






## **Análisis bibliométrico para identificar brechas en la literatura científica sobre la innovación y el diseño óptimo multicriterio de biorreactores anaeróbico de flujo ascendente (UASB).**

*Bibliometric analysis to identify gaps in the scientific literature on innovation and multi-criteria optimization for the design of upflow anaerobic sludge blanket (UASB) bioreactors.*

Julio César Borrero Neninger <sup>1</sup>/\*; Rolando Esteban Simeón Monet <sup>2</sup>; José Arzola Ruiz <sup>3</sup>  
; Leider Inocencio Saraiba Nuñez <sup>4</sup>; Raul Torres Sainz <sup>5</sup>.

<sup>1, 2, 4, 5</sup>: Grupo de desarrollo de la producción cañera, mecanización y comunidades rurales en la provincia Holguín / Universidad de Holguín / Holguín / Cuba

<sup>3</sup>: Universidad Tecnológica de La Habana CUJAE / La Habana / Cuba;

\* Correspondence: [jborreroneninger@gmail.com](mailto:jborreroneninger@gmail.com) ; Tel.: +53  
51440401, +53 52858565

Available from: <http://dx.doi.org/10.21931/RB/2024.09.02.12>

---

### **Resumen**

La digestión anaerobia para la obtención de biogás se considera una tecnología establecida para la producción de energía a partir de una gran variedad de residuos y subproductos de procesos industriales y agrícolas. Con esta investigación se pretende realizar un análisis exhaustivo de la literatura científica, buscando una correlación directa entre la optimización multicriterio y el diseño de Sistemas de Biorreactores Anaerobios de Flujo Ascendente (UASB). La ausencia de investigación específica sobre la optimización multicriterio aplicada al diseño de UASB resalta la existencia de brechas importantes en el conocimiento científico y apunta hacia futuras líneas de investigación para comprender y aprovechar el potencial de la optimización en el diseño de UASB. Esta observación señala la necesidad de promover y desarrollar futuras líneas de investigación en esta área en particular. Este artículo tiene la finalidad de buscar de manera cuantitativa la producción y el uso de la literatura científica en la temática de innovación y el Diseño Óptimo multicriterio de Biorreactores Anaeróbico de Flujo Ascendente (UASB) que permita generar nuevos elementos para los estudios del tema y aportar un nuevo conocimiento para la optimización del proceso de producción de biogás con elementos

contaminantes del medio ambiente provenientes de la industria zucro-alcoholera.

**Palabras Clave.** Biogás; digestión anaerobia; diseño; optimización multicriterio.

### **Abstract**

Anaerobic digestion for biogas production is an established technology for the production of energy from a wide variety of wastes and byproducts of industrial and agricultural processes. The purpose of this research is to perform a comprehensive analysis of the scientific literature, looking for a direct correlation between multi-criteria optimization and the design of Upflow Anaerobic Bioreactor Systems (UASB). The absence of specific research on multicriteria optimization applied to UASB design highlights the existence of important gaps in scientific knowledge and highlights future research lines to understand and exploit the potential of optimization in UASB design. These observations highlight the need to promote and develop future lines of research in this area. The purpose of this article is to quantitatively search for the production and use of scientific literature on the subject of innovation and the Optimal Multicriteria Design of Anaerobic Upflow Anaerobic Bioreactors (UASB) to generate new elements for studies on the subject and to contribute new knowledge for the optimization of the biogas production process with environmentally polluting elements from the sugar-alcohol industry.

**Keywords.** Biogas; anaerobic digestion; design; multicriteria optimization.

---

### **Introducción**

La bibliometría es la bibliografía estadística basada en la necesidad de efectuar recuento de las publicaciones existentes, la disciplina que cuantifica el contenido de los libros, y el estudio cuantitativo de las unidades físicas publicadas, de las unidades bibliográficas, o de sus sustitutos. Igualmente se define como la aplicación de análisis estadísticos para estudiar las características del uso y creación de documentos, como el estudio cuantitativo de la producción de documentos, tal y como se refleja en las bibliografías, y como la aplicación de métodos matemáticos y estadísticos al estudio del uso que se hace de los libros y otros medios dentro y entre los sistemas de bibliotecas.<sup>1</sup>

La bibliometría es una subdisciplina de la cienciometría y proporciona información sobre los resultados del proceso investigador, su volumen, evolución, visibilidad y estructura. Así permite valorar la visibilidad científica, y el impacto tanto de la investigación como de las fuentes.<sup>2</sup>

Los indicadores bibliométricos se han ideado para cuantificar la producción científica y tratar de evaluar su impacto en la comunidad. En general, los indicadores bibliométricos pueden clasificarse en función de si la unidad de análisis es el autor (individual o colectivo) o la revista.<sup>3</sup>

Hay autores que plantean que: “los estudios bibliométricos son una herramienta valiosa para describir

las estructuras de investigación a nivel internacional, nacional, regional o institucional y analizar el impacto que estas estructuras tienen en la generación de conocimiento”.<sup>4</sup>

El plan ideal de un marco de biorreactor anaeróbico de flujo ascendente (UASB) tiene gran importancia en el campo del tratamiento de aguas residuales. Esta innovación se utiliza ampliamente para la evacuación de las toxinas naturales de las aguas residuales, en particular en aplicaciones metropolitanas y mecánicas.<sup>5, 6, 7</sup>

Existen diferentes tipos de estudios bibliométricos, como el análisis de citas, el factor de impacto de revistas, el análisis de cocitación y el análisis de redes sociales, cada uno con su propio conjunto de indicadores para evaluar diversos aspectos de la actividad científica. El diseño óptimo de un UASB implica la consideración cuidadosa de diversos parámetros clave, incluyendo la geometría del reactor, la medida y el número de unidades, la tasa de flujo, la difusión natural de la chimenea, el tiempo de mantenimiento impulsado por la presión y la relación entre la alimentación y la generación de biogás.<sup>8, 7</sup>

Estos parámetros desempeñan un papel vital dentro de la eficacia de la evacuación de residuales, la generación de biogás y la solidez operativa de la planta. Una de las razones por las que un UASB es básico, es su capacidad para maximizar la fermentación anaerobia de la materia natural y minimizar la generación de subproductos indeseables. Mediante un buen manejo de contaminantes, se pueden lograr altas tasas de expulsión del mismo, lo que contribuye a la eficacia del manejo y a un afluente de alta calidad.

Además, un diseño de calidad del UASB puede mejorar el rendimiento global y el aprovechamiento del biogás generado a lo largo de toda la técnica de tratamiento. El biogás, compuesto especialmente de metano y dióxido de carbono, tiene una gran capacidad energética y puede utilizarse como fuente renovable de energía térmica o eléctrica. Un diseño ecológico del UASB puede maximizar la fabricación y la excelencia del biogás, lo que resulta beneficioso desde el punto de vista monetario y medioambiental.

Es crucial ser consciente de que el diseño ideal de un UASB también tiene en cuenta aspectos operativos y de mantenimiento. Un diseño adecuado permite el acceso para la inspección y renovación del dispositivo, lo que contribuye a la prevención de problemas de funcionamiento y prolonga la vida útil del equipo.

---

## **Materiales y métodos**

Los estudios bibliométricos se emplean para realizar un análisis exhaustivo de la literatura científica. Donde se llevan a cabo búsquedas en diversas bases de datos, incluyendo ScienceDirect, Lens.org, Dimension e IEEE Explorer, con el objetivo de recopilar artículos relevantes para la temática de investigación, se realizó la misma búsqueda, pero en base de datos Scopus.<sup>9</sup>

En la investigación científica, los análisis bibliométricos proporcionan una evaluación cuantitativa de la producción y el uso de la literatura científica, razones que sirvieron en este artículo para la **Identificación de tendencias**: ayudan a identificar las áreas de investigación más productivas y relevantes; **Medición del impacto**: permiten medir el impacto de las publicaciones científicas a través de indicadores como el número de citas y el factor de impacto de las revistas; **Toma de decisiones**: facilitan la toma de decisiones en la planificación y financiación de la investigación; y la **Evaluación de la calidad**: sirven como indicador de calidad para la selección de publicaciones y revistas científicas.

Sin embargo, también es importante tener en cuenta las limitaciones de estos estudios, como la posibilidad de sesgo en los indicadores y la dependencia de la disponibilidad de datos.

Las ecuaciones de búsqueda utilizadas en esta investigación fueron las siguientes:

("Multicriteria Optimization" OR "Multiobjective Optimization Criteria") AND "design" AND ("Upflow Anaerobic Sludge Blanket" OR "UASB")

Design AND ("Upflow Anaerobic Sludge Blanket" OR "UASB")

("Multicriteria Optimization" OR "Multiobjective Optimization Criteria") AND "design"

Para garantizar la exhaustividad y precisión de los resultados, se aplicaron filtros por título, resumen y palabras clave. No se impuso ninguna restricción temporal en la búsqueda, permitiendo considerar estudios publicados hasta el 12 de agosto de 2023 fecha en que se inició la búsqueda y el 14 de octubre de 2023, fecha en que se obtuvieron los últimos artículos.

Posteriormente, se realizó un análisis bibliométrico de los artículos seleccionados. Se calcularon indicadores de productividad por años, autores y revistas, lo que permitió identificar las tendencias de investigación y aquellos trabajos y autores más relevantes en el campo de estudio.

Adicionalmente, se utilizó la herramienta VOSviewer para analizar las correlaciones entre las palabras clave extraídas de los artículos. VOSviewer es una herramienta que permite visualizar y analizar las relaciones entre términos clave, identificando agrupaciones y revelando la estructura de conocimiento dentro del conjunto de datos.

Estos análisis de correlación y visualización resultan de gran utilidad, ya que brindan una comprensión más profunda de las relaciones y enlaces entre los conceptos investigados, permitiendo identificar áreas de interés.

---

## Resultados

La tabla 1 muestra la cantidad de resultados obtenidos en diferentes bases de datos científicas para diferentes ecuaciones de búsqueda relacionadas con el diseño y la optimización multicriterio o multiobjetivo, así como con el "Upflow Anaerobic Sludge Blanket" (UASB).

**Tabla 1.** Resultados obtenidos en diferentes bases de datos científicas.

<i>Ecuaciones de búsqueda</i>	<i>Bases de Datos</i>			
	<i>Lens.org</i>	<i>Science Direct</i>	<i>IEEE Explorer</i>	<i>Dimensions</i>
<i>(“Multicriteria Optimization” OR “Multiobjective Optimization Criteria”)</i>	0	0	0	0
<i>AND “design”</i>				
<i>AND</i>				
<i>(“Upflow Anaerobic Sludge Blanket” OR “UASB”)</i>				
<i>Design AND (“Upflow Anaerobic Sludge Blanket” OR “UASB”)</i>	0	145	2	424
<i>(“Multicriteria Optimization” OR “Multiobjective Optimization Criteria”) AND “design”</i>	537	142	155	486

Al analizar los resultados, podemos hacer las siguientes interpretaciones:

1. La primera ecuación de búsqueda, que combina la optimización multicriterio y el diseño con UASB, no arrojó ningún resultado en ninguna de las bases de datos. Esto puede indicar que no hay estudios o investigaciones específicas que combinen estos elementos en las bases de datos consultadas en el intervalo de tiempo en que se enmarcó la investigación.
2. La segunda ecuación de búsqueda, que se centra en el diseño en combinación con UASB, muestra resultados en tres de las bases de datos. ScienceDirect muestra 145 resultados, IEEE Xplore muestra 2 resultados y Dimensions muestra 424 resultados. Esto sugiere que hay algunos estudios relacionados con el diseño y UASB en estas bases de datos, pero con diferentes niveles de relevancia o enfoque.
3. La tercera ecuación de búsqueda, que se enfoca en la optimización multicriterio o multiobjetivo relacionada con el diseño, muestra resultados en todas las bases de datos. Lens.org con 537 resultados, ScienceDirect 142, IEEE Xplore 155 y Dimensions 486. Esto indica que hay una cantidad significativa de estudios o investigaciones que exploran la optimización multicriterio o multiobjetivo en relación con el diseño en estas bases de datos.

Al combinar los resultados de las siguientes dos ecuaciones de búsqueda, que se centran en el diseño en combinación con UASB, se puede obtener información relevante sobre las características de diseño

para la optimización multicriterio:

Revisar y analizar los resultados encontrados en estas bases de datos permite identificar características comunes o recurrentes relacionadas con la optimización multicriterio del diseño de UASB que incluyen aspectos como:

1. **Parámetros de diseño:** analiza los parámetros de diseño utilizados en los estudios encontrados, como el tamaño y la forma del reactor, la carga orgánica, la geometría y la configuración del sistema UASB. Determina qué parámetros son relevantes para la optimización multicriterio del diseño de UASB.
2. **Variables de rendimiento:** examina las variables de rendimiento consideradas en los estudios, como la eliminación de materia orgánica, la producción de biogás, la eficiencia y la estabilidad del sistema. Identifica aquellas variables que son importantes para la optimización multicriterio del diseño de UASB.
3. **Metodología de optimización:** analiza los enfoques de optimización utilizados en los estudios, como algoritmos genéticos, programación lineal, análisis multicriterio, entre otros. Examina cómo se aplican estos enfoques para la optimización del diseño de UASB.
4. **Restricciones y objetivos:** identifica las restricciones y objetivos considerados en los estudios, como limitaciones de espacio, costos, regulaciones ambientales, entre otros. Evalúa qué restricciones y objetivos son relevantes para la optimización multicriterio del diseño de UASB.

Al analizar estos aspectos en los estudios encontrados en las bases de datos, se podrá extraer características y conocimientos que ayuden a comprender mejor cómo optimizar el diseño de un UASB desde una perspectiva multicriterio. Esto permitirá tomar decisiones correctas y desarrollar estrategias de diseño más eficientes y efectivas para la optimización de UASB.

Las figuras 1 y 2 muestran las publicaciones por años con las ecuaciones de búsqueda: design AND (“Upflow Anaerobic Sludge Blanket” OR “UASB”) y (“Multicriteria Optimization” OR “Multiobjective Optimization Criteria”) AND “design”

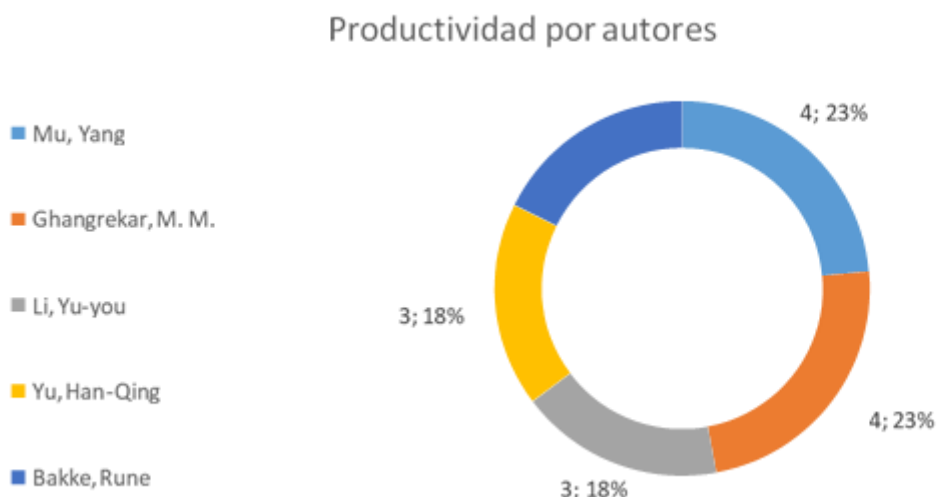


**Figura 1.** Dinámica de la productividad científica según ecuaciones de búsqueda design AND ("Upflow Anaerobic Sludge Blanket" OR "UASB").



**Figura 2.** Dinámica de la productividad científica según ecuaciones de búsqueda ("Multicriteria optimization" OR "Multiobjective Optimization Criteria") AND "design".

Estos resultados indican la distribución de la productividad científica a lo largo de los años para las temáticas. A medida que avanzan los años, se observa un aumento en la cantidad de artículos publicados en este campo. El aumento en la productividad científica a lo largo de los años indica un mayor interés y esfuerzo dedicado al estudio y avance en este campo. Muestra que los investigadores están trabajando activamente en el desarrollo de conocimientos y en la generación de nuevas contribuciones.



**Figura 3.** Productividad científica por autores según ecuaciones de búsqueda design AND ("Upflow Anaerobic Sludge Blanket" OR "UASB").

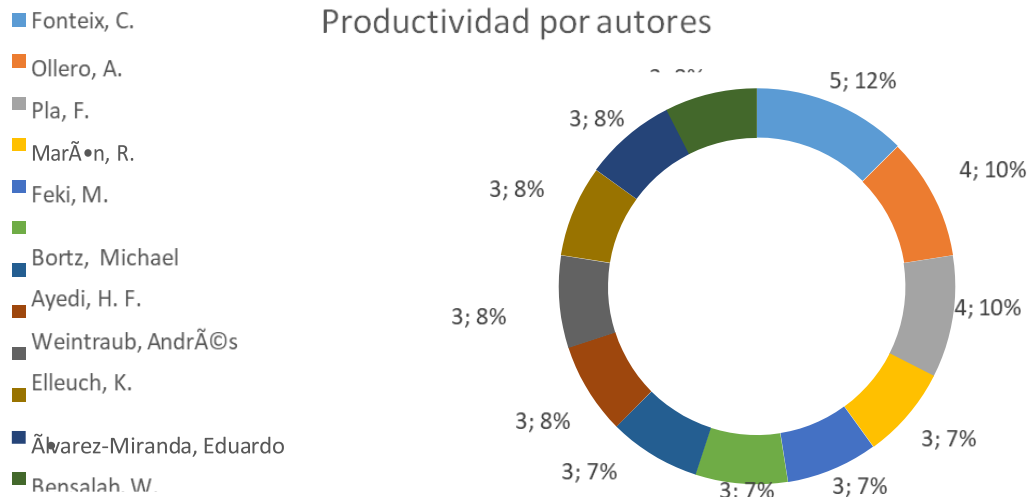


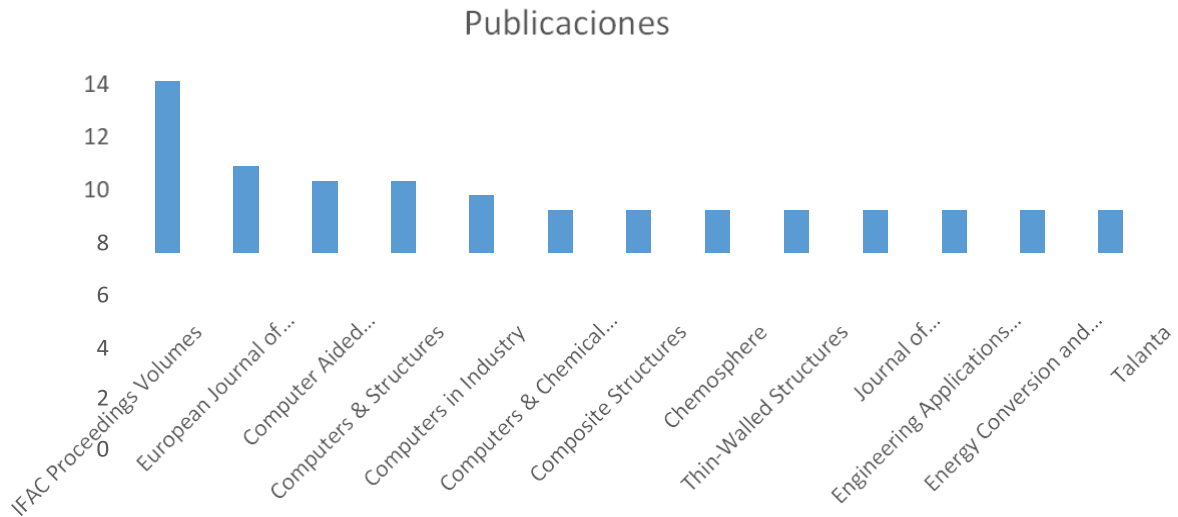
Figura 4. Productividad científica por autores según ecuaciones de búsqueda ("Multicriteria optimization" OR "Multiobjective Optimization Criteria") AND "design".

Como reflejan las figuras 3 y 4, de los autores más productivos en las ecuaciones de búsqueda, se observa que Mu, Yang y Ghangrekar, M. M. son los autores más prolíficos para la primera ecuación, con publicaciones destacadas que dan un amplio espectro del tema.<sup>10, 11</sup> Seguidos por Li, Yu-you, Yu, Han-Qing y Bakke, Rune. En cuanto a la segunda ecuación, Fonteix, C. encabeza la lista de autores más productivos, seguido por Ollero, A. y Pla, F. Varios autores, incluyendo Marín, R., Feki, M., Bortz, Michael y otros, también tienen una destacada contribución en este campo de investigación. Estos resultados indican que estos autores han desempeñado un papel activo y significativo en sus respectivos campos de estudio.



Figura 5. Productividad científica por revistas según ecuaciones de búsqueda design AND ("Upflow Anaerobic Sludge Blanket" OR "UASB").



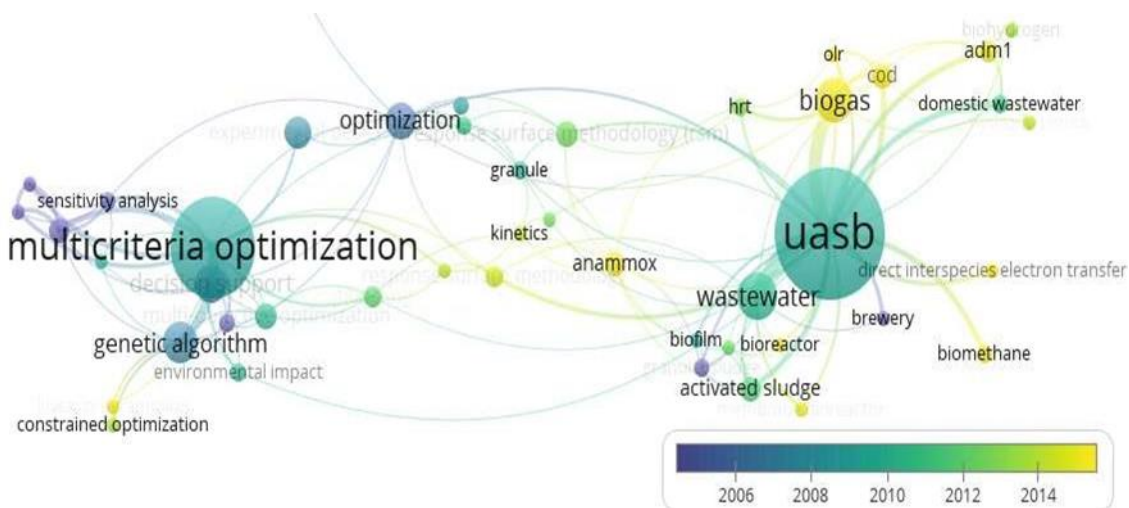


**Figura 6.** Productividad científica por revistas según ecuaciones de búsqueda ("Multicriteria optimization" OR "Multiobjective Optimization Criteria") AND "design".

Analizando la productividad por revista en las dos ecuaciones de búsqueda, figuras 5 y 6, se observa que Bioresource Technology y IFAC Proceedings Volumes son las revistas más destacadas en términos de cantidad de publicaciones. Bioresource Technology lidera en la primera ecuación, seguida por Water Science and Technology y Water Research.

IFAC Proceedings Volumes encabeza la lista en la segunda ecuación, seguida por European Journal of Operational Research y Computer Aided Chemical Engineering. Estas revistas demuestran ser líderes en sus respectivos campos de investigación y desempeñan un papel importante en la difusión de la investigación en dichas áreas. Otras revistas también muestran una productividad considerable y contribución significativa en sus respectivos campos.

El análisis y correlación de las palabras clave mencionadas (Figura 7), reveló conexiones significativas con el estudio de la optimización multicriterio y los Sistemas de Biorreactores Anaerobios de Flujo Ascendente (UASB, por sus siglas en inglés).



**Figura 7.** Conexiones con el estudio de la optimización multicriterio y los Sistemas UASB.

En un primer momento, el enfoque de la optimización multicriterio se exploró junto con el análisis de sensibilidad, la lógica difusa, la optimización del control y los sistemas de control. Estos elementos están estrechamente relacionados, ya que la optimización multicriterio busca encontrar soluciones que representen un equilibrio entre diferentes objetivos, mientras que los análisis de sensibilidad y la lógica difusa ayudan a evaluar el impacto de los parámetros y la incertidumbre en esos objetivos. Además, la optimización del control y los sistemas de control buscan mejorar el rendimiento y la eficiencia de los sistemas, lo cual es esencial en la optimización multicriterio.

En un segundo momento, surgieron investigaciones relacionadas con la optimización multiobjetivo, los diagramas de Pareto, el apoyo a las decisiones y los algoritmos genéticos. Estos conceptos están directamente vinculados a la optimización multicriterio, ya que la optimización multiobjetivo busca encontrar un conjunto de soluciones óptimas en lugar de una única solución, mientras que los diagramas de Pareto proporcionan una representación gráfica de esas soluciones no dominadas.

El apoyo a las decisiones y los algoritmos genéticos son herramientas importantes utilizadas para analizar y buscar soluciones en problemas de optimización multicriterio. Uno de las investigaciones destaca en el uso de Pareto, que está basada en lograr optimizar una planta de tratamiento de aguas residuales usando el algoritmo CPMDE, que combina clasificación y dominancia de Pareto. Lo que permite maximizar la producción de metano y minimizar la concentración de sustrato en el efluente y la pérdida de biomasa.<sup>12</sup>

Por otro lado, los Sistemas de Biorreactores Anaerobios de Flujo Ascendente (UASB) están estrechamente relacionados con la gestión de los residuos de agua. Los UASB se utilizan comúnmente en el tratamiento biológico de aguas residuales, donde los microorganismos anaerobios descomponen la materia orgánica en ausencia de oxígeno. Además, también se ha investigado la granulación en los UASB, que implica la formación de gránulos biológicos para mejorar la eficiencia del proceso de tratamiento.

En un tercer momento, surgen temas más recientes y novedosos relacionados con el estudio del biogás, el biometano, los biorreactores, Anammox, biorreactores de membrana y Kinetiks. Estos temas están vinculados a la optimización multicriterio y los UASB debido a su relevancia en el campo del tratamiento y aprovechamiento de residuos. El estudio del biogás y el biometano se centra en la producción de gases a partir de la descomposición anaerobia de la materia orgánica, que puede ser optimizada en términos de rendimiento y calidad.

Los biorreactores UASB y los biorreactores de membrana son sistemas utilizados en diversos procesos de tratamiento biológico, donde la optimización y el control son fundamentales para asegurar un rendimiento eficiente. Además, el Anammox es un proceso biológico que puede

integrarse en los sistemas de tratamiento anaerobio para la eliminación de nitrógeno de las aguas residuales.

Por último, Kinetiks se refiere a la cinética de la digestión anaeróbica, que es un proceso bioquímico natural en el cual materiales orgánicos complejos son descompuestos por comunidades microbianas para producir biomoléculas elementales y biogás, en ausencia de oxígeno. Este proceso se lleva a cabo en cuatro etapas principales: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis, lo cual es relevante para comprender y optimizar los procesos en los UASB y otros sistemas de tratamiento.<sup>13</sup>

**Estudio bibliométrico sobre el diseño de reactores tipo UASB en base de datos Scopus**

Los términos empleados para la búsqueda fueron biogás, vinaza, vinasse, stillage, cachaza, cachaça, uasb, design. La ecuación de búsqueda empleada para la recuperación de documentos se muestra a continuación:

Biogás AND (vinaza OR vinasse OR stillage OR cachaza OR cachaça) AND uasb AND design Como fuentes de información se emplearon las bases de datos de Scopus.

Además, se realizó un análisis bibliométrico basado en el texto encontrado en el título y el resumen de los artículos. La red se muestra en la figura 8, para lograr la red final fue necesario realizar un preprocesamiento de los términos encontrados. Del total de 3 933 términos en el cúmulo de artículos, los términos relacionados en cualquier idioma fueron agrupados. Entonces, se eliminaron del análisis los términos irrelevantes para la investigación y de los términos resultantes se seleccionaron los 33 más importantes por el número de apariciones en artículos.

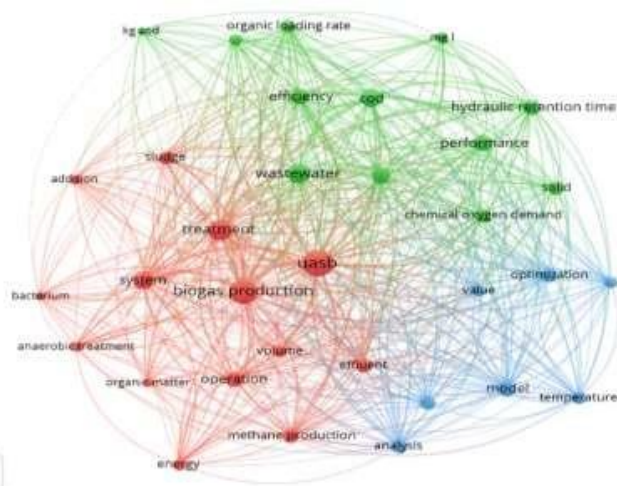
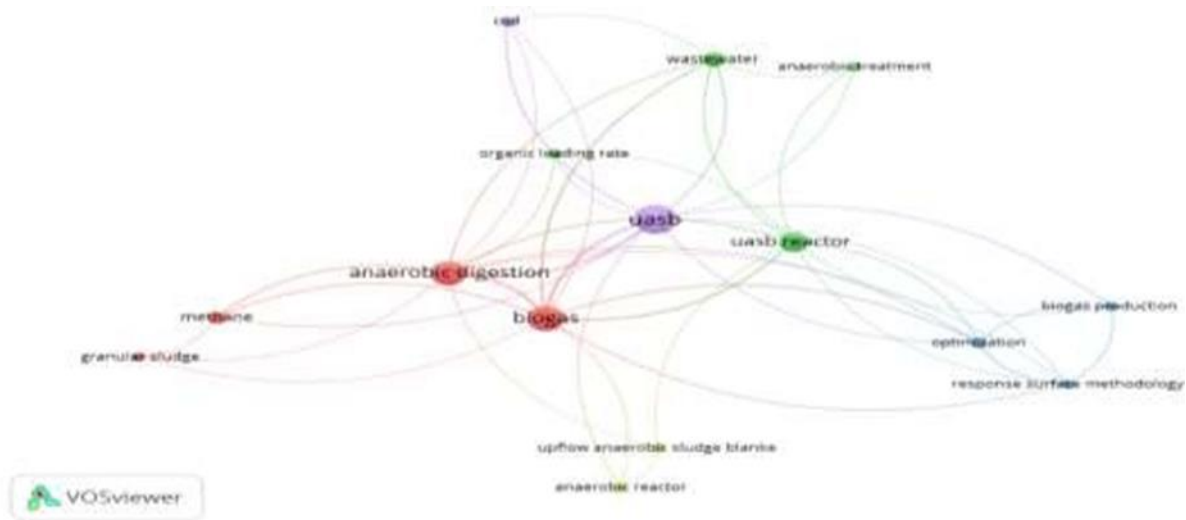


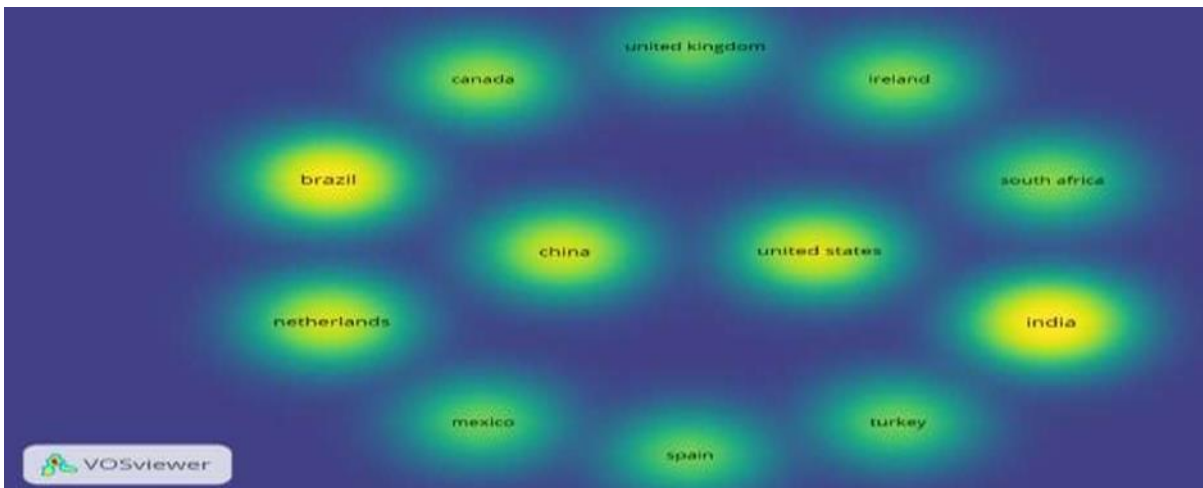
Figura 8. Red de los términos

De igual forma se hizo un análisis de la red de los artículos permitiendo obtener otra red, como muestra la figura 9, a partir de los artículos que tratan la producción de biogás y muy pocos tienen en cuenta a la optimización para el diseño de biorreactores para este fin; incluso menor es la cifra sugerida por los autores. Otra conclusión importante que puede ser extraída de la red es que entre los reactores más empleados para la producción de biogás se encuentran los reactores UASB (término “UASB reactor” en la red).

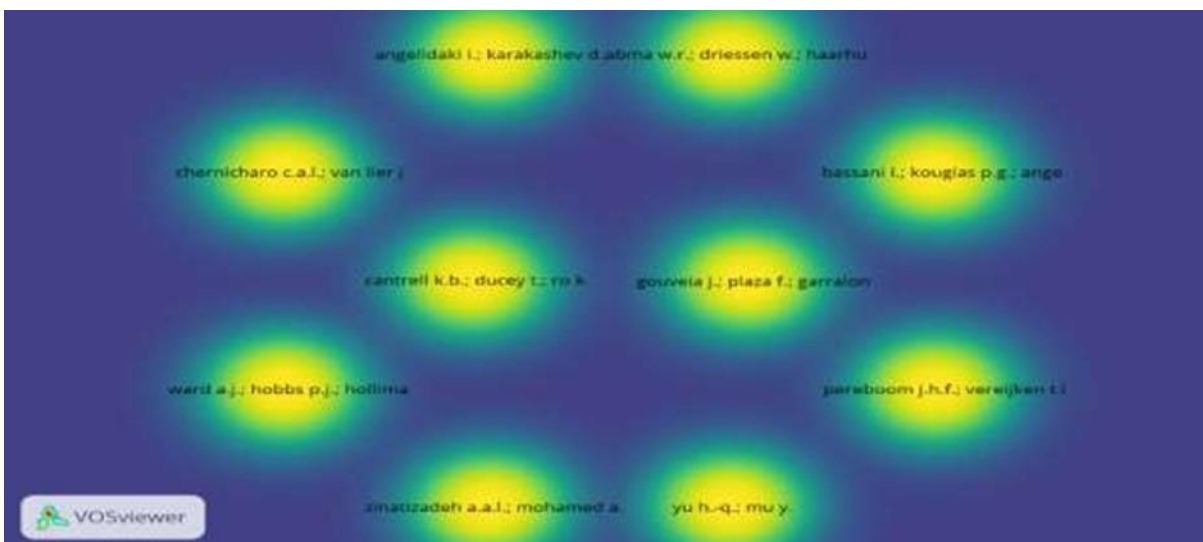


**Figura 9.** Red de palabras clave sugeridas por los autores.

Igualmente se hizo un análisis de los países más importantes por el número de citas (Figura 10) de los documentos, donde se destacan La India, Brasil, Estados Unidos de América y China y los 10 autores más importantes (Figura 11) por el número de citas de sus documentos.

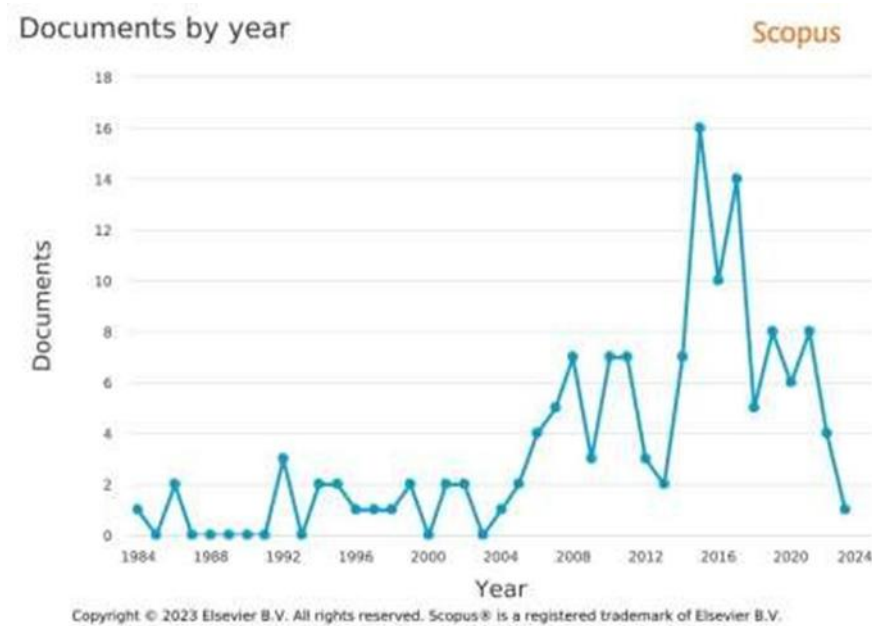


**Figura 10.** Países más importantes por el número de citas.



**Figura 11.** Autores más importantes por el número de citas.

En la figura 12 se muestra la evolución temporal de la producción científica relacionada con la optimización multicriterio aplicada al diseño de Sistemas de Biorreactores Anaerobios de Flujo Ascendente (UASB). El análisis de la productividad anual permite identificar tendencias y periodos de mayor o menor actividad en esta línea de investigación. Esto ayuda a comprender el desarrollo histórico y la dinámica de la investigación en esta área específica.

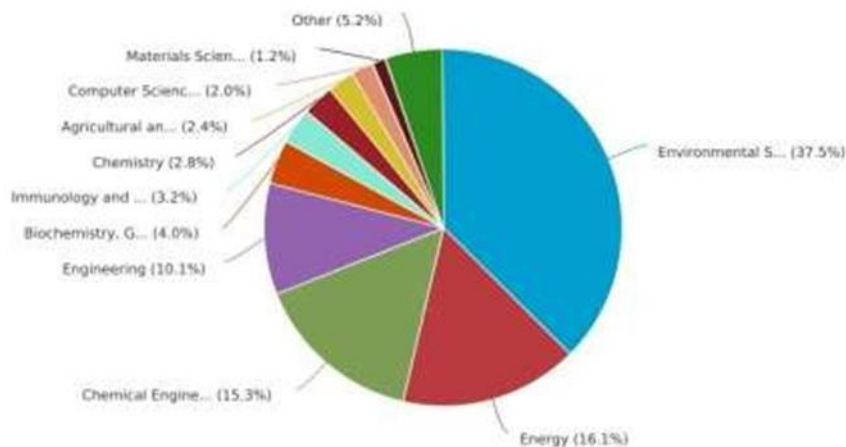


**Figura 12.** Análisis de la productividad científica por años.

La figura 13 presenta la distribución de la producción científica entre las diferentes áreas o disciplinas científicas que han abordado la temática de estudio. Este análisis por áreas de conocimiento permite identificar los campos y enfoques predominantes, así como posibles brechas interdisciplinarias que podrían ser exploradas en futuras investigaciones.

Documents by subject area

Scopus



Copyright © 2023 Elsevier B.V. All rights reserved. Scopus® is a registered trademark of Elsevier B.V.

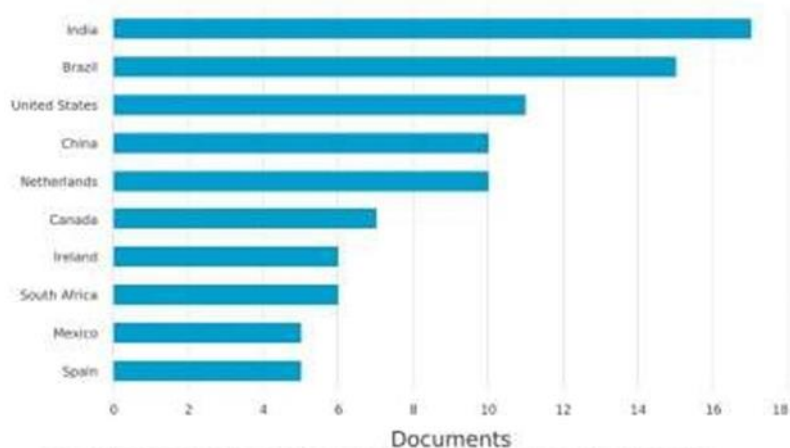
**Figura 13.** Análisis de la productividad científica por áreas de la ciencia.

Se realizó una comprobación para identificar los países líderes en la producción de conocimiento científico relacionado con la optimización multicriterio aplicada al diseño de Sistemas de Biorreactores Anaerobios de Flujo Ascendente (UASB). El análisis de la distribución geográfica de las publicaciones ayuda a comprender la estructura global de la investigación en esta área (Figura 14), los centros de actividad más relevantes y las posibles oportunidades de colaboración internacional.

Documents by country or territory

Scopus

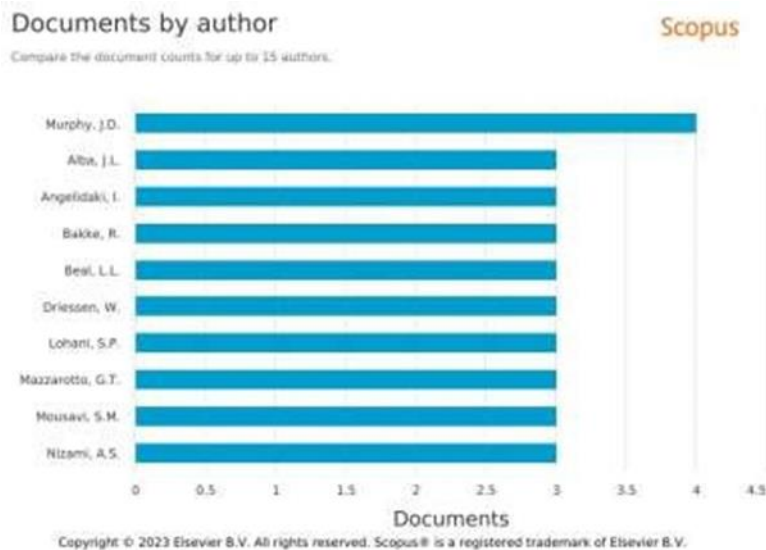
Compare the document counts for up to 15 countries/territories.



Copyright © 2023 Elsevier B.V. All rights reserved. Scopus® is a registered trademark of Elsevier B.V.

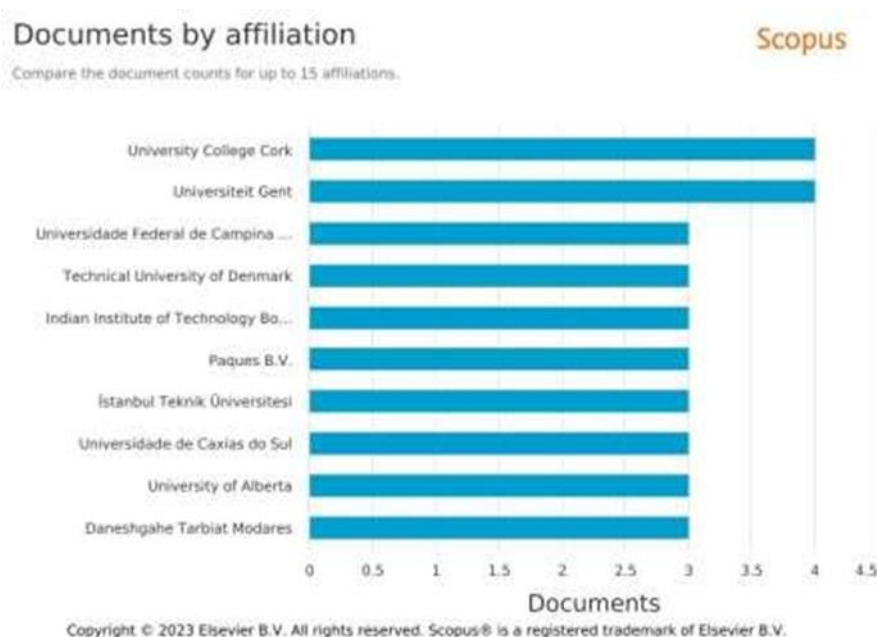
**Figura 14.** Principales países que publican sobre la temática.

La figura 15 destaca a los investigadores o autores más prolíficos y relevantes en la producción científica sobre la temática de estudio. Identificar a los principales líderes de opinión en este campo de estudio permite conocer las principales fuentes de conocimiento y expertos, así como las posibles redes de colaboración entre autores.



**Figura 15.** Principales autores en el estudio sobre la temática.

El análisis de las principales instituciones involucradas en esta línea de investigación ayuda a identificar los centros de excelencia y los posibles líderes en el desarrollo de conocimiento en esta área. La figura 16, muestra las instituciones académicas o universidades que han sido más activas y productivas en la investigación relacionada con la optimización multicriterio aplicada al diseño de Sistemas de Biorreactores Anaerobios de Flujo Ascendente (UASB).



**Figura 16.** Universidades más productivas en las temáticas de las fuentes consultadas.

Durante el estudio bibliométrico, se ha observado la falta de correlación entre la optimización multicriterio y el diseño de Sistemas de Biorreactores Anaerobios de Flujo Ascendente (UASB). La escasez de investigación sobre este tema subraya la necesidad de desarrollar futuras líneas de investigaciones interdisciplinarias y multidisciplinarias, con enfoque en la innovación. Es crucial que

la comunidad científica reconozca la importancia de este enfoque para avanzar en el diseño y la aplicación práctica.

---

### **Discusión**

Los hallazgos del presente estudio resaltan la falta de una correlación directa entre la optimización multicriterio y el diseño de Sistemas de Biorreactores Anaerobios de Flujo Ascendente (UASB) en las bases de datos consultadas. Esta falta de relación identificada en las fuentes consultadas indica que la intersección de estos dos temas aún no ha sido ampliamente estudiada o documentada en dichas bases de datos. Esta brecha en el conocimiento representa una importante oportunidad para promover y desarrollar futuras líneas de investigación en esta área particular. Dada la crucial importancia de los UASB en los procesos de tratamiento de aguas residuales, y la reconocida capacidad de la optimización multicriterio para abordar situaciones complejas con múltiples objetivos, la aplicación de estas técnicas podría ofrecer importantes beneficios para maximizar la eficiencia y sostenibilidad de estos sistemas.

Factores clave como la remoción de contaminantes, la minimización de subproductos y la optimización de la producción y calidad del biogás podrían verse significativamente mejorados al explorar la relación entre la optimización multicriterio y el diseño de UASB. Este campo de estudio representa una oportunidad única para avanzar en la eficiencia de los procesos de tratamiento de aguas residuales y disminuir los niveles de contaminantes a la atmósfera. Considerando la eficiencia y sostenibilidad como factores clave en el diseño y operación de los UASB, la aplicación de técnicas de optimización multicriterio podría ofrecer oportunidades para maximizar la remoción de contaminantes, minimizar la producción de subproductos indeseables y maximizar la producción y calidad del biogás generado. Por lo tanto, explorar la relación entre la optimización multicriterio y el diseño de UASB puede abrir perspectivas interesantes para mejorar la eficiencia y el rendimiento de estos sistemas.

---

### **Conclusiones**

No se encontró una correlación directa entre la optimización multicriterio y el diseño de Sistemas de Biorreactores Anaerobios de Flujo Ascendente (UASB).

La ausencia de investigación específica sobre la optimización multicriterio aplicada al diseño de UASB resalta la existencia de brechas importantes en el conocimiento científico, necesitando una promoción y desarrollo futuro de líneas de investigación en esta área particular.

La importancia del tema radica en la optimización y mejora continua de los procesos de tratamiento



de aguas residuales, donde los Sistemas de Biorreactores Anaerobios de Flujo Ascendente (UASB) desempeñan un papel crucial. La optimización multicriterio, por su parte, proporciona un marco teórico y metodológico para la toma de decisiones en situaciones complejas que involucran múltiples objetivos.

Falta evidencia de correlación directa entre la optimización multicriterio y el diseño de Sistemas de Biorreactores Anaerobios de Flujo Ascendente (UASB) en las bases de datos consultadas, destaca la existencia de brechas en la investigación científica y apunta hacia futuras líneas de investigación para comprender y aprovechar el potencial de la optimización en el diseño de UASB.

**Agradecimientos:** se extiende el agradecimiento al profesor MSc. Luis Enrique García Marrero por el apoyo en la búsqueda de información de la plataforma SCOPUS y a los investigadores del Centro de Estudios CAD-CAM de la facultad de Ingeniería de la Universidad de Holguín por el apoyo recibido en el desarrollo del presente trabajo.

**Conflictos de intereses:** los autores declaran no tener conflictos de intereses

---

## Referencias

1. Solano López, E., Castellanos Quintero, S., López Rodríguez del Rey, M. & Hernández Fernández,
2. J. La bibliometría: una herramienta eficaz para evaluar la actividad científica postgraduada. *MediSur* 7, 59–62 (2009).
3. Muñoz-Estrada, G. K. et al. Análisis bibliométrico de la producción científica mundial sobre el aula invertida en la educación médica. *Educ. Médica* 23, 100758 (2022).
4. García-Villar, C. & García-Santos, J. M. Indicadores bibliométricos para evaluar la actividad científica. *Radiología* 63, 228–235 (2021).
5. Estrada-Cuzcano, A. & Bautista-Ynofuente, L. Análisis y visualización de datos en estudios bibliométricos | Biblioteca Nacional de España. <https://www.bne.es/es/blog/biblioteconomia/analisis-visualizacion-datos-estudios-bibliometricos-0> (2022).
6. Tilley, E. Reactor anaerobio de flujo ascendente | SSWM - Find tools for sustainable sanitation and water management! <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de/tecnologias-de-saneamiento/tratamiento-semi-centralizado/reactor-anaerobio-de-flujo-ascendente> (2018).
7. Baâti, S., Benyoucef, F., Makan, A., El Bouadili, A. & El Ghmari, A. A Cost-Effective Strategy for Leachate Treatment Optimization: Biostimulation Using Carob Powder as Co-substrate. *Int. J. Environ. Res.* 15, 535–541 (2021).
8. Ngwenya, N., Gaszynski, C. & Ikumi, D. A review of winery wastewater treatment: A focus on

- UASBbiotechnology optimisation and recovery strategies. *J. Environ. Chem. Eng.* 10, (2022).
9. Montes, J. A., Leivas, R., Martínez-Prieto, D. & Rico, C. Biogas production from the liquid waste of distilled gin production: Optimization of UASB reactor performance with increasing organic loading rate for co-digestion with swine wastewater. *Bioresour. Technol.* 274, 43–47 (2019).
  10. Goretti, M. Guías de la BUMA: Evaluación de la actividad investigadora: Acreditación y Sexenios: Bibliometría. <https://biblioguias.uma.es/Bibliometria/Presentacion> (2023).
  11. Chatterjee, P., Ghangrekar, M. M. & Rao, S. Organic matter and nitrogen removal in a hybrid upflow anaerobic sludge blanket - Moving bed biofilm and rope bed biofilm reactor. *J. Environ. Chem. Eng.* 4, 3240–3245 (2016).
  12. Yu, H.-Q. & Mu, Y. Biological hydrogen production in a UASB reactor with granules. II: Reactor performance in 3-year operation. *Biotechnol. Bioeng.* 94, 988–995 (2006).
  13. Enitan, A. M., Adeyemo, J., Oluwatosin Olofintoye, O., Bux, F. & Swalaha, F. M. Multi-objective optimization of methane producing UASB reactor using a combined pareto multi-objective differential evolution algorithm (CPMDE). *Adv. Intell. Syst. Comput.* 288, 321–334 (2014).
  14. Yangin-Gomec, C. & Engiz, G. Anaerobic treatment of propylene glycol-contaminated domestic wastewater and microbial community profile at threshold ratio. *Heliyon* 7, (2021).
  15. Bhunia, P. & Ghangrekar, M. M. Simulation of granulation index and its utility for predicting percentage granules in UASB reactors. *World Rev. Sci. Technol. Sustain. Dev.* 6, 127–143 (2009).
  16. Mu, Y. & Yu, H.-Q. Simulation of biological hydrogen production in a UASB reactor using neural network and genetic algorithm. *Int. J. Hydrog. Energy* 32, 3308–3314 (2007).

*/ Received: 23 May 2024 | Accepted: 10 June 2024 | Published: 15 June 2024 |*

**Citation:** Borrero Neningen, J. C., Simeón Monet, R. E., Arzola Ruiz, J., Saraiba Nuñez, L. I., & Torres Sainz, R. (2024). Análisis bibliométrico para identificar brechas en la literatura científica sobre la innovación y el diseño óptimo multicriterio de biorreactores anaeróbico de flujo ascendente (UASB). *Bionatura*, 9(2). DOI: <http://dx.doi.org/10.21931/RB/2024.09.02.12>  
DOI: <http://dx.doi.org/10.21931/RB/2024.09.02.6>

**Peer review information:** Bionatura thanks the anonymous reviewers for their contribution to the peer review of this work using <https://reviewerlocator.webofscience.com/>.

All articles published by Bionatura Journal are freely and permanently accessible online immediately after publication, without subscription charges or registration barriers.

**Publisher's Note:** Bionatura stays neutral concerning jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

**Copyright:** © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).