadium on sea urchin embryos. *Chemosphere* 274. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.129843>
- Cormier, B., Gambardella, C., Tato, T., Perdriat, Q., Costa, E., Veclin, C., Le Bihanic, F., Grassl, B., Dubocq, F., Kärman, A., Van Arkel, K., Lemoine, S., Lagarde, F., Morin, B., Garaventa, F., Faimali, M., Cousin, X., Bégout, M.L., Beiras, R., Cachot, J., 2021. Chemicals sorbed to environmental microplastics are toxic to early life stages of aquatic organisms. *Ecotoxicol Environ Saf* 208. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111665>
- Coya, B., Marañón, E., Sastre, H., 2000. Ecotoxicity assessment of slag generated in the process of recycling lead from waste batteries. *Resour Conserv Recycl* 29, 291–300. [https://doi.org/10.1016/S0921-3449\(00\)00054-9](https://doi.org/10.1016/S0921-3449(00)00054-9)
- Crouau, Y., Gisclard, C., Perotti, P., 2002. The use of *Folsomia candida* (Collembola, Isotomidae) in bioassays of waste. *Applied Soil Ecology* 19, 65–70. [https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(01\)00175-5](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(01)00175-5)
- Crouau, Y., Pinelli, E., 2008. Comparative ecotoxicity of three polluted industrial soils for the *Collembola Folsomia candida*. *Ecotoxicol Environ Saf* 71, 643–649. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2008.01.017>
- De Vaufleury, A., Coeurdassier, M., Pandard, P., Scheifler, R., Lovy, C., Crini, N., Badot, P.-M., 2006. How terrestrial snails can be used in risk assessment of soils. *Environ Toxicol Chem* 25, 797–806. <https://doi.org/10.1897/04-560R.1>

- Dermeche, S., Chahrour, F., Boutiba, Z., 2012. Evaluation of the toxicity of metal pollutants on embryonic development of the sea urchin *Paracentrotus lividus* (Lamarck, 1816) (Echinodermata Echinoidea), *Biodiversity Journal*.
- Domene, Xavier, Alcañiz, J.M., Andrés, P., 2007. Ecotoxicological assessment of organic wastes using the soil collembolan *Folsomia candida*. *Applied Soil Ecology* 35, 461–472. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2006.10.004>
- Domene, X., Mattana, S., Ramírez, W., Colón, J., Jiménez, P., Balanyà, T., Alcañiz, J.M., Bonmatí, M., 2010. Bioassays prove the suitability of mining debris mixed with sewage sludge for land reclamation purposes. *J Soils Sediments* 10, 30–44. <https://doi.org/10.1007/s11368-009-0073-1>
- Domene, X., Natal-Da-Luz, T., Alcañiz, J.M., Andrés, P., Sousa, J.P., 2007. Feeding inhibition in the soil collembolan *Folsomia candida* as an endpoint for the estimation of organic waste ecotoxicity. *Environ Toxicol Chem* 26, 1538–1544. <https://doi.org/10.1897/06-623R.1>
- Eom, I.C., Rast, C., Veber, A.M., Vasseur, P., 2007. Ecotoxicity of a polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH)-contaminated soil. *Ecotoxicol Environ Saf* 67, 190–205. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2006.12.020>
- Fernández, N., Beiras, R., 2001. Combined toxicity of dissolved mercury with copper, lead and cadmium on embryogenesis and early larval growth of the *Paracentrotus lividus* sea-urchin. *Ecotoxicology* 10, 263–271. <https://doi.org/10.1023/A:1016703116830>
- Ferraz, M.A., Alves, A.V., de Cássia Muniz, C., Pusceddu, F.H., Gusso-Choueri, P.K., Santos, A.R., Choueri, R.B., 2017. Sediment toxicity identification evaluation (TIE phases I and II) based on microscale bioassays for diagnosing causes of toxicity in coastal areas affected by domestic sewage. *Environ Toxicol Chem* 36, 1820–1832. <https://doi.org/10.1002/etc.3824>
- Fialová, J., Hybská, H., Samešová, D., Lobotková, M., Veverková, D., 2019. Assessment of the impact of municipal solid waste incineration bottom ash used as partial cement replacement in cement mixture using bioassays. *Archives of Environmental Protection* 45, 104–113. <https://doi.org/10.24425/aep.2019.130246>
- Fischer, J., Evlanova, A., Philippe, A., Filser, J., 2021. Soil properties can evoke toxicity of copper oxide nanoparticles towards springtails at low concentrations. *Environmental Pollution* 270. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.116084>
- Foucault, Y., Durand, M.-J., Tack, K., Schreck, E., Geret, F., Leveque, T., Pradere, P., Goix, S., Dumat, C., 2013. Use of ecotoxicity test and ecoscores to improve the management of polluted soils: Case of a secondary lead smelter plant. *J Hazard Mater* 246–247, 291–299. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2012.12.042>
- Fuentes, A., Lloréns, M., Sáez, J., Aguilar, M.I., Pérez-Marín, A.B., Ortuño, J.F., Meseguer, V.F., 2006. Ecotoxicity, phytotoxicity and extractability of heavy metals from different stabilised sewage sludges. *Environmental Pollution* 143, 355–360. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2005.11.035>
- Fulladosa, E., Murat, J.C., Martínez, M., Villaescusa, I., 2005. Patterns of metals and arsenic poisoning in *Vibrio fischeri* bacteria. *Chemosphere* 60, 43–48. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2004.12.026>

- Gambardella, C., Morgana, S., Bari, G. Di, Ramoino, P., Bramini, M., Diaspro, A., Falugi, C., Faimali, M., 2015. Multidisciplinary screening of toxicity induced by silica nanoparticles during sea urchin development. *Chemosphere* 139, 486–495. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.07.072>
- Garbo, F., Pivato, A., Manachini, B., Moretto, C.G., Lavagnolo, M.C., 2019. Assessment of the ecotoxicity of phytotreatment substrate soil as landfill cover material for in-situ leachate management. *J Environ Manage* 231, 289–296. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.10.014>
- Gartiser, S., Heisterkamp, I., Schoknecht, U., Bandow, N., Burkhardt, N.M., Ratte, M., Ilvonen, O., 2017. Recommendation for a test battery for the ecotoxicological evaluation of the environmental safety of construction products. *Chemosphere* 171, 580–587. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.12.115>
- Gartiser, Stefan, Heisterkamp, I., Schoknecht, U., Burkhardt, M., Ratte, M., Ilvonen, O., Brauer, F., Brückmann, J., Dabrunz, A., Egeler, P., Eisl, A.M., Feiler, U., Fritz, I., König, S., Lebertz, H., Pandard, P., Pötschke, G., Scheerbaum, D., Schreiber, F., Soldán, P., Weiß, R., Weltens, R., 2017. Results from a round robin test for the ecotoxicological evaluation of construction products using two leaching tests and an aquatic test battery. *Chemosphere* 175, 138–146. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.01.146>
- Grassi, G., Landi, C., Della Torre, C., Bergami, E., Bini, L., Corsi, I., 2019. Proteomic profile of the hard corona of charged polystyrene nanoparticles exposed to sea urchin: *Paracentrotus lividus* coelomic fluid highlights potential drivers of toxicity. *Environ Sci Nano* 6, 2937–2947. <https://doi.org/10.1039/c9en00824a>
- Heisterkamp, I., Gartiser, S., Kalbe, U., Bandow, N., Gloßmann, A., 2019. Assessment of leachates from reactive fire-retardant coatings by chemical analysis and ecotoxicity testing. *Chemosphere* 226, 85–93. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.03.044>
- Heisterkamp, I., Gartiser, S., Schoknecht, U., Happel, O., Kalbe, U., Kretzschmar, M., Ilvonen, O., 2023. Investigating the ecotoxicity of construction product eluates as multicomponent mixtures. *Environ Sci Eur* 35. <https://doi.org/10.1186/s12302-023-00711-w>
- Heisterkamp, I., Ratte, M., Schoknecht, U., Gartiser, S., Kalbe, U., Ilvonen, O., 2021. Ecotoxicological evaluation of construction products: inter-laboratory test with DSLT and percolation test eluates in an aquatic biotest battery. *Environ Sci Eur* 33. <https://doi.org/10.1186/s12302-021-00514-x>
- Hsieh, C.Y., Tsai, M.H., Ryan, D.K., Pancorbo, O.C., 2004. Toxicity of the 13 priority pollutant metals to *Vibrio fisheri* in the Microtox® chronic toxicity test. *Science of the Total Environment* 320, 37–50. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(03\)00451-0](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(03)00451-0)
- Jubileus, M.T., Theron, P.D., Van Rensburg, L., Maboeta, M.S., 2013. Utilizing *Eisenia andrei* to assess the ecotoxicity of platinum mine tailings disposal facilities. *Ecotoxicology* 22, 331–338. <https://doi.org/10.1007/s10646-012-1029-6>
- Kobayashi, N., Okamura, H., 2004. Effects of heavy metals on sea urchin embryo development. 1. Tracing the cause by the effects. *Chemosphere* 55, 1403–1412. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2003.11.052>

- Kobetičová, K., Hofman, J., Holoubek, I., 2010. Ecotoxicity of wastes in avoidance tests with *Enchytraeus albidus*, *Enchytraeus crypticus* and *Eisenia fetida* (Oligochaeta). *Waste Management* 30, 558–564. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.11.024>
- Kočí, V., Mocová, K., Kulovaná, M., Vosáhlová, S., 2010. Phytotoxicity tests of solid wastes and contaminated soils in the Czech Republic. *Environmental Science and Pollution Research* 17, 611–623. <https://doi.org/10.1007/s11356-009-0214-5>
- Lavado, G.J., Baderna, D., Carnesecchi, E., Toropova, A.P., Toropov, A.A., Dorne, J.L.C.M., Benfenati, E., 2022. QSAR models for soil ecotoxicity: Development and validation of models to predict reproductive toxicity of organic chemicals in the collembola *Folsomia candida*. *J Hazard Mater* 423. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127236>
- Lavtizar, V., Okamura, H., 2019. Early developmental responses of three sea urchin species to tralopyril and its two degradation products. *Chemosphere* 229, 256–261. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.04.202>
- Lecomte, T., Mamindy-Pajany, Y., Lors, C., Lemay, M., Abriak, N.-E., Bazin, C., Vernus, E., 2020. A methodological approach for ecotoxicological characterization of non-hazardous sediments for their beneficial reuse. *J Soils Sediments* 20, 2608–2618. <https://doi.org/10.1007/s11368-019-02543-9>
- Manzano, R., Jiménez-Peñalver, P., Esteban, E., 2017. Synergic use of chemical and ecotoxicological tools for evaluating multi-contaminated soils amended with iron oxides-rich materials. *Ecotoxicol Environ Saf* 141, 251–258. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.03.031>
- Mariaková, D., Mocová, K.A., Fořtová, K., Ryparová, P., Pešta, J., Pavlů, T., 2021. Ecotoxicity and essential properties of fine-recycled aggregate. *Materials* 14, 1–16. <https://doi.org/10.3390/ma14020463>
- Mariani, L., Grenni, P., Barra Caracciolo, A., Donati, E., Rauseo, J., Rolando, L., Patrolecco, L., 2020. Toxic response of the bacterium *Vibrio fischeri* to sodium lauryl ether sulphate residues in excavated soils. *Ecotoxicology* 29, 815–824. <https://doi.org/10.1007/s10646-020-02202-7>
- Mariani, L., Grenni, P., Barra Caracciolo, A., Pescatore, T., Spataro, F., Rauseo, J., Narciso, A., Rolando, L., Patrolecco, L., 2022. Use of the *Heterocypris incongruens* bioassay for assessing ecotoxicity of soils containing the anionic surfactant sodium lauryl ether sulphate (SLES). *Ecol Indic* 145. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109597>
- Martino, C., Chianese, T., Chiarelli, R., Roccheri, M.C., Scudiero, R., 2022. Toxicological Impact of Rare Earth Elements (REEs) on the Reproduction and Development of Aquatic Organisms Using Sea Urchins as Biological Models. *Int J Mol Sci* 23. <https://doi.org/10.3390/ijms23052876>
- Mastroberardino, A., Casaburi, F., Canino, R., Iannone, M., Procopio, S., 2023. Toxicity evaluation of the contaminated area of Crotone from biological indicators: a multispecies approach. *Environ Monit Assess* 195. <https://doi.org/10.1007/s10661-023-11056-5>
- Mishunina, A.S., Klimova, A.A., 2019. Evaluation of Drilling Cutting Components and Their Impact on the Environment Using Bioassay (Siberia, Russia), in: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/272/3/032049>

- Mocová, K.A., Sackey, L.N.A., Renkerová, P., 2019. Environmental Impact of Concrete and Concrete-Based Construction Waste Leachates, in: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/290/1/012023>
- Morroni, L., Giuliani, S., Pellegrini, D., Sartori, D., 2018. In situ embryo toxicity test with sea urchin: Development of exposure chamber for test execution. *Chemosphere* 196, 354–360. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.12.174>
- Motta, C.M., Cerciello, R., De Bonis, S., Mazzella, V., Cirino, P., Panzuto, R., Ciaravolo, M., Simoniello, P., Toscanesi, M., Trifuoggi, M., Avallone, B., 2016. Potential toxicity of improperly discarded exhausted photovoltaic cells. *Environmental Pollution* 216, 786–792. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.06.048>
- Novelli, A.A., Losso, C., Ghetti, P.F., Ghirardini, A.V., 2003. Toxicity of heavy metals using sperm cell and embryo toxicity bioassays with *Paracentrotus lividus* (Echinodermata: Echinoidea): Comparisons with exposure concentrations in the Lagoon of Venice, Italy. *Environ Toxicol Chem* 22, 1295–1301. <https://doi.org/10.1002/etc.5620220616>
- Oliviero, M., Tato, T., Schiavo, S., Fernández, V., Manzo, S., Beiras, R., 2019. Leachates of micronized plastic toys provoke embryotoxic effects upon sea urchin *Paracentrotus lividus*. *Environmental Pollution* 247, 706–715. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.01.098>
- Ore, S., Todorovic, J., Ecke, H., Grennberg, K., Lidelöw, S., Lagerkvist, A., 2007. Toxicity of leachate from bottom ash in a road construction. *Waste Management* 27, 1626–1637. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2006.11.008>
- Paller, M.H., Knox, A.S., 2010. Amendments for the in situ remediation of contaminated sediments: Evaluation of potential environmental impacts. *Science of the Total Environment* 408, 4894–4900. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.06.055>
- Palma, P., Alvarenga, P., Palma, V., Matos, C., Fernandes, R.M., Soares, A., Barbosa, I.R., 2010. Evaluation of surface water quality using an ecotoxicological approach: A case study of the Alqueva Reservoir (Portugal). *Environmental Science and Pollution Research* 17, 703–716. <https://doi.org/10.1007/s11356-009-0143-3>
- Paquet, N., Indiketi, N., Dalencourt, C., Larivière, D., Roberge, S., Gruyer, N., Triffault-Bouchet, G., Fortin, C., 2019. Toxicity of tailing leachates from a niobium mine toward three aquatic organisms. *Ecotoxicol Environ Saf* 176, 355–363. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.03.065>
- Parish, K., Brown, J., Cook, R., Kapp, M., 2012. Heavy Metals Effect on the Fertilization and Development of Sea Urchin Embryos.
- Perrodin, Y., Babut, M., Bedell, J.-P., Bray, M., Clement, B., Delolme, C., Devaux, A., Durrieu, C., Garric, J., Montuelle, B., 2006. Assessment of ecotoxicological risks related to depositing dredged materials from canals in northern France on soil. *Environ Int* 32, 804–814. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2006.05.003>
- Persoone, G., Marsalek, B., Blinova, I., Törökne, A., Zarina, D., Manusadzianas, L., Nalecz-Jawecki, G., Tofan, L., Stepanova, N., Tothova, L., Kolar, B., 2003. A practical and user-friendly toxicity classification system with microbiotests for natural waters and wastewaters. *Environ Toxicol* 18, 395–402. <https://doi.org/10.1002/tox.10141>

- Phoungthong, K., Xia, Y., Zhang, H., Shao, L., He, P., 2016. Leaching toxicity characteristics of municipal solid waste incineration bottom ash. *Front Environ Sci Eng* 10, 399–411. <https://doi.org/10.1007/s11783-015-0819-5>
- Pivato, A., Vanin, S., Raga, R., Lavagnolo, M.C., Barausse, A., Rieple, A., Laurent, A., Cossu, R., 2016. Use of digestate from a decentralized on-farm biogas plant as fertilizer in soils: An ecotoxicological study for future indicators in risk and life cycle assessment. *Waste Management* 49, 378–389. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.12.009>
- Prabhakar, A.K., Cadiam Mohan, B., Tay, T.S., Lee, S.S.C., Teo, S.L.M., Wang, C.H., 2021. Incinerated Sewage Sludge Bottom Ash- Chemical processing, Leaching patterns and Toxicity testing. *J Hazard Mater* 402. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123350>
- Pukalchik, M.A., Katrutsa, A.M., Shadrin, D., Terekhova, V.A., Oseledets, I.V., 2019. Machine learning methods for estimation the indicators of phosphogypsum influence in soil. *J Soils Sediments* 19, 2265–2276. <https://doi.org/10.1007/s11368-019-02253-2>
- Ramírez, W.A., Domene, X., Andrés, P., Alcañiz, J.M., 2008. Phytotoxic effects of sewage sludge extracts on the germination of three plant species. *Ecotoxicology* 17, 834–844. <https://doi.org/10.1007/s10646-008-0246-5>
- Rendell-Bhatti, F., Paganos, P., Pouch, A., Mitchell, C., D’Aniello, S., Godley, B.J., Pazdro, K., Arnone, M.I., Jimenez-Guri, E., 2021. Developmental toxicity of plastic leachates on the sea urchin *Paracentrotus lividus*. *Environmental Pollution* 269. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115744>
- Rial, D., León, V.M., Bellas, J., 2017. Integrative assessment of coastal marine pollution in the Bay of Santander and the Upper Galician Rias. *J Sea Res* 130, 239–247. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2017.03.006>
- Ribé, V., Nehrenheim, E., Odlare, M., 2014. Assessment of mobility and bioavailability of contaminants in MSW incineration ash with aquatic and terrestrial bioassays. *Waste Management* 34, 1871–1876. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.12.024>
- Ribeiro, R.C., da Silva Veronez, A.C., Tovar, T.T., Adams, S., Bartolomeu, D.A., Peronico, C., Furley, T.H., 2018. Cryopreservation: Extending the viability of biological material from sea urchin (*Echinometra lucunter*) in ecotoxicity tests. *Cryobiology* 80, 139–143. <https://doi.org/10.1016/j.cryobiol.2017.10.002>
- Rodrigues, P., Silvestre, J.D., Flores-colen, I., Viegas, C.A., Ahmed, H.H., Kurda, R., de Brito, J., 2020. Evaluation of the ecotoxicological potential of fly ash and recycled concrete aggregates use in concrete. *Applied Sciences (Switzerland)* 10. <https://doi.org/10.3390/app10010351>
- Romero-Freire, A., García Fernández, I., Simón Torres, M., Martínez Garzón, F.J., Martín Peinado, F.J., 2016. Long-term toxicity assessment of soils in a recovered area affected by a mining spill. *Environmental Pollution* 208, 553–561. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.10.029>
- Roques, O., Bayard, R., Le Maux, J., Patureau, D., Nélieu, S., Lamy, I., Bedell, J.-P., 2023. Assessing the chronic toxicity of spreading organic amendments on agricultural soil: Tests on earthworms and plants. *Ecotoxicol Environ Saf* 265. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.115504>

- Rotini, A., Gallo, A., Parlapiano, I., Berducci, M.T., Boni, R., Tosti, E., Prato, E., Maggi, C., Cicero, A.M., Migliore, L., Manfra, L., 2018. Insights into the CuO nanoparticle ecotoxicity with suitable marine model species. *Ecotoxicol Environ Saf* 147, 852–860. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.09.053>
- Santos, J., Cifrian, E., Rodriguez-Romero, A., Yoris-Nobile, A.I., Blanco-Fernandez, E., Castro-Fresno, D., Andres, A., 2023a. Assessment of the environmental acceptability of potential artificial reef materials using two ecotoxicity tests: Luminescent bacteria and sea urchin embryogenesis. *Chemosphere* 310. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.136773>
- Santos, J., Rodríguez-Romero, A., Cifrian, E., Maldonado-Alameda, A., Chimenos, J.M., Andrés, A., 2023b. Eco-toxicity assessment of industrial by-product-based alkali-activated binders using the sea urchin embryogenesis bioassay. *J Environ Manage* 341. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118100>
- Schoknecht, U., Kalbe, U., Heisterkamp, I., Kretzschmar, M., Gartiser, S., Happel, O., Ilvonen, O., 2022. Release of substances from joint grouts based on various binder types and their ecotoxic effects. *Environ Sci Eur* 34. <https://doi.org/10.1186/s12302-022-00686-0>
- Sherman, S., Chen, W., Blewett, T.A., Smith, S., Middleton, E., Garman, E., Schlekot, C., McGeer, J.C., 2021. Complexation reduces nickel toxicity to purple sea urchin embryos (*Strongylocentrotus purpuratus*), a test of biotic ligand principles in seawater. *Ecotoxicol Environ Saf* 216. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112156>
- Stabili, L., Pagliara, P., 2015. The sea urchin *Paracentrotus lividus* immunological response to chemical pollution exposure: The case of lindane. *Chemosphere* 134, 60–66. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.04.006>
- Storoshchuk, U., Malovanyy, M., Tymchuk, I., 2022. Substrates based on composted sewage sludge for land recultivation. *Ecological Questions* 33. <https://doi.org/10.12775/EQ.2022.039>
- Teodorovic, I., Planojevic, I., Knezevic, P., Radak, S., Nemet, I., 2009. Sensitivity of bacterial vs. acute *Daphnia magna* toxicity tests to metals. *Cent Eur J Biol* 4, 482–492. <https://doi.org/10.2478/s11535-009-0048-7>
- Thayumanavan, P., Nelson, P.O., Azizian, M.F., Williamson, K.J., Lundy, J.R., 2001. Environmental impact of construction and repair materials on surface water and groundwater: Detailed evaluation of waste-amended highway materials, Transportation Research Record. <https://doi.org/10.3141/1743-04>
- Tóth, G., Háhn, J., Kriszt, B., Szoboszlai, S., 2019. Acute and chronic toxicity of herbicides and their mixtures measured by *Aliivibrio fischeri* ecotoxicological assay. *Ecotoxicol Environ Saf* 185. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.109702>
- Trifuoggi, M., Pagano, G., Oral, R., Gravina, M., Toscanesi, M., Mozzillo, M., Siciliano, A., Burić, P., Lyons, D.M., Palumbo, A., Thomas, P.J., D'Ambra, L., Crisci, A., Guida, M., Tommasi, F., 2019a. Topsoil and urban dust pollution and toxicity in Taranto (southern Italy) industrial area and in a residential district. *Environ Monit Assess* 191. <https://doi.org/10.1007/s10661-018-7164-7>
- Trifuoggi, M., Pagano, G., Oral, R., Pavičić-Hamer, D., Burić, P., Kovačić, I., Siciliano, A., Toscanesi, M., Thomas, P.J., Paduano, L., Guida, M., Lyons, D.M., 2019b. Microplastic-

- induced damage in early embryonal development of sea urchin *Sphaerechinus granularis*. *Environ Res* 179. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.108815>
- Trowbridge, C.D., Little, C., Plowman, C.Q., Williams, G.A., Pilling, G.M., Morritt, D., Rivera Vázquez, Y., Dlouhy-Massengale, B., Cottrell, D.M., Stirling, P., Harman, L., McAllen, R., 2019. No 'silver bullet': Multiple factors control population dynamics of European purple sea urchins in Lough Hyne Marine Reserve, Ireland. *Estuar Coast Shelf Sci*. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2019.106271>
- Tsiridis, V., Petala, M., Samaras, P., Hadjispyrou, S., Sakellaropoulos, G., Kungolos, A., 2006. Interactive toxic effects of heavy metals and humic acids on *Vibrio fischeri*, in: *Ecotoxicology and Environmental Safety*. pp. 158–167. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2005.04.005>
- Tsiridis, V., Petala, M., Samaras, P., Kungolos, A., Sakellaropoulos, G.P., 2012. Environmental hazard assessment of coal fly ashes using leaching and ecotoxicity tests. *Ecotoxicol Environ Saf* 84, 212–220. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2012.07.011>
- Vašíčková, J., Maňáková, B., Šudoma, M., Hofman, J., 2016. Ecotoxicity of arsenic contaminated sludge after mixing with soils and addition into composting and vermicomposting processes. *J Hazard Mater* 317, 585–592. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.06.029>
- Velasco-Arjona, A., Izquierdo, A., De Castro, M.D.L., 1999. Modeling of residue stabilization. *Environ Toxicol Chem* 18, 655–658. <https://doi.org/10.1002/etc.5620180410>
- Vermeirssen, E.L.M., Campiche, S., Dietschweiler, C., Werner, I., Burkhardt, M., 2018. Ecotoxicological Assessment of Immersion Samples from Facade Render Containing Free or Encapsulated Biocides. *Environ Toxicol Chem* 37, 2246–2256. <https://doi.org/10.1002/etc.4176>
- Vermeirssen, E.L.M., Dietschweiler, C., Werner, I., Burkhardt, M., 2017. Corrosion protection products as a source of bisphenol A and toxicity to the aquatic environment. *Water Res* 123, 586–593. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.07.006>
- Vezone, M., Cesar, R., Moledo de Souza Abessa, D., Serrano, A., Lourenço, R., Castilhos, Z., Rodrigues, A.P., Perina, F.C., Polivanov, H., 2019. Metal pollution in surface sediments from Rodrigo de Freitas Lagoon (Rio de Janeiro, Brazil): Toxic effects on marine organisms. *Environmental Pollution* 252, 270–280. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.05.094>
- Wik, A., Lycken, J., Dave, G., 2008. Sediment quality assessment of road runoff detention systems in Sweden and the potential contribution of tire wear. *Water Air Soil Pollut* 194, 301–314. <https://doi.org/10.1007/s11270-008-9718-8>
- Young, L.G., Nelson, L., 1974. The effects of heavy metal ions on the motility of sea urchin spermatozoa. *BIOL.BULL.* 147, 236–246. <https://doi.org/10.2307/1540581>
- Zhang, K., Liu, M., Song, X., Wang, D., 2023. Application of Luminescent Bacteria Bioassay in the Detection of Pollutants in Soil. *Sustainability (Switzerland)* 15. <https://doi.org/10.3390/su15097351>
- Zhu, N., Deng, C., Xiong, Y., Qian, H., 2004. Performance characteristics of three aeration systems in the swine manure composting. *Bioresour Technol* 95, 319–326. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.02.021>

6. ANEXO

Tabla 5 - Leyenda de artículos

Nº	ARTÍCULO	CITA
1	A methodological approach for ecotoxicological characterization of non-hazardous sediments for their beneficial reuse	(Lecomte et al., 2020)
2	A Study on the Classification of a Mirror Entry in the European List of Waste: Incineration Bottom Ash from Municipal Solid Waste	(Bandarra et al., 2022)
3	A systematic review of the water treatment sludge toxicity to terrestrial and aquatic biota: state of the art and management challenges	(Bernegossi et al., 2022)
4	Amendments for the in situ remediation of contaminated sediments: Evaluation of potential environmental impacts	(Paller and Knox, 2010)
5	An integrated characterisation of incineration bottom ashes towards sustainable application: Physicochemical, ecotoxicological, and mechanical properties	(Bandarra et al., 2023)
6	Application of Luminescent Bacteria Bioassay in the Detection of Pollutants in Soil	(Zhang et al., 2023)
7	Assessing the chronic toxicity of spreading organic amendments on agricultural soil: Tests on earthworms and plants	(Roques et al., 2023)
8	Assessment of ecotoxicological risks related to depositing dredged materials from canals in northern France on soil	(Perrodin et al., 2006)
9	Assessment of leachates from reactive fire-retardant coatings by chemical analysis and ecotoxicity testing	(Heisterkamp et al., 2019)
10	Assessment of mobility and bioavailability of contaminants in MSW incineration ash with aquatic and terrestrial bioassays	(Ribé et al., 2014)
11	Assessment of the ecotoxicity of phytotreatment substrate soil as landfill cover material for in-situ leachate management	(Garbo et al., 2019)
12	Assessment of the environmental acceptability of potential artificial reef materials using two ecotoxicity tests: Luminescent bacteria and sea urchin embryogenesis	(Santos et al., 2023a)
13	Assessment of the impact of municipal solid waste incineration bottom ash used as partial cement replacement in cement mixture using bioassays	(Fialová et al., 2019)
14	Bioassays prove the suitability of mining debris mixed with sewage sludge for land reclamation purposes	(Domene et al., 2010)
15	Bioassays with terrestrial and aquatic species as monitoring tools of hydrocarbon degradation	(Bori et al., 2016b)
16	Characterization of Ecotoxicological Effects of Green Liquor Dregs from the Pulp and Paper Industry	(Bandarra et al., 2019)
17	Chemical characterization and ecotoxicity of three soil foaming agents used in mechanized tunneling	(Baderma et al., 2015)
18	Comparative ecotoxicity of three polluted industrial soils for the Collembola Folsomia candida	(Crouau and Pinelli, 2008)
19	Corrosion protection products as a source of bisphenol A and toxicity to the aquatic environment	(Vermeirssen et al., 2017)
20	Disposal of dredged sediments in tropical soils: ecotoxicological evaluation based on bioassays with springtails and enchytraeids	(Cesar et al., 2015)
21	Do new cement-based mortars pose a significant threat to the aquatic environment?	(Accardo et al., 2023)
22	Ecotoxicity and Essential Properties of Fine-Recycled Aggregate	(Mariaková et al., 2021)
23	Eco-toxicity assessment of industrial by-product-based alkali-activated binders using the sea urchin embryogenesis bioassay	(Santos et al., 2023b)
24	Ecotoxicity assessment of slag generated in the process of recycling lead from waste batteries	(Coya et al., 2000)
25	Ecotoxicity of a polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH)-contaminated soil	(Eom et al., 2007)
26	Ecotoxicity of arsenic contaminated sludge after mixing with soils and addition into composting and vermicomposting processes	(Vašíčková et al., 2016)
27	Ecotoxicity of pyrolytic carbon produced by pyrolysis of municipal and industrial Waste	(Černecká et al., 2017)
28	Ecotoxicity of wastes in avoidance tests with Enchytraeus albidus, Enchytraeus crypticus and Eisenia fetida (Oligochaeta)	(Kobetičová et al., 2010)
29	Ecotoxicity, phytotoxicity and extractability of heavy metals from different stabilised sewage sludges	(Fuentes et al., 2006)
30	Ecotoxicological Assessment of Immersion Samples from Facade Render Containing Free or Encapsulated Biocides	(Vermeirssen et al., 2018)
31	Ecotoxicological assessment of organic wastes using the soil collembolan Folsomia candida	(Xavier Domene et al., 2007)
32	Ecotoxicological assessment of the potential impact on soil porewater, surface and groundwater from the use of organic wastes as soil amendments	(Alvarenga et al., 2016)
33	Ecotoxicological characterization of emissions from steel coatings in contact with water	(Bell et al., 2020)
34	Ecotoxicological evaluation of construction products: inter-laboratory test with DSLT and percolation test eluates in an aquatic biotest battery	(Heisterkamp et al., 2021)

35	Ecotoxicological risks of the abandoned F–Ba–Pb–Zn mining area of Osor (Spain)	(Bori et al., 2017)
36	Environmental hazard assessment of coal fly ashes using leaching and ecotoxicity tests	(Tsiridis et al., 2012)
37	Environmental Impact of Concrete and Concrete-Based Construction Waste Leachates	(Mocová et al., 2019)
38	Environmental impact of construction and repair materials on surface water and groundwater: Detailed evaluation of waste-amended highway materials	(Thayumanavan et al., 2001)
39	Evaluation of chemical and ecotoxicological characteristics of biodegradable organic residues for application to agricultural land	(Alvarenga et al., 2007)
40	Evaluation of Drilling Cutting Components and Their Impact on the Environment Using Bioassay (Siberia, Russia)	(Mishunina and Klimova, 2019)
41	Evaluation of surface water quality using an ecotoxicological approach: A case study of the Alqueva Reservoir (Portugal)	(Palma et al., 2010)
42	Evaluation of the impact of construction products on the environment by leaching of possibly hazardous substances	(Bandow et al., 2018)
43	Feeding inhibition in the soil collembolan <i>Folsomia candida</i> as an endpoint for the estimation of organic waste ecotoxicity	(X. Domene et al., 2007)
44	Geochemistry and environmental threats of soils surrounding an abandoned mercury mine	(Bori et al., 2016a)
45	How terrestrial snails can be used in risk assessment of soils	(De Vaulfleur et al., 2006)
46	Integrative assessment of coastal marine pollution in the Bay of Santander and the Upper Galician Rias	(Rial et al., 2017)
47	Investigating the ecotoxicity of construction product eluates as multicomponent mixtures	(Heisterkamp et al., 2023)
48	Leachates of micronized plastic toys provoke embryotoxic effects upon sea urchin <i>Paracentrotus lividus</i>	(Oliviero et al., 2019)
49	Leaching toxicity characteristics of municipal solid waste incineration bottom ash	(Phoungthong et al., 2016)
50	Long-term toxicity assessment of soils in a recovered area affected by a mining spill	(Romero-Freire et al., 2016)
51	Machine learning methods for estimation the indicators of phosphogypsum influence in soil	(Pukalchik et al., 2019)
52	Microtox(TM) characterization of foundry sand residuals	(Bastian and Alleman, 1998)
53	Modeling of residue stabilization	(Velasco-Arjona et al., 1999)
54	Municipal Solid Waste Incineration and Sustainable Development	(Bandarra and Quina, 2021)
55	Performance characteristics of three aeration systems in the swine manure composting	(Zhu et al., 2004)
56	Phytotoxic effects of sewage sludge extracts on the germination of three plant species	(Ramírez et al., 2008)
57	Phytotoxicity tests of solid wastes and contaminated soils in the Czech Republic	(Kočí et al., 2010)
58	QSAR models for soil ecotoxicity: Development and validation of models to predict reproductive toxicity of organic chemicals in the collembola <i>Folsomia candida</i>	(Lavado et al., 2022)
59	Recommendation for a test battery for the ecotoxicological evaluation of the environmental safety of construction products	(S. Gartiser et al., 2017)
60	Recycling Wastes in Concrete Production: Performance and Eco-toxicity Assessment	(Brás et al., 2020)
61	Release of substances from joint grouts based on various binder types and their ecotoxic effects	(Schoknecht et al., 2022)
62	Sediment quality assessment of road runoff detention systems in Sweden and the potential contribution of tire wear	(Wik et al., 2008)
63	Soil and Freshwater Bioassays to Assess Ecotoxicological Impact on Soils Affected by Mining Activities in the Iberian Pyrite Belt	(Andreu-Sánchez et al., 2022)
64	Soil properties can evoke toxicity of copper oxide nanoparticles towards springtails at low concentrations	(Fischer et al., 2021)
65	Substrates based on composted sewage sludge for land recultivation	(Storoshchuk et al., 2022)
66	Synergic use of chemical and ecotoxicological tools for evaluating multi-contaminated soils amended with iron oxides-rich materials	(Manzano et al., 2017)
67	The use of <i>Folsomia candida</i> (Collembola, Isotomidae) in bioassays of waste	(Crouau et al., 2002)
68	Toxic response of the bacterium <i>Vibrio fischeri</i> to sodium lauryl ether sulphate residues in excavated soils	(Mariani et al., 2020)
69	Toxicity evaluation of the contaminated area of Crotone from biological indicators: a multispecies approach	(Mastroberardino et al., 2023)
70	Toxicity of leachate from bottom ash in a road construction	(Ore et al., 2007)
71	Use of digestate from a decentralized on-farm biogas plant as fertilizer in soils: An ecotoxicological study for future indicators in risk and life cycle assessment	(Pivato et al., 2016)
72	Use of ecotoxicity test and ecoscores to improve the management of polluted soils: case of a secondary lead smelter plant	(Foucault et al., 2013)

73	Use of the <i>Heterocypris incongruens</i> bioassay for assessing ecotoxicity of soils containing the anionic surfactant sodium lauryl ether sulphate (SLES)	(Mariani et al., 2022)
74	Utilizing <i>Eisenia andrei</i> to assess the ecotoxicity of platinum mine tailings disposal facilities	(Jubileus et al., 2013)
75	The effects of heavy metal ions on the motility of sea urchin spermatozoa	(Young and Nelson, 1974)
76	Combined Toxicity of Dissolved Mercury with Copper, Lead and Cadmium on Embryogenesis and Early Larval Growth of the <i>Paracentrotus lividus</i> Sea-Urchin	(Fernández and Beiras, 2001)
77	Toxicity of heavy metals using sperm cell and embryo toxicity bioassays with <i>paracentrotus lividus</i> (echinodermata: echinoidea): comparisons with exposure concentrations in the lagoon of venice, italy	(Novelli et al., 2003)
78	Effects of heavy metals on sea urchin embryo development. 1. Tracing the cause by the effects	(Kobayashi and Okamura, 2004)
79	Toxicity of organic compounds to marine invertebrate embryos and larvae: A comparison between the sea urchin embryogenesis bioassay and alternative test species	(Bellas et al., 2005)
80	The effects of metals on embryo-larval and adult life stages of the sea urchin, <i>Diadema antillarum</i>	(Bielmyer et al., 2005)
81	Identification of specific malformations of sea urchin larvae for toxicity assessment: Application to marine pisciculture effluents	(Carballeira et al., 2012)
82	Insights into the CuO nanoparticle ecotoxicity with suitable marine model species	(Rotini et al., 2018)
83	Mechanisms of Nickel Toxicity in the Highly Sensitive Embryos of the Sea Urchin <i>Evechinus chloroticus</i> , and the Modifying Effects of Natural Organic Matter	(Blewett et al., 2016)
84	Potential toxicity of improperly discarded exhausted photovoltaic cells	(Motta et al., 2016)
85	Sediment toxicity identification evaluation (tie phases i and ii) based on microscale bioassays for diagnosing causes of toxicity in coastal areas affected by domestic sewage	(Ferraz et al., 2017)
86	Nickel toxicity in <i>P. lividus</i> embryos: Dose dependent effects and gene expression analysis	(Bonaventura et al., 2018)
87	In situ embryo toxicity test with sea urchin: Development of exposure chamber for test execution	(Morroni et al., 2018)
88	Cryopreservation: Extending the viability of biological material from sea urchin (<i>Echinometra lucunter</i>) in ecotoxicity tests	(Ribeiro et al., 2018)
89	Topsoil and urban dust pollution and toxicity in Taranto (southern Italy) industrial area and in a residential district	(Trifuoggi et al., 2019a)
90	Proteomic profile of the hard corona of charged polystyrene nanoparticles exposed to sea urchin: <i>Paracentrotus lividus</i> coelomic fluid highlights potential drivers of toxicity	(Grassi et al., 2019)
91	Early developmental responses of three sea urchin species to tralopyril and its two degradation products	(Lavtizar and Okamura, 2019)
92	Leachates of micronized plastic toys provoke embryotoxic effects upon sea urchin <i>Paracentrotus lividus</i>	(Oliviero et al., 2019)
93	Microplastic-induced damage in early embryonal development of sea urchin <i>Sphaerechinus granularis</i>	(Trifuoggi et al., 2019b)
94	No 'silver bullet': Multiple factors control population dynamics of European purple sea urchins in Lough Hyne Marine Reserve, Ireland	(Trowbridge et al., 2019)
95	Metal pollution in surface sediments from Rodrigo de Freitas Lagoon (Rio de Janeiro, Brazil): Toxic effects on marine organisms	(Vezone et al., 2019)
96	<i>Vibrio fischeri</i> bioluminescence inhibition assay for ecotoxicity assessment: A review	(Abbas et al., 2018)
97	The use of Microtox to assess toxicity removal of industrial effluents from the industrial district of Camaçari (BA, Brazil)	(Araújo et al., 2005)
98	An integrated characterisation of incineration bottom ashes towards sustainable application: Physicochemical, ecotoxicological, and mechanical properties	(Bandarra et al., 2023)
99	Assessment of hazardous property HP 14 using ecotoxicological tests: a case study of weathered coal fly ash	(Bandarra et al., 2020)
100	Identification of specific malformations of sea urchin larvae for toxicity assessment: Application to marine pisciculture effluents	(Carballeira et al., 2012)
101	Stress and toxicity of biologically important transition metals (Co, Ni, Cu and Zn) on phytoplankton in a tropical freshwater system: An investigation with pigment analysis by HPLC	(Chakraborty et al., 2010)
102	Toxic effects induced by vanadium on sea urchin embryos	(Chiarelli et al., 2021)
103	Chemicals sorbed to environmental microplastics are toxic to early life stages of aquatic organisms	(Cormier et al., 2021)
104	Evaluation of the toxicity of metal pollutants on embryonic development of the sea urchin <i>Paracentrotus lividus</i> (Lamarck, 1816) (Echinodermata Echinoidea)	(Dermeche et al., 2012)
105	Developmental toxicity of plastic leachates on the sea urchin <i>Paracentrotus lividus</i>	(Rendell-Bhatti et al., 2021)
106	Patterns of metals and arsenic poisoning in <i>Vibrio fischeri</i> bacteria	(Fulladosa et al., 2005)
107	Multidisciplinary screening of toxicity induced by silica nanoparticles during sea urchin development	(Gambardella et al., 2015)

108	Results from a round robin test for the ecotoxicological evaluation of construction products using two leaching tests and an aquatic test battery	(Stefan Gartiser et al., 2017)
109	Toxicity of the 13 priority pollutant metals to <i>Vibrio fischeri</i> in the Microtox chronic toxicity test	(Hsieh et al., 2004)
110	Incinerated Sewage Sludge Bottom Ash- Chemical processing, Leaching patterns and Toxicity testing	(Prabhakar et al., 2021)
111	Toxicological Impact of Rare Earth Elements (REEs) on the Reproduction and Development of Aquatic Organisms Using Sea Urchins as Biological Models	(Martino et al., 2022)
112	In situ embryo toxicity test with sea urchin: Development of exposure chamber for test execution	(Morrone et al., 2018)
113	Toxicity of heavy metals using sperm cell and embryo toxicity bioassays with <i>paracentrotus lividus</i> (echinodermata: echinoidea): comparisons with exposure concentrations in the lagoon of venice, italy	(Novelli et al., 2003)
114	Toxicity of tailing leachates from a niobium mine toward three aquatic organisms	(Paquet et al., 2019)
115	Heavy Metals Effect on the Fertilization and Development of Sea Urchin Embryos	(Parish et al., 2012)
116	A Practical and User-Friendly Toxicity Classification System with Microbiotests for Natural Waters and Wastewaters	1(Persoon et al., 2003)
117	Evaluation of the Ecotoxicological Potential of Fly Ash and Recycled Concrete Aggregates Use in Concrete	(Rodrigues et al., 2020)
118	Complexation reduces nickel toxicity to purple sea urchin embryos (<i>Strongylocentrotus purpuratus</i>), a test of biotic ligand principles in seawater	(Sherman et al., 2021)
119	The sea urchin <i>Paracentrotus lividus</i> immunological response to chemical pollution exposure: The case of lindane	(Stabili and Pagliara, 2015)
120	Sensitivity of bacterial vs. acute <i>Daphnia magna</i> toxicity tests to metals	(Teodorovic et al., 2009)
121	Acute and chronic toxicity of herbicides and their mixtures measured by <i>Aliivibrio fischeri</i> ecotoxicological assay	(Tóth et al., 2019)
122	Interactive toxic effects of heavy metals and humic acids on <i>Vibrio fischeri</i>	(Tsiridis et al., 2006)