

Ciência e Tecnologia

Para o Desenvolvimento
Ambiental, Cultural
e Socioeconômico

Xosé Somoza Medina
(organizador)

VOL VIII

 EDITORA
ARTEMIS
2026

Ciência e Tecnologia

Para o Desenvolvimento
Ambiental, Cultural
e Socioeconômico

Xosé Somoza Medina
(organizador)



VOL VIII

 EDITORA
ARTEMIS
2026



O conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons Atribuição-Não-Comercial NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0). Direitos para esta edição cedidos à Editora Artemis pelos autores.

Permitido o download da obra e o compartilhamento, desde que sejam atribuídos créditos aos autores, e sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

A responsabilidade pelo conteúdo dos artigos e seus dados, em sua forma, correção e confiabilidade é exclusiva dos autores. A Editora Artemis, em seu compromisso de manter e aperfeiçoar a qualidade e confiabilidade dos trabalhos que publica, conduz a avaliação cega pelos pares de todos manuscritos publicados, com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

Editora Chefe	Prof. ^a Dr. ^a Antonella Carvalho de Oliveira
Editora Executiva	M. ^a Viviane Carvalho Mocellin
Direção de Arte	M. ^a Bruna Bejarano
Diagramação	Elisangela Abreu
Organizador	Prof. Dr. Xosé Somoza Medina
Imagem da Capa	peacestock/123RF
Bibliotecário	Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

Conselho Editorial

Prof.^a Dr.^a Ada Esther Portero Ricol, *Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría”*, Cuba
Prof. Dr. Adalberto de Paula Paranhos, Universidade Federal de Uberlândia, Brasil
Prof. Dr. Agustín Olmos Cruz, *Universidad Autónoma del Estado de México*, México
Prof.^a Dr.^a Amanda Ramalho de Freitas Brito, Universidade Federal da Paraíba, Brasil
Prof.^a Dr.^a Ana Clara Monteverde, *Universidad de Buenos Aires*, Argentina
Prof.^a Dr.^a Ana Júlia Viamonte, Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), Portugal
Prof. Dr. Ángel Mujica Sánchez, *Universidad Nacional del Altiplano*, Peru
Prof.^a Dr.^a Angela Ester Mallmann Centenaro, Universidade do Estado de Mato Grosso, Brasil
Prof.^a Dr.^a Begoña Blandón González, *Universidad de Sevilla*, Espanha
Prof.^a Dr.^a Carmen Pimentel, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil
Prof.^a Dr.^a Catarina Castro, Universidade Nova de Lisboa, Portugal
Prof.^a Dr.^a Cirila Cervera Delgado, *Universidad de Guanajuato*, México
Prof.^a Dr.^a Cláudia Neves, Universidade Aberta de Portugal
Prof.^a Dr.^a Cláudia Padovesi Fonseca, Universidade de Brasília-DF, Brasil
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos, Universidade Federal da Grande Dourados, Brasil
Dr. Cristo Ernesto Yáñez León – New Jersey Institute of Technology, Newark, NJ, Estados Unidos



Prof. Dr. David García-Martul, *Universidad Rey Juan Carlos de Madrid*, Espanha

Prof.^a Dr.^a Deuzimar Costa Serra, *Universidade Estadual do Maranhão*, Brasil

Prof.^a Dr.^a Dina Maria Martins Ferreira, *Universidade Estadual do Ceará*, Brasil

Prof.^a Dr.^a Edith Luévano-Hipólito, *Universidad Autónoma de Nuevo León*, México

Prof.^a Dr.^a Eduarda Maria Rocha Teles de Castro Coelho, *Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro*, Portugal

Prof. Dr. Eduardo Eugênio Spers, *Universidade de São Paulo (USP)*, Brasil

Prof. Dr. Eloi Martins Senhoras, *Universidade Federal de Roraima*, Brasil

Prof.^a Dr.^a Elvira Laura Hernández Carballido, *Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*, México

Prof.^a Dr.^a Emilas Darlene Carmen Lebus, *Universidad Nacional del Nordeste*, Argentina

Prof.^a Dr.^a Erla Mariela Morales Morgado, *Universidad de Salamanca*, Espanha

Prof. Dr. Ernesto Cristina, *Universidad de la República*, Uruguay

Prof. Dr. Ernesto Ramírez-Briones, *Universidad de Guadalajara*, México

Prof. Dr. Fernando Hitt, *Université du Québec à Montréal*, Canadá

Prof. Dr. Gabriel Díaz Cobos, *Universitat de Barcelona*, Espanha

Prof.^a Dr.^a Gabriela Gonçalves, *Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP)*, Portugal

Prof.^a Dr.^a Galina Gumovskaya – *Higher School of Economics*, Moscow, Russia

Prof. Dr. Geoffroy Roger Pointer Malpass, *Universidade Federal do Triângulo Mineiro*, Brasil

Prof.^a Dr.^a Gladys Esther Leoz, *Universidad Nacional de San Luis*, Argentina

Prof.^a Dr.^a Glória Beatriz Álvarez, *Universidad de Buenos Aires*, Argentina

Prof. Dr. Gonçalo Poeta Fernandes, *Instituto Politécnico da Guarda*, Portugal

Prof. Dr. Gustavo Adolfo Juarez, *Universidad Nacional de Catamarca*, Argentina

Prof. Dr. Guillermo Julián González-Pérez, *Universidad de Guadalajara*, México

Prof. Dr. Håkan Karlsson, *University of Gothenburg*, Suécia

Prof.^a Dr.^a Iara Lúcia Tescarollo Dias, *Universidade São Francisco*, Brasil

Prof.^a Dr.^a Isabel del Rosario Chiyon Carrasco, *Universidad de Piura*, Peru

Prof.^a Dr.^a Isabel Yohena, *Universidad de Buenos Aires*, Argentina

Prof. Dr. Ivan Amaro, *Universidade do Estado do Rio de Janeiro*, Brasil

Prof. Dr. Iván Ramon Sánchez Soto, *Universidad del Bío-Bío*, Chile

Prof.^a Dr.^a Ivânia Maria Carneiro Vieira, *Universidade Federal do Amazonas*, Brasil

Prof. Me. Javier Antonio Albornoz, *University of Miami and Miami Dade College*, Estados Unidos

Prof. Dr. Jesús Montero Martínez, *Universidad de Castilla - La Mancha*, Espanha

Prof. Dr. João Manuel Pereira Ramalho Serrano, *Universidade de Évora*, Portugal

Prof. Dr. Joaquim Júlio Almeida Júnior, *UniFIMES - Centro Universitário de Mineiros*, Brasil

Prof. Dr. Jorge Ernesto Bartolucci, *Universidad Nacional Autónoma de México*, México

Prof. Dr. José Cortez Godinez, *Universidad Autónoma de Baja California*, México

Prof. Dr. Juan Carlos Cancino Diaz, *Instituto Politécnico Nacional*, México

Prof. Dr. Juan Carlos Mosquera Feijoo, *Universidad Politécnica de Madrid*, Espanha

Prof. Dr. Juan Diego Parra Valencia, *Instituto Tecnológico Metropolitano de Medellín*, Colômbia

Prof. Dr. Juan Manuel Sánchez-Yáñez, *Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*, México

Prof. Dr. Juan Porras Pulido, *Universidad Nacional Autónoma de México*, México

Prof. Dr. Júlio César Ribeiro, *Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro*, Brasil

Prof. Dr. Leinig Antonio Perazolli, *Universidade Estadual Paulista (UNESP)*, Brasil

Prof.^a Dr.^a Lúvia do Carmo, *Universidade Federal de Goiás*, Brasil

Prof.^a Dr.^a Luciane Spanhol Bordignon, *Universidade de Passo Fundo*, Brasil

Prof. Dr. Luis Fernando González Beltrán, *Universidad Nacional Autónoma de México*, México

Prof. Dr. Luis Vicente Amador Muñoz, *Universidad Pablo de Olavide*, Espanha

Prof.^a Dr.^a Macarena Esteban Ibáñez, *Universidad Pablo de Olavide*, Espanha

Prof. Dr. Manuel Ramiro Rodriguez, *Universidad Santiago de Compostela*, Espanha

Prof. Dr. Manuel Simões, *Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto*, Portugal

Prof.^a Dr.^a Márcia de Souza Luz Freitas, *Universidade Federal de Itajubá*, Brasil

Prof. Dr. Marcos Augusto de Lima Nobre, *Universidade Estadual Paulista (UNESP)*, Brasil

Prof. Dr. Marcos Vinicius Meiado, *Universidade Federal de Sergipe*, Brasil

Prof.^a Dr.^a Mar Garrido Román, *Universidad de Granada*, Espanha

Prof.^a Dr.^a Margarida Márcia Fernandes Lima, *Universidade Federal de Ouro Preto*, Brasil

Prof.^a Dr.^a María Alejandra Arecco, *Universidad de Buenos Aires*, Argentina

Prof.^a Dr.^a Maria Aparecida José de Oliveira, *Universidade Federal da Bahia*, Brasil

Prof.^a Dr.^a Maria Carmen Pastor, *Universitat Jaume I*, Espanha

Prof.^a Dr.^a Maria da Luz Vale Dias – *Universidade de Coimbra*, Portugal

Prof.^a Dr.^a Maria do Céu Caetano, *Universidade Nova de Lisboa*, Portugal

Prof.^a Dr.^a Maria do Socorro Saraiva Pinheiro, *Universidade Federal do Maranhão*, Brasil

Prof.^a Dr.^a M^a Graça Pereira, *Universidade do Minho*, Portugal

Prof.^a Dr.^a Maria Gracinda Carvalho Teixeira, *Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro*, Brasil

Prof.^a Dr.^a María Guadalupe Vega-López, *Universidad de Guadalajara*, México

Prof.^a Dr.^a Maria Lúcia Pato, *Instituto Politécnico de Viseu*, Portugal

Prof.^a Dr.^a Maritza González Moreno, *Universidad Tecnológica de La Habana*, Cuba

Prof.^a Dr.^a Mauriceia Silva de Paula Vieira, *Universidade Federal de Lavras*, Brasil

Prof. Dr. Melchor Gómez Pérez, *Universidad del Pais Vasco*, Espanha

Prof.^a Dr.^a Ninfa María Rosas-García, *Centro de Biotecnología Genómica-Instituto Politécnico Nacional*, México

Prof.^a Dr.^a Odara Horta Boscolo, *Universidade Federal Fluminense*, Brasil

Prof. Dr. Osbaldo Turpo-Gebera, *Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa*, Peru

Prof.^a Dr.^a Patrícia Vasconcelos Almeida, *Universidade Federal de Lavras*, Brasil

Prof.^a Dr.^a Paula Arcoverde Cavalcanti, *Universidade do Estado da Bahia*, Brasil

Prof. Dr. Rodrigo Marques de Almeida Guerra, *Universidade Federal do Pará*, Brasil

Prof. Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares, *Universidade Federal do Piauí*, Brasil

Prof. Dr. Sergio Bitencourt Araújo Barros, *Universidade Federal do Piauí*, Brasil

Prof. Dr. Sérgio Luiz do Amaral Moretti, *Universidade Federal de Uberlândia*, Brasil

Prof.^a Dr.^a Silvia Inés del Valle Navarro, *Universidad Nacional de Catamarca*, Argentina

Prof.^a Dr.^a Solange Kazumi Sakata, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN)- USP, Brasil

Prof.^a Dr.^a Stanislava Kashtanova, *Saint Petersburg State University*, Russia

Prof.^a Dr.^a Susana Álvarez Otero – Universidad de Oviedo, Espanha

Prof.^a Dr.^a Teresa Cardoso, Universidade Aberta de Portugal

Prof.^a Dr.^a Teresa Monteiro Seixas, Universidade do Porto, Portugal

Prof. Dr. Valter Machado da Fonseca, Universidade Federal de Viçosa, Brasil

Prof.^a Dr.^a Vanessa Bordin Viera, Universidade Federal de Campina Grande, Brasil

Prof.^a Dr.^a Vera Lúcia Vasilévski dos Santos Araújo, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil

Prof. Dr. Wilson Noé Garcés Aguilar, *Corporación Universitaria Autónoma del Cauca*, Colômbia

Prof. Dr. Xosé Somoza Medina, *Universidad de León*, Espanha

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

C569 Ciência e tecnologia para o desenvolvimento ambiental, cultural e socioeconômico VIII [livro eletrônico] / Organizador Xosé Somoza Medina. – Curitiba, PR: Artemis, 2026.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

Edição bilíngue

ISBN 978-65-81701-90-1

DOI 10.37572/EdArt_250326901

1. Desenvolvimento sustentável. 2. Tecnologia – Aspectos ambientais. I. Somoza Medina, Xosé.

CDD 363.7

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422



PRÓLOGO

El presente volumen de ***Ciencia y Tecnología para el Desarrollo Ambiental, Cultural y Socioeconómico*** reúne un conjunto diverso de trabajos que reflejan, desde distintas miradas, la importancia de la ciencia y la tecnología en la comprensión y transformación de los contextos actuales. A lo largo de sus páginas, se percibe un interés común por vincular el conocimiento con la realidad, abordando problemáticas concretas y proponiendo caminos posibles para su análisis y mejora.

Con el propósito de facilitar la lectura y dar coherencia al conjunto, los trabajos han sido organizados en dos grandes ejes, que dialogan entre sí: ciencia y tecnología. Esta división no pretende establecer fronteras rígidas, sino más bien destacar dos dimensiones complementarias del conocimiento.

En el eje de ciencia se reúnen investigaciones que parten de la observación, el análisis y la comprensión de fenómenos naturales, ambientales y sociales. Los estudios aquí incluidos abordan cuestiones como la producción agrícola, la microbiología, el emplazamiento urbano, la contaminación ambiental y la calidad de los ecosistemas, así como reflexiones sobre los fundamentos teóricos que han acompañado el desarrollo del pensamiento científico y económico. En conjunto, estos trabajos permiten dimensionar la relevancia del conocimiento científico como base para la toma de decisiones y la construcción de soluciones sostenibles.

Por su parte, el eje de tecnología concentra contribuciones orientadas al diseño, la aplicación y la innovación. Se presentan propuestas que van desde el desarrollo de dispositivos y sistemas técnicos hasta las tecnologías de tratamiento de aguas residuales industriales o el uso de herramientas digitales en contextos educativos, pasando por análisis vinculados al impacto de las tecnologías en la sociedad contemporánea. En este sentido, los trabajos evidencian cómo la tecnología no solo responde a necesidades concretas, sino que también transforma las formas de interacción, aprendizaje y producción de conocimiento.

En conjunto, este volumen pone de manifiesto que ciencia y tecnología no pueden pensarse de manera aislada. Ambas se entrelazan constantemente, nutriéndose mutuamente y contribuyendo al desarrollo ambiental, cultural y socioeconómico. Más allá de sus diferencias, comparten un mismo propósito: generar conocimiento significativo y aplicable, capaz de dialogar con los desafíos de nuestro tiempo.

Se trata, en definitiva, de una obra que invita a una lectura atenta y abierta, reconociendo la riqueza de enfoques y la diversidad de contextos desde los cuales se produce conocimiento.

Xosé Somoza Medina

Universidad de León, España

SUMÁRIO

CIÊNCIA: ESTUDOS AMBIENTAIS, NATURAIS E SOCIOECONÔMICOS

CAPÍTULO 1..... 1

EVALUACIÓN DEL MAÍZ CRIOLLO POZOLERO DEL ESTADO DE MICHOACÁN EN EL MUNICIPIO DE ZUMPANGO, ESTADO DE MÉXICO

José Luis Gutiérrez Liñán

Carmen Aurora Niembro Gaona

Alfredo Medina García

Oscar Arce Cervantes

Luis Felipe Ramírez Santoyo

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2503269011

CAPÍTULO 2..... 11

CARACTERIZACIÓN DE MICROORGANISMOS BENÉFICOS EN LA HUERTA DE LA TECNOACADEMIA FIJA ARAUCA, PARA ELABORACIÓN DE LAMINARIO DE MICROORGANISMOS

Juan Carlos Llanes Carvajal

Miller Sánchez Balaguera

Andrea Catalina Escalante Rico

Omar Andrés Sánchez Monroy

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2503269012

CAPÍTULO 3..... 20

ESTUDIO DEL VERTIMIENTO DE ACEITES RESIDUALES EN LA CALIDAD DEL SUELO EN TALLERES AUTOMOTRICES DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE

Serapio Agapito Quillos Ruiz

Nelver Javier Escalante Espinoza

Luis Carlos Calderon Rodríguez

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2503269013

CAPÍTULO 4..... 35

EL NIVEL DE RUIDO AMBIENTAL EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA – NUEVO CHIMBOTE

Serapio Agapito Quillos Ruiz

Nelver Javier Escalante Espinoza

Luis Carlos Calderon Rodríguez

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2503269014

CAPÍTULO 5.....55

MÉTODO DE EMPLAZAMIENTO URBANO

Liliana Eneida Sánchez-Platas

Celia Bertha Reyes-Espinoza

Víctor Manuel Cruz Martínez

Alejandra Velarde Galván

Olivia Allende-Hernández

Rebeca Hernández

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2503269015

CAPÍTULO 6..... 66

LA MATEMÁTICA EN LA HISTORIA DEL PENSAMIENTO ECONÓMICO: UN BREVE RECuento A CONSIDERAR

Braulio Melchor-Acevedo

Raúl Eleazar Arias-Sánchez

Ronald César Cárdenas-Arango

Wilfredo Paco-Huamani

Delfor Ángel Chávez-Solano

Jhonatan Cardenas-Areche

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2503269016

TECNOLOGIA: INOVAÇÃO, ENGENHARIA E APLICAÇÕES EDUCATIVAS

CAPÍTULO 7.....75

SELECCIÓN DE UNA CÁMARA DE DESHIDRATACIÓN BASADA EN EL ANÁLISIS NUMÉRICO

José Michael Cruz García

Jorge Bedolla Hernández

Vicente Flores Lara

Marcos Bedolla Hernández

Alejandro Zacarías Santiago

Brian Manuel González Contreras

Jorge Aguilar Vázquez

Nicolás Iván Román Roldán

Efrén Sánchez Flores

Ángel Paleta Blancas

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2503269017

CAPÍTULO 8..... 88

TOWARDS SELF-SUFFICIENCY: COGENERATION OPPORTUNITIES FOR THE HOTEL INDUSTRY IN PUERTO RICO

Luis Guzmán Ceballos

Amaury Malave Sanabria

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2503269018

CAPÍTULO 9..... 100

LA ADSORCIÓN COMO TECNOLOGÍA PREDOMINANTE PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA

Walter Manuel Hoyos Alayo

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2503269019

CAPÍTULO 10..... 124

DIGITAL TECHNOLOGIES AND THE EMERGENCE OF HARASSMENT, HATE SPEECH, AND CRIMINAL BEHAVIOR

Patricia Rodríguez Llanes

Gabriel Mendoza Morales

Blanca Aurelia Valenzuela

 https://doi.org/10.37572/EdArt_25032690110

CAPÍTULO 11..... 151

PROGRAMACIÓN WEB, PROYECTOS Y PENSAMIENTO CREATIVO: UNA EXPERIENCIA EDUCATIVA EXITOSA

Patricia Quítl González

Miguel Ángel Herrera Hernández

Concepción Nava Arteaga

Elda Rosario Ruíz

Javier Contreras Ruíz

Laura Martínez Hernández

 https://doi.org/10.37572/EdArt_25032690111

CAPÍTULO 12..... 168

FORTALECIENDO LA EDUCACIÓN EN INSTITUCIONES OFICIALES DE EDUCACIÓN BÁSICA Y MEDIA DE TUNJA CON APOYO EN LMS GRATUITAS

Jairzinio Barón Rodríguez

David Fernando Bernal Bolívar

 https://doi.org/10.37572/EdArt_25032690112

CAPÍTULO 13 181

MOBILE DEVICE USE IN THE DEVELOPMENT OF RESEARCH SKILLS IN STUDENTS
AT A PUBLIC UNIVERSITY IN THE CAJAMARCA REGION

Juan de Dios Aguilar Sánchez

 https://doi.org/10.37572/EdArt_25032690113

SOBRE O ORGANIZADOR..... 201

ÍNDICE REMISSIVO202

CAPÍTULO 9

LA ADSORCIÓN COMO TECNOLOGÍA PREDOMINANTE PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA¹

Data de submissão: 06/03/2026

Data de aceite: 19/03/2026

Walter Manuel Hoyos Alayo

Universidad Tecnológica del Perú

Departamento de Investigación

Chiclayo – Lambayeque – Perú

<https://orcid.org/0000-0002-8683-1635>

RESUMEN: El tratamiento de aguas residuales industriales es un problema ambiental crítico debido al aumento de contaminantes químicos y biológicos generados por la creciente industrialización, lo que ha derivado en la necesidad urgente de soluciones eficientes. El presente artículo tiene como objetivo analizar críticamente la adsorción como una tecnología predominante en el tratamiento de estos efluentes, evaluando su efectividad, sostenibilidad y viabilidad frente a los métodos convencionales. La investigación se llevó a cabo a través de una revisión sistemática de la literatura científica, utilizando la base de datos Scopus, aplicando la metodología PICOC y el método PRISMA para seleccionar estudios relevantes publicados entre 2017 y 2024. Los

principales resultados indican que la adsorción es altamente eficiente para eliminar diversos contaminantes, incluidos metales pesados, colorantes y compuestos orgánicos, con eficiencias de hasta el 100% en algunos casos, siendo los adsorbentes más efectivos el carbón activado, las zeolitas y los biosorbentes. Las conclusiones señalan que la adsorción es una tecnología versátil y operativamente sencilla, lo que la hace atractiva para industrias con recursos limitados; sin embargo, enfrenta desafíos como el costo de los adsorbentes y la necesidad de regeneración, lo que impulsa la investigación hacia el desarrollo de materiales más eficientes y sostenibles.

PALABRAS CLAVE: adsorción; bioadsorbente; aguas residuales industriales; remoción contaminantes; sostenibilidad en el tratamiento de aguas.

ADSORPTION AS A PREDOMINANT
TECHNOLOGY FOR INDUSTRIAL
WASTEWATER TREATMENT: A
SYSTEMATIC REVIEW

ABSTRACT: The treatment of industrial wastewater is a critical environmental problem due to the increase of chemical and biological pollutants generated by growing industrialisation, which has led to an urgent need for efficient solutions. This article aims to critically analyse adsorption as a predominant technology in the treatment of these effluents, evaluating its effectiveness, sustainability and

¹ 23rd LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: "Engineering, Artificial Intelligence, and Sustainable Technologies in service of society". Hybrid Event, Mexico City, July 16 - 18, 2025.

feasibility compared to conventional methods. The research was carried out through a systematic review of the scientific literature, using the Scopus database, applying the PICOC methodology and the PRISMA method to select relevant studies published between 2017 and 2024. The main results indicate that adsorption is highly efficient in removing various pollutants, including heavy metals, dyes and organic compounds, with efficiencies of up to 100% in some cases, the most effective adsorbents being activated carbon, zeolites and biosorbents. The findings indicate that adsorption is a versatile and operationally simple technology, which makes it attractive for resource-constrained industries; however, it faces challenges such as the cost of adsorbents and the need for regeneration, which drives research towards the development of more efficient and sustainable materials.

KEYWORDS: adsorption; bioadsorbent; industrial wastewater; pollutant removal; sustainability in water treatment.

1. INTRODUCCIÓN

El tratamiento de aguas residuales industriales representa uno de los mayores desafíos ambientales de la actualidad (Ahmaruzzaman et al., 2023); la creciente industrialización ha resultado en un aumento significativo de los efluentes industriales, que contienen una amplia gama de contaminantes químicos y biológicos (Saleh, 2024); por ello, la disposición inadecuada de estas aguas residuales puede causar serios problemas de salud pública y daños irreparables al medio ambiente (Y. Wang et al., 2021). En este contexto, la adsorción ha emergido como una tecnología predominante y efectiva para la remoción de contaminantes de las aguas residuales industriales (Moges et al., 2022); este proceso, se basa en la capacidad de ciertos materiales para retener contaminantes en sus superficies (Persano et al., 2024), ofreciendo una solución prometedora debido a su alta eficiencia y adaptabilidad a diferentes tipos de contaminantes (Lin et al., 2023).

A pesar de los avances tecnológicos en el tratamiento de aguas residuales, muchos métodos tradicionales presentan limitaciones significativas en términos de costo, eficiencia y sostenibilidad (Yan et al., 2021); por ello, los tratamientos convencionales, como la coagulación-floculación, la precipitación química y la filtración, a menudo no logran eliminar completamente ciertos contaminantes, como los metales pesados (Gahrouei et al., 2024), los compuestos orgánicos persistentes y los colorantes industriales (Ashraf et al., 2024); estos residuos no solo representan un riesgo para la salud humana y el medio ambiente, sino que también pueden dificultar el cumplimiento de las normativas ambientales cada vez más estrictas (Solanki et al., 2023). La persistencia de estos contaminantes en los cuerpos de agua puede provocar efectos adversos a largo plazo (Elshabrawy et al., 2023, incluyendo la bioacumulación en la cadena alimentaria (Gupta et al., 2022) y la degradación de los ecosistemas acuáticos (Dakhly et al., 2024).

Así mismo, los métodos tradicionales de tratamiento de aguas residuales industriales suelen requerir inversiones significativas en infraestructura y mantenimiento (Galloni et al., 2022), lo que puede ser prohibitivo para muchas industrias, especialmente en regiones en desarrollo (Paredes-Quevedo et al., 2021); además, la ineficiencia de estos métodos en términos de remoción de contaminantes específicos y la generación de subproductos secundarios que también requieren tratamiento adicional son problemas críticos que necesitan ser abordados (Roy, 2022); por lo tanto, es crucial identificar y optimizar tecnologías de tratamiento más eficaces, sostenibles y económicamente viables (Lv et al., 2024). En ese sentido, la adsorción, con su capacidad para eliminar una amplia variedad de contaminantes, se presenta como una alternativa viable que puede superar las limitaciones de los métodos convencionales y otras tecnologías (Saini et al., 2024).

La adsorción es una tecnología versátil que puede ser aplicada a diferentes tipos de aguas residuales industriales, ofreciendo una solución adaptable a los desafíos específicos de cada industria (Medeiros et al., 2022); a su vez, el desarrollo de nuevos materiales adsorbentes y la optimización de los existentes pueden mejorar significativamente la eficiencia del tratamiento (Haider et al., 2024); en ese sentido, materiales como el carbón activado, las zeolitas y los materiales nanoestructurados han demostrado una alta capacidad de adsorción para diversos contaminantes, lo que subraya el potencial de esta tecnología para abordar problemas de contaminación complejos y variados (Teow et al., 2019); (Melaibari et al., 2023); (Saleh, 2024).

Además, la adsorción es una tecnología relativamente simple que puede ser implementada con menores costos operativos en comparación con otras tecnologías avanzadas (Solanki et al., 2023), como la oxidación avanzada y la membrana de filtración (Nguyen et al., 2022); esta simplicidad operativa hace que la adsorción sea una opción atractiva para las industrias en regiones donde los recursos técnicos y financieros son limitados (Singh et al., 2022).

Este manuscrito describe, en primer lugar, la metodología utilizada para realizar la revisión sistemática, incluyendo las estrategias de búsqueda, los criterios de inclusión y exclusión, y el proceso de selección de artículos. Así también, se presenta una revisión de la literatura sobre la tecnología de adsorción y su aplicación en el tratamiento de aguas residuales industriales; en esta sección incluye una descripción detallada de los principios de la adsorción, los tipos de adsorbentes utilizados y los factores que influyen en la eficiencia del proceso. Posteriormente, se presentan y discuten los resultados obtenidos, destacando los hallazgos más relevantes sobre la eficiencia de diferentes adsorbentes y las condiciones óptimas para su uso. Finalmente, se ofrecen conclusiones y recomendaciones para futuras investigaciones en este campo.

En este contexto, se tiene por objetivo explorar y analizar críticamente la adsorción como tecnología predominante en el tratamiento de aguas residuales industriales, buscando proporcionar una visión exhaustiva de los avances más recientes en este campo, evaluando la eficiencia, sostenibilidad y viabilidad de diversas metodologías innovadoras. Asimismo, se pretende identificar las fortalezas y limitaciones, destacando su potencial para superar los desafíos actuales. Para alcanzar estos objetivos, se investigará la evolución de las publicaciones científicas a lo largo de los años, se identificarán los países con mayor cantidad de publicaciones y las áreas de investigación asociadas al tema; además, se analizarán las instituciones que contribuyen al desarrollo de estas tecnologías emergentes, así como la co-ocurrencia y evolución de palabras clave relevantes en la literatura.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. ESTRATEGIA DE BÚSQUEDA Y SELECCIÓN DE ARTÍCULOS

Se optó por un conjunto de palabras clave para cada elemento de la pregunta PICOC, aplicando el operador boleano (OR), ver Tabla I. Estos términos clave, estructurados en una fórmula de búsqueda, nos permitieron una exploración bibliográfica lógica en SCOPUS. Los estudios obtenidos como resultado de esta ecuación de búsqueda se revisaron y seleccionaron a partir de los siguientes criterios detallados en la Tabla II. Esto permitió la recuperación de 334 publicaciones científicas de Scopus (n = 334), los cuales fueron sometidos a un proceso de selección siguiendo los protocolos establecidos por PRISMA, ver Fig. 1, quedándose con 56 artículos. La representación gráfica y visualización de las redes bibliométricas de los datos obtenidos, se usó el software VOSviewer versión 1.6.20.

2.2. ECUACIÓN FINAL DE BÚSQUEDA

Realizadas las interacciones de búsqueda, se obtuvo la siguiente ecuación: (TITLE-ABS-KEY (contamination OR pollution OR “Water Contamination” OR “water pollution”) AND TITLE-ABS-KEY (“adsorption of pollutants” OR “adsorption of contaminants” OR “pollutant adsorption” OR “contaminant adsorption” OR adsorption) AND TITLE-ABS-KEY (“Efficiency of adsorbent materials” OR “Efficiency of adsorbents” OR “Adsorbent materials efficiency” OR “adsorbent materials” OR adsorbents) AND TITLE-ABS-KEY (“Physicochemical pollutant parameters” OR “Physicochemical parameters pollutants” OR “Physicochemical polluting parameters” OR “Physicochemical parameters

contaminants” OR “Pollutant parameters” OR “Contaminant parameters” OR “Polluting parameters” OR “contaminating parameters” OR pollutants OR contaminants) AND TITLE-ABS-KEY (“Industrial wastewater” OR “Industrial waste water”)) AND PUBYEAR > 2016 AND PUBYEAR < 2025 AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , “ar”)) AND (LIMIT-TO (PUBSTAGE , “final”)) AND (LIMIT-TO (OA , “all”)).

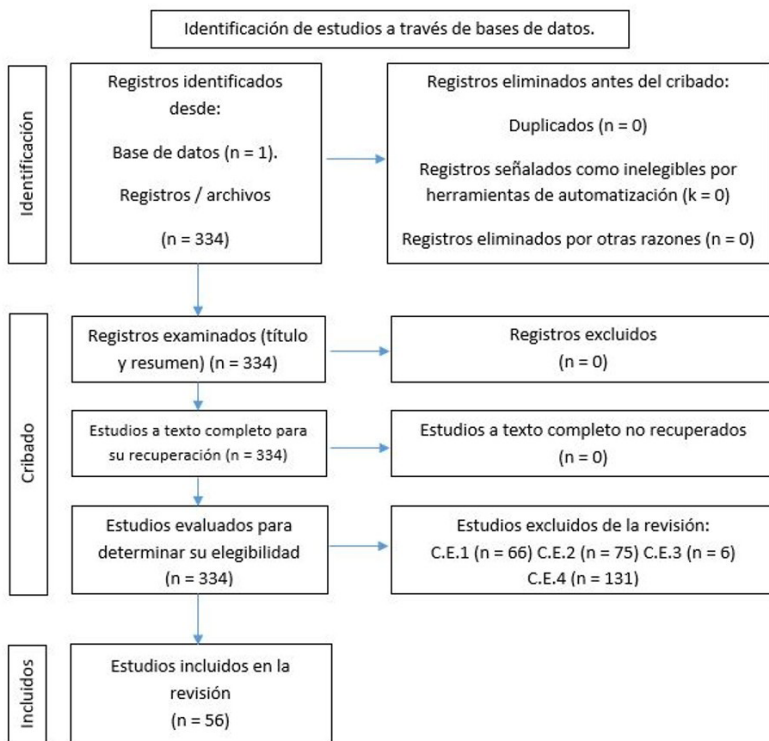
Tabla I. Palabras clave seleccionadas y sintaxis de búsqueda.

Componente	Descripción	Palabras Clave	Sintaxis de búsqueda
Problema	Contaminación del agua	Water Contaminationwater pollution.	Contamination OR Pollution OR “Water Contamination” OR “water pollution”
Intervención	Adsorción de contaminantes	Contaminant adsorption	“Contaminant adsorption” OR adsorption
Comparación	Eficiencia de los materiales adsorbentes	Adsorbent materials efficiency	“Adsorbent materials efficiency” OR “adsorbent materials” OR adsorbents
Resultado	Reducción de parámetros fisicoquímicos contaminantes.	Physicochemical polluting parameters.	“contaminating parameters” OR pollutants OR contaminants
Contexto	Aguas residuales Industriales.	Industrial wastewater.	“Industrial wastewater” OR “Industrial waste water”

Tabla II. Criterios de inclusión y exclusión para la búsqueda de literatura científica relevante.

Criterios de Inclusión	Criterios de Exclusión
C.I.1. Los estudios deben abordar el tratamiento de aguas residuales industriales.	C.E.1. Artículos publicados anteriores a 2017 y posteriores al 2024.
C.I.2. Los estudios deben detallar las eficiencias de las tecnologías aplicadas.	C.E.2. Tipo de publicación no corresponde a artículo.
C.I.3. Los estudios deben reportar resultados para cada parámetro contaminante.	C.E.3. Estado o etapa de publicación distinta a final.
	C.E.4. Artículos que no permitan un acceso libre.

Fig. 1. Resultados de las etapas del proceso de selección bibliográfica.



3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. ¿CUÁL ES EL PAPEL FUNDAMENTAL DE LA ADSORCIÓN COMO TECNOLOGÍA PREDOMINANTE PARA ABORDAR LOS DESAFÍOS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES?

La adsorción se ha consolidado como una tecnología clave en el tratamiento de aguas residuales industriales debido a su alta eficiencia en la eliminación de contaminantes (S. Wang et al., 2023); este proceso implica la adhesión de moléculas de soluto en una fase líquida a la superficie de un material sólido adsorbente, formando una capa de moléculas en su superficie (Myers et al., 2018), por esta razón, esta técnica es particularmente eficaz para eliminar contaminantes orgánicos e inorgánicos (Adel et al., 2023), incluidos metales pesados (Cheng et al., 2023), colorantes (Alfei et al., 2023), fenoles (RanguMagar et al., 2019) y compuestos orgánicos persistentes (Okonji et al., 2021); asimismo, la simplicidad operativa (H. Li et al., 2023), la capacidad de tratar grandes volúmenes de agua (Chung et al., 2022) y la adaptabilidad a diferentes tipos de contaminantes hacen que la adsorción sea una opción predominante en el tratamiento de aguas residuales industriales (Han et al., 2019).

3.2. ¿CUÁLES SON LOS FACTORES QUE AFECTAN LA ADSORCIÓN?

Varios factores influyen en la eficiencia del proceso de adsorción, incluyendo: (1) Naturaleza del adsorbente, la estructura porosa, el área superficial específica y la química de la superficie del adsorbente son determinantes críticos (Egbosiuba et al., 2021); en ese sentido, materiales como el carbón activado, zeolitas y biosorbentes muestran diferentes capacidades de adsorción dependiendo de sus propiedades físicas como densidad de microporos (S. Wang et al., 2023) y área superficial de los sitios activos (Koottatep et al., 2017), y químicas como hidrofobicidad e hidrofiliidad de los grupos funcionales en la superficie (Cheng et al., 2023), capacidad de intercambio iónico (Kumar et al., 2018) y pH de punto de carga cero (pHpzc) (Aguilar et al., 2020). (2) Características del adsorbato, la solubilidad, polaridad, tamaño molecular y concentración inicial del contaminante en el agua afectan significativamente la adsorción (Martín-Lara et al., 2020); (Okonji et al., 2021). (3) pH del medio, influye en la ionización de los contaminantes y la carga de la superficie del adsorbente, afectando la interacción entre adsorbente y adsorbato (Mancilla et al., 2023); (Cheng et al., 2023). (4) Temperatura, la adsorción generalmente es un proceso exotérmico (Bhaumik et al., 2021); por lo tanto, un aumento en la temperatura puede disminuir la capacidad de adsorción (Elsayed et al., 2020). (5) Tiempo de contacto; un tiempo de contacto adecuado permite que el equilibrio de adsorción se alcance, mejorando la eficiencia del proceso (Ilyas et al., 2021); (M'sakni & Alsufyani, 2021). (6) Presencia de otros contaminantes; la presencia de múltiples contaminantes puede generar competencia por los sitios de adsorción, afectando la capacidad total del adsorbente (B. Wang et al., 2023).

3.3. ¿QUÉ VENTAJAS Y DESVENTAJAS MUESTRAN LAS TECNOLOGÍAS EMERGENTES?

La adsorción se destaca como una de las tecnologías más eficientes para la remoción de parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales industriales, como se detalla en la Tabla III; esta tabla presenta un análisis comparativo de las eficiencias de diversos métodos de tratamiento, subrayando la capacidad superior de la adsorción, especialmente mediante el uso de materiales como carbón activado, zeolitas y biosorbentes, los cuales pueden alcanzar eficiencias de remoción de hasta el 100% para ciertos contaminantes (Emiliani et al., 2020; García-Valero et al., 2020; Q. Li et al., 2023; Umar et al., 2023); en comparación, tecnologías tradicionales como la coagulación-floculación y la filtración muestran limitaciones significativas en la eliminación de metales pesados y compuestos orgánicos persistentes (Kamali et al., 2019; Razzak et al., 2022)

(Alkhudhiri et al., 2020; Nippatlapalli & Philip, 2020; Smolyanichenko & Yakovleva, 2022); además, la versatilidad de la adsorción para adaptarse a diferentes matrices de aguas residuales industriales, junto con sus menores costos operativos, la convierte en una opción altamente atractiva para industrias con restricciones económicas (Ilyas et al., 2021; Montoya-Bautista et al., 2021; Yfantis et al., 2022); sin embargo, persisten desafíos importantes, como la necesidad de regenerar los adsorbentes y los costos asociados a su adquisición, los cuales limitan el aprovechamiento pleno de esta tecnología (Abdelbasir & Khalek, 2022a; Egbosiuba et al., 2021; Ilyas et al., 2021; Opafola et al., 2021); por lo tanto, aunque la adsorción se posiciona como una solución viable y sostenible en el tratamiento de aguas residuales, es fundamental implementar un enfoque equilibrado que contemple tanto sus fortalezas como sus limitaciones (Czarnecki et al., 2024; Hernández-Chover et al., 2024; Zeng et al., 2022).

El tratamiento de aguas residuales industriales, por su parte, continúa siendo un desafío crítico debido a su complejidad fisicoquímica y microbiológica, lo que exige la búsqueda constante de soluciones sostenibles para preservar el medio ambiente y proteger la salud pública (Wilschnack et al., 2024); asimismo, a pesar de los avances tecnológicos, muchas estrategias enfrentan dificultades para lograr niveles óptimos de eficiencia y, al mismo tiempo, mantener costos operativos bajos (Witt et al., 2024), (Singla et al., 2023); por ello, se requiere el desarrollo de alternativas más efectivas y rentables que permitan abordar la variabilidad intrínseca de este tipo de efluentes industriales (Yu et al., 2021), (Khilji et al., 2022), garantizando así una gestión ambientalmente responsable y económicamente factible.

3.4. ¿QUÉ VENTAJAS Y DESVENTAJAS TIENE LA APLICACIÓN DE LA ADSORCIÓN?

La adsorción ofrece varias ventajas en el tratamiento de aguas residuales: (1) Alta eficiencia y selectividad; capacidad de remover una amplia gama de contaminantes con alta eficacia (B. Wang et al., 2023); (Alfei et al., 2023). (2) Simplicidad operativa; no requiere infraestructura compleja ni procesos químicos intensivos (H. Li et al., 2023)t. (3) Flexibilidad para adaptarse a diferentes escalas de tratamiento y tipos de contaminantes (Irshad et al., 2023) ; (Alfei et al., 2023).

Sin embargo, también presenta desventajas que deben considerarse: (1) Costo, el uso de adsorbentes comerciales como el carbón activado puede ser costoso, especialmente para grandes volúmenes de agua (Ilyas et al., 2021); (Martín-Lara et al., 2020). (2) Generación de residuos; la necesidad de disponer o regenerar adsorbentes saturados puede crear desafíos adicionales (Elsayed et al., 2020); (Das et al., 2019). (3)

Capacidade limitada, em alguns casos, a capacidade de adsorção pode ser insuficiente para contaminantes altamente concentrados ou em presença de múltiplos contaminantes (Chung et al., 2022).

TABLA III. Descripción de las eficiencias de remoción para distintas sustancias contaminantes.

Autor	Tipo de Adsorbente	Contaminante	Eficiencia
(S. Wang et al., 2023)	Carbón poroso derivado de citrato de potasio.	Colorante azoico Rojo Congo (CR)	652,3 mg/g
(Mancilla et al., 2023)	Hojas de <i>Sambucus nigra</i> L.	Cr(VI)	98,22%
(Adel et al., 2023)	Poliestireno con nanoparticulas de hidróxido de cobalto.	Azul de metileno (MB)	75,2 mg/g
		Fe(III)	112,3 mg/g
(Abed & Belattar, 2023)	Harina de cáscara granada roja.	Cr(VI)	413,22 mg/g
(Cheng et al., 2023)	Lignito biotransformado.	Cu(II)	71,47 mg/g
(Lin et al., 2023)	Mg(OH) ₂ con una estructura similar a una pila porosa y monodispersa.	As(V)	100%
(Chong et al., 2023)	Biosorbentes derivados de desechos agrícolas.	Hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs)	92%
(Alfei et al., 2023)	Resinas catiónicas de 4-amonio metilo y estireno.	Naranja de metilo (MO)	100%
		Fluoresceína	100%
(B. Wang et al., 2023)	Microesferas de polisilsesquioxanos bifuncionales.	Hg(II)	100%
		Ag(I)	100%
(H. Li et al., 2023)	Material compuesto derivado de un líquido iónico y un marco orgánico metálico, [BMIM][PF6]/ZIF-8 (BP/Z).	CR	1463 mg/g
(Irshad et al., 2023)	Carbón activado de cáscara de aguacate.	DQO	100%
(Athari et al., 2022)	Marco orgánico metálico UiO-66 y nanocompuestos con materiales carbonosos como MWCNTs-COOH.	Rojo de metilo	98%
		MO	98%
(Galloni et al., 2022)	Loofah modificado con polianilina y esponja de loofah.	Rodamina B (RB)	81%
(Chen et al., 2022)	Biochar basados en estiércol de vaca	RB	1241 mg/g
		Clorhidrato de tetraciclina	1105 mg/g
(Alshahrani et al., 2022)	Heteroestructura compuesta por hidroxiapatita preparada a partir de los huesos de camello, recubierta con óxido de cerio y polímero natural quitosano.	Azul Brillante	11,22%
		CR	96%
		RB	58,89%
		<i>Escherichia coli</i>	95%
(Abdelbasir & Khalek, 2022b)	Escoria de alto horno.	Co ²⁺	43,8 mg/g
		Pb ²⁺	30,2 mg/g

(Chung et al., 2022)	Salvado de trigo, un subproducto agrícola.	CR	95%
		Pb(II)	85%
(Bakhta et al., 2022)	Carbón activado (AC) preparado a partir de tallos de dátiles.	F ⁻¹	99%
(Çelebi et al., 2022)	Resíduos de té, cáscaras de plátano, almendras y huevos	Pb ²⁺	99%
(Egbosiuba et al., 2021)	Combinación de nanotubos de carbono de pared múltiple y nanopartículas de plata nanoparticulada con quitosano.	Cr(VI)	229,540 mg/g
		Ni(II)	174,784 mg/g
(Alhothali et al., 2021)	Biochar de cáscara de semilla de palma.	PAHs	95,34%
		DQO	98,21%
(Ilyas et al., 2021)	Carbón activado de desechos de polietileno tereftalato y poliestireno.	PAHs	90%
(Bhaumik et al., 2021)	Nanotubos compuestos de polianilina dopada con ácido naftaleno sulfónico	Pb(II)	90,9%
(M'sakni & Alsufyani, 2021)	Ulva lactuca tratada químicamente con Hidróxido de sodio.	MB	89%
(Okonji et al., 2021)	Nano hierro cero valente	Selenometionina	96,1%
		Selenocisteína	86,7%
(Rahman et al., 2020)	Celulosa injertada con poli(acrilato de metilo) (PMA) y celulosa injertada con poli(acrilonitrilo) (PAN).	Cobre	98%
		Plomo	90%
(Aguilar et al., 2020)	Pulpa de café.	Mn(II)	53,40%
(Martín-Lara et al., 2020)	Carbón activado comercial (AC-40)	Bisfenol A	94,34 mg/g
(Chatterjee et al., 2020)	Nano-adsorbente de alumina-sílica a partir de cenizas volantes.	Plomo	326,2 mg/g
		MG	1655,2 mg/g
(Elsayed et al., 2020)	Cáscaras de granada en forma de Carbón activado.	MB	84,15%
		Ni ^{2+,3+}	81,44%
(Abdel Salam et al., 2020)	Nanotubos de carbono de paredes múltiples modificados con 5,7-dinitro-8-quinolinol.	Zn(II)	250 mg/g
		Pb(II)	200 mg/g
(Atta et al., 2019)	Material magnético reticulado basado en Fe ₃ O ₄ (magnetita).	CR	903 mg/g
(El Nadi & Abd Alla, 2019)	Fibra de cáscara de arroz	Zn(II)	94,33%
		Cr(VI)	89,2%
(Das et al., 2019)	Cáscaras de maní	Cr(VI)	22,94 mg/g
	Cáscaras de almendra		24,25 mg/g
(RanguMagar et al., 2019)	Carbono gráfico dopado con dióxido de titanio.	Nitrofenoles	80%

(Han et al., 2019)	Arcilla.	Metales pesados	100%
(Myers et al., 2018)	Carbón activado granular (Norit 1240)	1,4-dioxano	89%
(Kumar et al., 2018)	Cáscaras de nuez impregnadas con nano hierro de valencia cero.	Zn(II)	94,46 mg/g
(Alagappan et al., 2017)	Nanotubos de carbono epoxidados.	Cd ²⁺ , Co ²⁺ , Cu ²⁺ , Hg ²⁺ , Ni ²⁺ , Pb ²⁺	>99,4%
(Sajjad et al., 2017)	Carbón activado.	Cd, Cr, Cu, Pb	>78%
(Kateja & Mordhiya, 2017)	Carbón activado sintetizado de <i>Prosopis cineraria</i> .	DBO5	>65%
(Satapathi, 2017)	Xerogel de grafeno-quitosano.	Pb(II)	40,92 mg/g
(Koottatep et al., 2017)	Hidrocarbón producido por carbonización hidrotermal de lodos fecales.	Cobre	93%

3.5. ¿CUÁLES SON LAS LIMITACIONES Y DESAFÍOS ASOCIADOS A LA ADSORCIÓN?

A pesar de sus ventajas, la adsorción enfrenta varias limitaciones y desafíos:

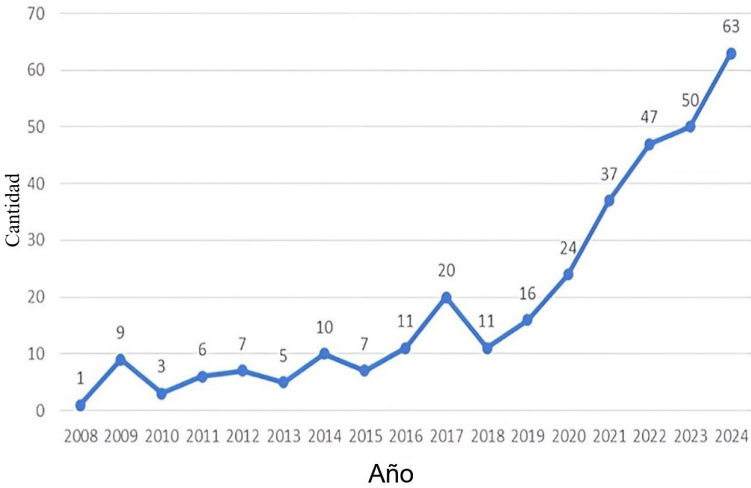
(1) Regeneración del adsorbente, la regeneración de adsorbentes saturados puede ser costosa y técnicamente compleja, limitando su reutilización (Han et al., 2019); (Alagappan et al., 2017). (2) Competencia de adsorbatos, la presencia de múltiples contaminantes puede reducir la eficiencia de adsorción (B. Wang et al., 2023) debido a la competencia por los sitios de adsorción (Rahman et al., 2020). (3) Escalabilidad, aunque efectiva a pequeña escala, la implementación de adsorción a gran escala industrial puede enfrentar desafíos técnicos y económicos (Das et al., 2019); (Han et al., 2019) (4) Desarrollo de nuevos adsorbentes, existe una necesidad continua de desarrollar adsorbentes más eficientes, económicos y sostenibles para mejorar la viabilidad del proceso (Irshad et al., 2023); (Galloni et al., 2022). Así mismo, la adsorción se destaca como una tecnología predominante para el tratamiento de aguas residuales industriales debido a su alta eficiencia y versatilidad ((Mancilla et al., 2023); (Abdelbasir & Khalek, 2022a); sin embargo, para maximizar su aplicación, es crucial abordar las limitaciones y desafíos asociados (Myers et al., 2018), así como continuar innovando en el desarrollo de nuevos materiales adsorbentes (Martín-Lara et al., 2020).

3.6. ESTUDIOS BIBLIOMÉTRICOS

En la Fig. 2 se evidencia que la adsorción en el tratamiento de aguas residuales industriales ha generado un mayor interés académico, especialmente entre 2017 y 2024,

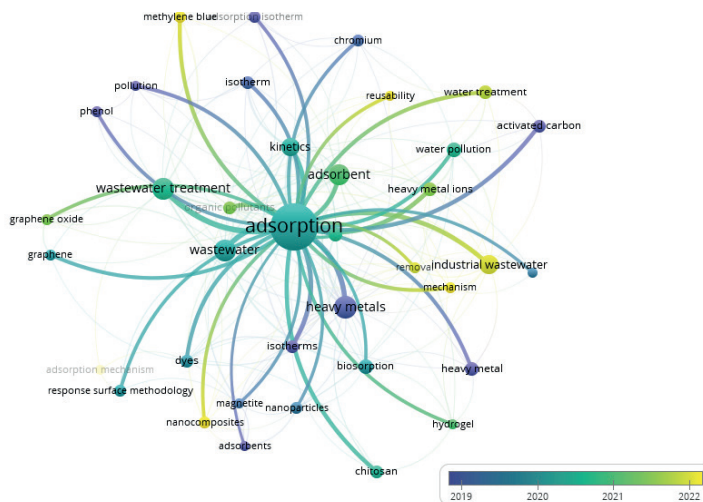
periodo que concentra el 82.0% de las publicaciones analizadas; este crecimiento no solo refleja un avance significativo en la investigación científica, sino que también responde a la urgencia de mitigar la contaminación industrial de forma sostenible (He et al., 2021; S. Wang et al., 2023); asimismo, factores como el endurecimiento de las regulaciones ambientales y la búsqueda de tecnologías más económicas han potenciado la adopción de esta técnica como objeto de estudio, lo cual subraya la importancia de fortalecer tanto el financiamiento como la investigación en este campo para cerrar la brecha existente entre los fundamentos teóricos y sus aplicaciones prácticas (Gour et al., 2024; Meijide et al., 2022; Yue et al., 2024).

Fig. 2. Publicaciones por año.



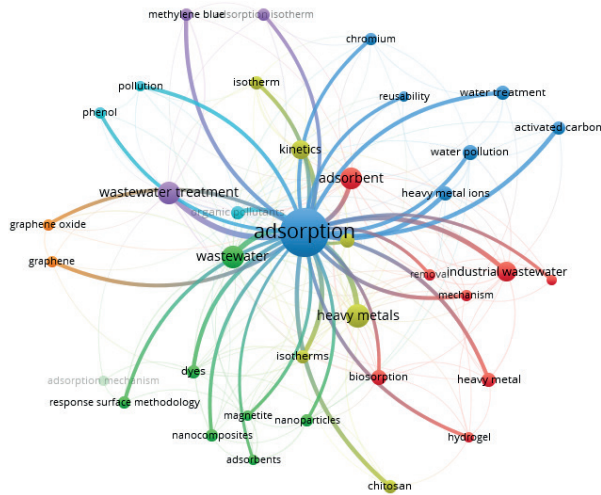
En la Fig. 3 se evidencia un cambio significativo en las tendencias de palabras clave, destacándose “bioadsorción” como una de las más relevantes a partir del 2020; este fenómeno pone de manifiesto una creciente preferencia por el empleo de materiales sostenibles y basados en biomasa, lo cual responde a la búsqueda de alternativas al carbón activado y a otros materiales no renovables (Ben Amar et al., 2024); en ese contexto, la bioadsorción, surge como un enfoque prometedor, especialmente en regiones con limitaciones económicas y tecnológicas, y refleja un giro hacia tecnologías más ecológicas para el tratamiento de aguas residuales (Hammad et al., 2024; Vaidh et al., 2024); asimismo, esta tendencia resalta la necesidad de explorar y emplear adsorbentes obtenidos a partir de microorganismos, bacterias, hongos, algas marinas, plantas o polímeros naturales, que han demostrado su efectividad en la eliminación de contaminantes, contribuyendo al desarrollo de soluciones innovadoras y sostenibles. (Nasir et al., 2024; S. Wang et al., 2023).

Fig. 3. Evolución de las palabras clave.



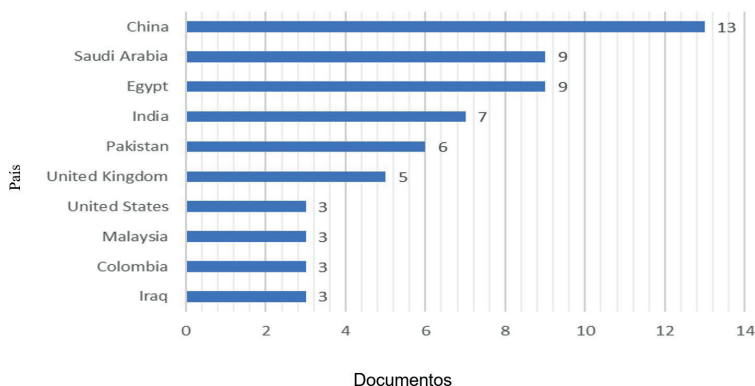
En la Fig. 4 resalta la relevancia de términos clave como “bioadsorción”, “metales pesados” y “aguas residuales”, los cuales están estrechamente interrelacionados en el contexto de los desafíos ambientales asociados al tratamiento de aguas residuales industriales; esta interconexión refleja un enfoque multidimensional en el uso de la adsorción, que se orienta hacia investigaciones integradoras dirigidas a desarrollar soluciones específicas para diversos contaminantes (Aliyu et al., 2024; Khader et al., 2024); en ese sentido, la predominancia de la bioadsorción como tecnología emergente demuestra su reconocimiento a nivel global y subraya la necesidad de diversificar tanto los materiales como las condiciones en las que puede aplicarse (S. Wang et al., 2023) ; asimismo, estas palabras clave presentan una alta co-ocurrencia con otros conceptos relacionados, evidenciando el papel central de la bioadsorción como base para el diseño de variantes técnicas destinadas a resolver múltiples problemáticas asociadas a diferentes tipos de contaminantes (Hailan et al., 2023).

Fig. 4 Co-ocurrencia de palabras clave.



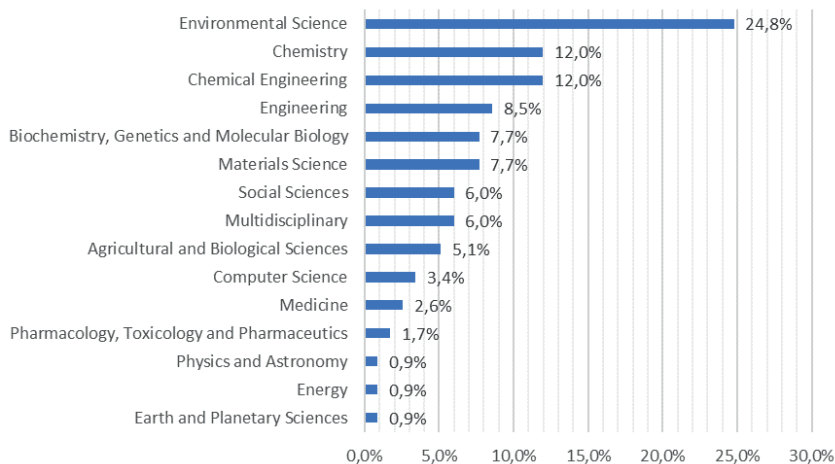
La Fig. 5 pone de manifiesto una distribución geográfica desigual en las publicaciones científicas sobre tecnologías de adsorción, destacándose Asia como la región con mayor aporte, liderada por China, India y Arabia Saudí, con un 57.4% del total; esta predominancia regional refleja no solo el enfoque en soluciones rentables y eficaces por parte de economías emergentes, sino también una fuerte inversión en infraestructura de investigación (Chong et al., 2023); a su vez, en Europa, el liderazgo de Reino Unido resalta un enfoque colaborativo y avanzado en ingeniería química y ciencias ambientales, que contrasta con los esfuerzos orientados al costo-beneficio observados en Asia; por otro lado, África presenta a Egipto como su principal referente en este ámbito, lo cual señala una creciente participación del continente en el desarrollo de tecnologías sostenibles; finalmente, en cuanto a América Latina, Colombia encabeza la producción científica, aunque su participación sigue siendo limitada frente a otras regiones, subrayando la necesidad de fortalecer la competitividad global mediante una mayor inversión en investigación y colaboración internacional (Sayago et al., 2024).

Fig. 5 Publicações por país.



La Figura 6 destaca que las ciencias ambientales (24.8%), la ingeniería química (12.0%) y la química (12.0%) son las áreas con mayor protagonismo en la investigación sobre tecnologías de adsorción, lo que pone de manifiesto su carácter interdisciplinario; esta interacción entre disciplinas no solo mejora la comprensión de los procesos involucrados, sino que también optimiza la eficiencia en el tratamiento de aguas residuales al integrar conocimientos complementarios (Mancilla et al., 2023) ; además, la presencia de áreas como biología, ciencia de materiales y energía sugiere un potencial significativo para futuras aplicaciones, especialmente mediante la combinación de procesos adsorbentes con estrategias energéticamente sostenibles, como sistemas bioquímicos y el aprovechamiento de energías renovables (Abed & Belattar, 2023); por lo tanto, esta diversificación de enfoques consolida a las tecnologías de adsorción como una herramienta prometedora frente a los retos ambientales actuales (Aguilar et al., 2020) .

Fig. 6 Áreas de investigación.



4. CONCLUSIONES

La adsorción se ha consolidado como una tecnología predominante para el tratamiento de aguas residuales industriales debido a su alta eficiencia en la eliminación de diversos contaminantes, incluyendo metales pesados, colorantes y compuestos orgánicos; además, su versatilidad y simplicidad operativa la hacen una opción viable en una amplia variedad de aplicaciones industriales.

La eficiencia del proceso de adsorción está influenciada por múltiples factores como la naturaleza del adsorbente, las características del contaminante (adsorbato), el pH del medio, la temperatura y el tiempo de contacto; por ende, es importante comprender y optimizar estos factores es clave para mejorar la capacidad de remoción de contaminantes en escenarios industriales.

Existen diversos tipos de adsorbentes que se utilizan en el tratamiento de aguas residuales industriales, entre ellos el carbón activado, las zeolitas, biosorbentes y materiales nanoestructurados; cada uno presenta ventajas particulares en términos de eficiencia y selectividad, lo que sugiere que la selección del adsorbente debe adaptarse al tipo de contaminante y las condiciones del agua residual.

Los estudios revisados demuestran que la adsorción es altamente eficaz en la remoción de una amplia gama de contaminantes fisicoquímicos, alcanzando eficiencias de hasta el 100% en algunos casos; esta capacidad de remoción depende tanto del tipo de adsorbente como de las condiciones óptimas de operación, tales como pH y tiempo de contacto.

La adsorción presenta varias ventajas, como su alta eficiencia y simplicidad operativa, que la hacen accesible incluso para industrias en regiones con limitados recursos técnicos y financieros; sin embargo, sus desventajas incluyen el costo elevado de algunos adsorbentes comerciales y la necesidad de disponer adecuadamente los adsorbentes saturados, lo cual genera residuos adicionales.

Aunque la adsorción es una tecnología efectiva, enfrenta desafíos importantes, como la regeneración de los adsorbentes saturados, la competencia entre contaminantes por los sitios de adsorción, y la necesidad de desarrollar adsorbentes más eficientes y económicos; asimismo, las investigaciones futuras deben enfocarse en superar estas barreras para aumentar la viabilidad de la adsorción a mayor escala.

Los análisis bibliométricos revelan un crecimiento significativo en las investigaciones sobre la adsorción a partir de 2017, con una fuerte concentración de estudios en Asia, especialmente en China, Arabia Saudí e India; asimismo, las ciencias ambientales y la ingeniería química lideran las publicaciones desempeñando roles clave en el avance de

esta tecnología; esto demuestra una tendencia global hacia la investigación y desarrollo de tecnologías de adsorción, impulsadas por la necesidad de soluciones más sostenibles para el tratamiento de aguas industriales.

REFERENCES

- Abdel Salam, E. T., Abou El-Nour, K. M., Awad, A. A., & Orabi, A. S. (2020). Carbon nanotubes modified with 5,7-dinitro-8-quinolinol as potentially applicable tool for efficient removal of industrial wastewater pollutants. *Arabian Journal of Chemistry*, 13(1), 109-119. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2017.02.005>
- Abdelbasir, S. M., & Khalek, M. A. A. (2022a). From waste to waste: Iron blast furnace slag for heavy metal ions removal from aqueous system. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(38), 57964-57979. Scopus. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19834-3>
- Abdelbasir, S. M., & Khalek, M. A. A. (2022b). From waste to waste: Iron blast furnace slag for heavy metal ions removal from aqueous system. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(38), 57964-57979. Scopus. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19834-3>
- Abed, L., & Belattar, N. (2023). Assessing the Dual Use of Red and Yellow Algerian Pomegranate Husks: Natural Antiradical Agents and Low-Cost Biosorbents for Chromium (VI) Removal from Contaminated Waters. *Water (Switzerland)*, 15(16). Scopus. <https://doi.org/10.3390/w15162869>
- Adel, M., El Naggari, A. M. A., Bakry, A., Hilal, M. H., El-Zahhar, A. A., Taha, M. H., & Marey, A. (2023). Decoration of polystyrene with nanoparticles of cobalt hydroxide as new composites for the removal of Fe(III) and methylene blue from industrial wastewater. *RSC Advances*, 13(36), 25334-25349. Scopus. <https://doi.org/10.1039/d3ra03794k>
- Aguilar, D. L. G., Miranda, J. P. R., Guzmán, D. B., & Muñoz, J. A. E. (2020). Using coffee pulp as bioadsorbent for the removal of manganese (Mn (II)) from synthetic wastewater. *Water (Switzerland)*, 12(9). Scopus. <https://doi.org/10.3390/w12092500>
- Ahmaruzzaman, M., Roy, P., Bonilla-Petriciolet, A., Badawi, M., Ganachari, S. V., Shetti, N. P., & Aminabhavi, T. M. (2023). Polymeric hydrogels-based materials for wastewater treatment. *Chemosphere*, 331. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138743>
- Alagappan, P. N., Heimann, J., Morrow, L., Andreoli, E., & Barron, A. R. (2017). Easily Regenerated Readily Deployable Adsorbent for Heavy Metal Removal from Contaminated Water. *Scientific Reports*, 7(1). Scopus. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-06734-7>
- Alfei, S., Grasso, F., Orlandi, V., Russo, E., Boggia, R., & Zuccari, G. (2023). Cationic Polystyrene-Based Hydrogels as Efficient Adsorbents to Remove Methyl Orange and Fluorescein Dye Pollutants from Industrial Wastewater. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(3). Scopus. <https://doi.org/10.3390/ijms24032948>
- Alhothali, A., Haneef, T., Mustafa, M. R. U., Moria, K. M., Rashid, U., Rasool, K., & Bamasag, O. O. (2021). Optimization of micro-pollutants' removal from wastewater using agricultural waste-derived sustainable adsorbent. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(21). Scopus. <https://doi.org/10.3390/ijerph18211506>
- Aliyu, S. A., Salahudeen, N., & Rasheed, A. A. (2024). Adsorptive Removal of Lead (II) Pollutants from Wastewater Using Corn-cob-Activated Carbon. *Journal of Engineering Sciences (Ukraine)*, 11(2), H1-H10. Scopus. [https://doi.org/10.21272/jes.2024.11\(2\).h1](https://doi.org/10.21272/jes.2024.11(2).h1)

Alkudhri, A., Hakami, M., Zacharof, M.-P., Homod, H. A., & Alsadun, A. (2020). Mercury, arsenic and lead removal by air gap membrane distillation: Experimental study. *Water (Switzerland)*, 12(6). Scopus. <https://doi.org/10.3390/W12061574>

Alshahrani, A. A., Alorabi, A. Q., Hassan, M. S., Amna, T., & Azizi, M. (2022). Chitosan-Functionalized Hydroxyapatite-Cerium Oxide Heterostructure: An Efficient Adsorbent for Dyes Removal and Antimicrobial Agent. *Nanomaterials*, 12(15). Scopus. <https://doi.org/10.3390/nano12152713>

Ashraf, M. H., Hussain, N., Muneer, M. A., Arif, I., & Ali, M. R. (2024). Chitosan-based nanomaterials for pharmaceutical waste remediation. *Advances in Chemical Pollution, Environmental Management and Protection*, 10, 83-116. Scopus. <https://doi.org/10.1016/bs.apmp.2023.09.001>

Athari, M., Fattahi, M., Khosravi-Nikou, M., & Hajhariri, A. (2022). Adsorption of different anionic and cationic dyes by hybrid nanocomposites of carbon nanotube and graphene materials over UiO-66. *Scientific Reports*, 12(1). Scopus. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-24891-2>

Atta, A. M., Ezzat, A. O., Moustafa, Y. M., Sabeela, N. I., Tawfeek, A. M., Al-Lohedan, H. A., & Hashem, A. I. (2019). Synthesis of new magnetic crosslinked poly (Ionic liquid) nanocomposites for fast congo red removal from industrial wastewater. *Nanomaterials*, 9(9). Scopus. <https://doi.org/10.3390/nano9091286>

Bakhta, S., Sadaoui, Z., Bouazizi, N., Samir, B., Allalou, O., Devouge-Boyer, C., Mignot, M., & Vieillard, J. (2022). Functional activated carbon: From synthesis to groundwater fluoride removal. *RSC Advances*, 12(4), 2332-2348. Scopus. <https://doi.org/10.1039/d1ra08209d>

Ben Amar, M., Mallek, M., Valverde, A., Monclús, H., Myers, T. G., Salvadó, V., & Cabrera-Codony, A. (2024). Competitive heavy metal adsorption on pinecone shells: Mathematical modelling of fixed-bed column and surface interaction insights. *Science of the Total Environment*, 917. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.170398>

Bhaumik, M., Maity, A., & Brink, H. G. (2021). Zero valent nickel nanoparticles decorated polyaniline nanotubes for the efficient removal of Pb(II) from aqueous solution: Synthesis, characterization and mechanism investigation. *Chemical Engineering Journal*, 417. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.127910>

Çelebi, H., Bahadır, T., Şimşek, İ., & Tulun, Ş. (2022). An Environmental and Green Process for Pb²⁺ Pollution: An Experimental Research from the Perspective of Adsorption †. *Engineering Proceedings*, 19(1). Scopus. <https://doi.org/10.3390/ECP2022-12658>

Chatterjee, A., Shamim, S., Jana, A. K., & Basu, J. K. (2020). Insights into the competitive adsorption of pollutants on a mesoporous alumina-silica nano-sorbent synthesized from coal fly ash and a waste aluminium foil. *RSC Advances*, 10(26), 15514-15522. Scopus. <https://doi.org/10.1039/d0ra01397h>

Chen, X., Yu, G., Chen, Y., Tang, S., & Su, Y. (2022). Cow Dung-Based Biochar Materials Prepared via Mixed Base and Its Application in the Removal of Organic Pollutants. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(17). Scopus. <https://doi.org/10.3390/ijms231710094>

Cheng, J., Zhang, S., Fang, C., Ma, L., Duan, J., Fang, X., & Li, R. (2023). Removal of Heavy Metal Ions from Aqueous Solution Using Biotransformed Lignite. *Molecules*, 28(13). Scopus. <https://doi.org/10.3390/molecules28135031>

Chong, Z. T., Soh, L. S., & Yong, W. F. (2023). Valorization of agriculture wastes as biosorbents for adsorption of emerging pollutants: Modification, remediation and industry application. *Results in Engineering*, 17. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.100960>

Chung, W. J., Shim, J., & Ravindran, B. (2022). Application of wheat bran based biomaterials and nano-catalyst in textile wastewater. *Journal of King Saud University - Science*, 34(2). Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2021.101775>

Czarnecki, J. C., Manoli, B., Fuad, N., & Vadas, T. M. (2024). Disinfection byproduct formation from chlorination of agricultural reuse water sources. *Environmental Advances*, 15. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2024.100488>

Dakhly, H. A., Albohy, S. A. H., Salman, A. A., & Abo Dena, A. S. (2024). Facile synthesis of a magnetic molecularly-imprinted polymer adsorbent for solid-phase extraction of diclofenac from water. *RSC Advances*, 14(23), 15942-15952. Scopus. <https://doi.org/10.1039/d4ra02529f>

Das, A., Banerjee, M., Bar, N., & Das, S. K. (2019). Adsorptive removal of Cr(VI) from aqueous solution: Kinetic, isotherm, thermodynamics, toxicity, scale-up design, and GA modeling. *SN Applied Sciences*, 1(7). Scopus. <https://doi.org/10.1007/s42452-019-0813-9>

Egbosiuba, T. C., Abdulkareem, A. S., Kovo, A. S., Afolabi, E. A., Tijani, J. O., Bankole, M. T., Bo, S., & Roos, W. D. (2021). Adsorption of Cr(VI), Ni(II), Fe(II) and Cd(II) ions by KAgNPs decorated MWCNTs in a batch and fixed bed process. *Scientific Reports*, 11(1). Scopus. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-79857-z>

El Nadi, M. E. H., & Abd Alla, M. A. F. (2019). Removing heavy metals from wastewater by using rice husk wastes fiber. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 8(6), 3929-3933. Scopus. <https://doi.org/10.35940/ijeat.F9055.088619>

Elsayed, A. E., Osman, D. I., Attia, S. K., Ahmed, H. M., Shoukry, E. M., Mostafa, Y. M., & Taman, A. R. (2020). A study on the removal characteristics of organic and inorganic pollutants from wastewater by low cost biosorbent. *Egyptian Journal of Chemistry*, 63(4), 1429-1442. Scopus. <https://doi.org/10.21608/ejchem.2019.15710.1950>

Elshabrawy, S. O., Mansour, M., Elhussieny, A., Husien, S., Abdel-Aziz, A. B., Fahim, I. S., Said, L. A., & Radwan, A. G. (2023). Valorization of Agricultural and Marine Waste for Fabrication of Bio-Adsorbent Sheets. 99-113. Scopus. <https://doi.org/10.1061/9780784484852.010>

Emiliani, J., Oyarce, W. G. L., Bergara, C. D., Salvatierra, L. M., Novo, L. A. B., & Pérez, L. M. (2020). Variations in the phytoremediation efficiency of metal-polluted water with salvinia biloba: Prospects and toxicological impacts. *Water (Switzerland)*, 12(6). Scopus. <https://doi.org/10.3390/W12061737>

Gahrouei, A. E., Rezapour, A., Pirooz, M., & Pourebrahimi, S. (2024). From classic to cutting-edge solutions: A comprehensive review of materials and methods for heavy metal removal from water environments. *Desalination and Water Treatment*, 319. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.dwt.2024.100446>

Galloni, M. G., Bortolotto, V., Falletta, E., & Bianchi, C. L. (2022). pH-Driven Selective Adsorption of Multi-Dyes Solutions by Loofah Sponge and Polyaniline-Modified Loofah Sponge. *Polymers*, 14(22). Scopus. <https://doi.org/10.3390/polym14224897>

García-Valero, A., Martínez-Martínez, S., Faz, Á., Terrero, M. A., Muñoz, M. Á., Gómez-López, M. D., & Acosta, J. A. (2020). Treatment of wastewater from the tannery industry in a constructed wetland planted with phragmites australis. *Agronomy*, 10(2). Scopus. <https://doi.org/10.3390/agronomy10020176>

Gour, P., Kumar, J., Arland, S. E., Roy, L. D., & Rahman, N. (2024). Green synthesis of DL-homocysteine decorated magnetic nanoparticles for selective and efficient mercury remediation from simulated wastewater: Kinetics, isotherm, and mechanism studies. *Environmental Engineering Research*, 29(5). Scopus. <https://doi.org/10.4491/eer.2023.584>

Gupta, R., Pandit, C., Pandit, S., Gupta, P. K., Lahiri, D., Agarwal, D., & Pandey, S. (2022). Potential and future prospects of biochar-based materials and their applications in removal of organic contaminants from industrial wastewater. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 24(3), 852-876. Scopus. <https://doi.org/10.1007/s10163-022-01391-z>

Haider, M. I. S., Liu, G., Yousaf, B., Arif, M., Aziz, K., Ashraf, A., Safeer, R., Ijaz, S., & Pikon, K. (2024). Synergistic interactions and reaction mechanisms of biochar surface functionalities in antibiotics removal from industrial wastewater. *Environmental Pollution*, 356. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.124365>

Hailan, S., Sobolciak, P., Popelka, A., Kasak, P., Adham, S., & Krupa, I. (2023). Complex treatment of oily polluted waters by modified melamine foams: From colloidal emulsions to a free oil removal. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(43), 97872-97887. Scopus. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-29055-x>

Hammad, W. A., Darweesh, M. A., Zouli, N., Osman, S. M., Eweida, B., & Amr, M. H. A. (2024). Adsorption of cationic dye onto Raphanus seeds: Optimization, adsorption kinetics, thermodynamic studies. *Scientific Reports*, 14(1). Scopus. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-66761-z>

Han, H., Rafiq, M. K., Zhou, T., Xu, R., Mašek, O., & Li, X. (2019). A critical review of clay-based composites with enhanced adsorption performance for metal and organic pollutants. *Journal of Hazardous Materials*, 369, 780-796. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.02.003>

He, H., Wagner, B. M., Carlson, A. L., Yang, C., & Daigger, G. T. (2021). Recent progress using membrane aerated biofilm reactors for wastewater treatment. *Water Science and Technology*, 84(9), 2131-2157. Scopus. <https://doi.org/10.2166/wst.2021.443>

Hernández-Chover, V., Bellver-Domingo, Á., Castellet-Viciano, L., & Hernández-Sancho, F. (2024). AI Applied to the Circular Economy: An Approach in the Wastewater Sector. *Sustainability (Switzerland)*, 16(4). Scopus. <https://doi.org/10.3390/su16041365>

Ilyas, M., Ahmad, W., & Khan, H. (2021). Utilization of activated carbon derived from waste plastic for decontamination of polycyclic aromatic hydrocarbons laden wastewater. *Water Science and Technology*, 84(3), 609-631. Scopus. <https://doi.org/10.2166/wst.2021.252>

Irshad, M. A., Humayoun, M. A., Al-Hussain, S. A., Nawaz, R., Arshad, M., Irfan, A., & Zaki, M. E. A. (2023). Green and Eco-Friendly Treatment of Textile Wastewater by Using Azadirachta indica Leaf Extract Combined with a Silver Nitrate Solution. *Sustainability (Switzerland)*, 15(1). Scopus. <https://doi.org/10.3390/su15010081>

Kamali, M., Persson, K. M., Costa, M. E., & Capela, I. (2019). Sustainability criteria for assessing nanotechnology applicability in industrial wastewater treatment: Current status and future outlook. *Environment International*, 125, 261-276. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.01.055>

Kateja, A., & Mordhiya, B. (2017). Preparation and Characterization of Cost Effective Adsorbent: Treatment of Wastewater from Dyeing Industry in Sanganer, Jaipur (India). *Journal of Environmental Science and Engineering*, 59(2), 341-348. Scopus. <https://doi.org/10.47915/jese.2017.v59i02.004>

Khader, E. H., Khudhur, R. H., Mohammed, T. J., Mahdy, O. S., Sabri, A. A., Mahmood, A. S., & Albayati, T. M. (2024). Evaluation of adsorption treatment method for removal of phenol and acetone from industrial wastewater. *Desalination and Water Treatment*, 317. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.dwt.2024.100091>

Khilji, S. A., Munir, N., Aziz, I., Anwar, B., Hasnain, M., Jakhar, A. M., Sajid, Z. A., Abideen, Z., Hussain, M. I., El-Habeeb, A. A., & Yang, H.-H. (2022). Application of Algal Nanotechnology for Leather Wastewater

- Treatment and Heavy Metal Removal Efficiency. *Sustainability (Switzerland)*, 14(21). Scopus. <https://doi.org/10.3390/su142113940>
- Koottatep, T., Fakkaew, K., Tajai, N., & Polprasert, C. (2017). Isotherm models and kinetics of copper adsorption by using hydrochar produced from hydrothermal carbonization of faecal sludge. *Journal of Water Sanitation and Hygiene for Development*, 7(1), 102-110. Scopus. <https://doi.org/10.2166/washdev.2017.132>
- Kumar, P. S., Nair, A. S., Ramaswamy, A., & Saravanan, A. (2018). Nano-zero valent iron impregnated cashew nut shell: A solution to heavy metal contaminated water/wastewater. *IET Nanobiotechnology*, 12(5), 591-599. Scopus. <https://doi.org/10.1049/IET-NBT.2017.0264>
- Li, H., Fei, J., Chen, S., Jones, K. C., Li, S., Chen, W., & Liang, Y. (2023). An easily-synthesized low carbon ionic liquid functionalized metal-organic framework composite material to remove Congo red from water. *Water Cycle*, 4, 127-134. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.watcyc.2023.05.004>
- Li, Q., Guo, Y., Yu, J., Yao, L., Liu, S., Li, Y., Chen, D., Peng, F., Xu, D., Wu, Z., & Zhou, Q. (2023). Construction of hybrid constructed wetlands for phosphorus chemical industry tailwater treatment in the middle Yangtze river basin: Responses of plant growth and root-associated microbial communities. *Water Biology and Security*, 2(3). Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.watbs.2023.100144>
- Lin, Q., Chen, W., Lin, F., Zhu, H., & Wang, X. (2023). Exaggerated arsenic removal efficiency and pH adaptability by adsorption using monodispersed porous pinecone-like magnesium hydroxide. *Aqua Water Infrastructure, Ecosystems and Society*, 72(6), 969-982. Scopus. <https://doi.org/10.2166/aqua.2023.012>
- Lv, A., Lv, X., Xu, X., Chen, Y., Zhang, J., & Shao, Z.-B. (2024). Tailored multifunctional composite hydrogel based on chitosan and quaternary ammonium ionic liquids@montmorillonite with different chain lengths for effective removal of dyes and 4-nitrophenol. *Separation and Purification Technology*, 342. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2024.127019>
- Mancilla, H. B., Cerrón, M. R., Aroni, P. G., Paucar, J. E. P., Tovar, C. T., Jindal, M. K., & Gowrisankar, G. (2023). Effective removal of Cr (VI) ions using low-cost biomass leaves (*Sambucus nigra* L.) in aqueous solution. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(49), 106982-106995. Scopus. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-24064-8>
- Martín-Lara, M. A., Calero, M., Ronda, A., Iáñez-Rodríguez, I., & Escudero, C. (2020). Adsorptive behavior of an activated carbon for bisphenol A removal in single and binary (bisphenol A-heavy metal) solutions. *Water (Switzerland)*, 12(8). Scopus. <https://doi.org/10.3390/W12082150>
- Medeiros, D. C. C. D. S., Nzediegwu, C., Benally, C., Messele, S. A., Kwak, J.-H., Naeth, M. A., Ok, Y. S., Chang, S. X., & Gamal El-Din, M. (2022). Pristine and engineered biochar for the removal of contaminants co-existing in several types of industrial wastewaters: A critical review. *Science of the Total Environment*, 809. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151120>
- Meijide, J., Lama, G., Pazos, M., Sanromán, M. A., & Dunlop, P. S. M. (2022). Ultraviolet-based heterogeneous advanced oxidation processes as technologies to remove pharmaceuticals from wastewater: An overview. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 10(3). Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.107630>
- Melaibari, A. A., Elamoudi, A. S., Mostafa, M. E., & Abu-Hamdeh, N. H. (2023). Waste-to-Energy in Saudi Arabia: Treatment of petroleum wastewaters utilizing zeolite structures in the removal of phenol pollutants by using the power of molecular dynamics method. *Engineering Analysis with Boundary Elements*, 148, 317-323. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.enganabound.2023.01.003>
- Moges, A., Nkambule, T. T. I., & Fito, J. (2022). The application of GO-Fe₃O₄ nanocomposite for

chromium adsorption from tannery industry wastewater. *Journal of Environmental Management*, 305. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114369>

Montoya-Bautista, C. V., Acevedo-Peña, P., Zanella, R., & Ramírez-Zamora, R.-M. (2021). Characterization and Evaluation of Copper Slag as a Bifunctional Photocatalyst for Alcohols Degradation and Hydrogen Production. *Topics in Catalysis*, 64(1-2), 131-141. Scopus. <https://doi.org/10.1007/s11244-020-01362-4>

M'sakni, N. H., & Alsufyani, T. (2021). Removal of cationic organic dye from aqueous solution by chemical and pyrolysis activated ulva lactuca. *Water (Switzerland)*, 13(9). Scopus. <https://doi.org/10.3390/w13091154>

Myers, M. A., Johnson, N. W., Marin, E. Z., Pornwongthong, P., Liu, Y., Gedalanga, P. B., & Mahendra, S. (2018). Abiotic and bioaugmented granular activated carbon for the treatment of 1,4-dioxane-contaminated water. *Environmental Pollution*, 240, 916-924. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.04.011>

Nasir, M., Javaid, F., Masood, M. T., Arshad, M., Yasir, M., Sedlarik, V., Qadir, M. A., Qiblawey, H., Zhang, W., Deen, K. M., Asselin, E., & Ahmad, N. M. (2024). Regenerable chitosan-embedded magnetic iron oxide beads for nitrate removal from industrial wastewater. *Environmental Science: Advances*, 3(4), 572-584. Scopus. <https://doi.org/10.1039/d3va00351e>

Nguyen, M. K., Hadi, M., Lin, C., Nguyen, H.-L., Thai, V.-B., Hoang, H.-G., Vo, D.-V. N., & Tran, H.-T. (2022). Microplastics in sewage sludge: Distribution, toxicity, identification methods, and engineered technologies. *Chemosphere*, 308. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.136455>

Nippatlapalli, N., & Philip, L. (2020). Assessment of novel rotating bipolar multiple disc electrode electrocoagulation-flotation and pulsed plasma corona discharge for the treatment of textile dyes. *Water Science and Technology*, 81(3), 564-570. Scopus. <https://doi.org/10.2166/WST.2020.137>

Okonji, S. O., Yu, L., Dominic, J. A., Pernitsky, D., & Achari, G. (2021). Adsorption by granular activated carbon and nano zerovalent iron from wastewater: A study on removal of selenomethionine and selenocysteine. *Water (Switzerland)*, 13(1). Scopus. <https://doi.org/10.3390/w13010023>

Opafola, O. T., David, A. O., Ajibade, F. O., Adeyemi, H. O., Solana, O. I., & Odugbose, B. D. (2021). The utilization of bentonite enhanced termite mound soil mixture as filter for the treatment of paint industrial effluent. *SN Applied Sciences*, 3(4). Scopus. <https://doi.org/10.1007/s42452-021-04405-x>

Paredes-Quevedo, L. C., Castellanos, N. J., & Carriazo, J. G. (2021). Influence of Porosity and Surface Area of a Modified Kaolinite on the Adsorption of Basic Red 46 (BR-46). *Water, Air, and Soil Pollution*, 232(12). Scopus. <https://doi.org/10.1007/s11270-021-05450-3>

Persano, F., Malitesta, C., & Mazzotta, E. (2024). Cellulose-Based Hydrogels for Wastewater Treatment: A Focus on Metal Ions Removal. *Polymers*, 16(9). Scopus. <https://doi.org/10.3390/polym16091292>

Rahman, M. L., Fui, C. J., Ting, T. X., Sarjadi, M. S., Arshad, S. E., & Musta, B. (2020). Polymer ligands derived from jute fiber for heavy metal removal from electroplating wastewater. *Polymers*, 12(11), 1-27. Scopus. <https://doi.org/10.3390/polym12112521>

RanguMagar, A. B., Chhetri, B. P., Parnell, C. M., Parameswaran-Thankam, A., Watanabe, F., Mustafa, T., Biris, A. S., & Ghosh, A. (2019). Removal of nitrophenols from water using cellulose derived nitrogen doped graphitic carbon material containing titanium dioxide. *Particulate Science and Technology*, 37(4), 440-448. Scopus. <https://doi.org/10.1080/02726351.2017.1391906>

Razzak, S. A., Faruque, M. O., Alsheikh, Z., Alsheikhmohamad, L., Alkuroud, D., Alfayez, A., Hossain,

S. M. Z., & Hossain, M. M. (2022). A comprehensive review on conventional and biological-driven heavy metals removal from industrial wastewater. *Environmental Advances*, 7. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2022.100168>

Roy, A. (2022). Progress, Challenges, and Prospects of Jute Fiber as Green Adsorbents: A Scope Beyond Traditional Applications. En *Jute: Cultivation, Properties and Uses* (pp. 95-110). Scopus.

Saini, K., Singh, J., Malik, S., Saharan, Y., Goyat, R., Umar, A., Akbar, S., Ibrahim, A. A., & Baskoutas, S. (2024). Metal-Organic Frameworks: A promising solution for efficient removal of heavy metal ions and organic pollutants from industrial wastewater. *Journal of Molecular Liquids*, 399. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2024.124365>

Sajjad, M., Khan, S., Baig, S. A., Munir, S., Naz, A., Ahmad, S. S., & Khan, A. (2017). Removal of potentially toxic elements from aqueous solutions and industrial wastewater using activated carbon. *Water Science and Technology*, 75(11), 2571-2579. Scopus. <https://doi.org/10.2166/wst.2017.130>

Saleh, T. A. (2024). Materials, nanomaterials, nanocomposites, and methods used for the treatment and removal of hazardous pollutants from wastewater: Treatment technologies for water recycling and sustainability. *Nano-Structures and Nano-Objects*, 39. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.nanos.2024.101231>

Satapathi, S. (2017). Graphene-based 3D xerogel as adsorbent for removal of heavy metal ions from industrial wastewater purnendu. *Journal of Renewable Materials*, 5(2), 96-102. Scopus. <https://doi.org/10.7569/JRM.2016.634134>

Sayago, U. F. C., Ballesteros, V. B., & Aguilar, A. M. L. (2024). Designing, Modeling and Developing Scale Models for the Treatment of Water Contaminated with Cr (VI) through Bacterial Cellulose Biomass. *Water (Switzerland)*, 16(17). Scopus. <https://doi.org/10.3390/w16172524>

Singh, H., Raj, S., Rathour, R. K. S., & Bhattacharya, J. (2022). Bimetallic Fe/Al-MOF for the adsorptive removal of multiple dyes: Optimization and modeling of batch and hybrid adsorbent-river sand column study and its application in textile industry wastewater. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(37), 56249-56264. Scopus. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19686-x>

Singla, S., Devi, P., & Basu, S. (2023). Revolutionizing the Role of Solar Light Responsive BiVO₄/BiOBr Heterojunction Photocatalyst for the Photocatalytic Deterioration of Tetracycline and Photoelectrocatalytic Water Splitting. *Materials*, 16(16). Scopus. <https://doi.org/10.3390/ma16165661>

Smolyanichenko, A. S., & Yakovleva, E. V. (2022). OPTIMIZATION OF THE PROCESS OF INDUSTRIAL WASTEWATER TREATMENT BY DISAGGREGATION OF PHASE-DISPERSED CONTAMINANTS. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 14(6), 34-50. Scopus. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-6-34-50>

Solanki, D. M., Vakharia, P. R., Suryawanshi, N. M., Dabhole, P. S., Sawant, S. S., Bhise, S. S., Topare, N. S., Bokil, S. A., Choudhari, V. P., & Khan, A. (2023). A Review on Adsorption of Dyes in Batch and Column Mode: Effects of Operating Parameters. 2943(1). Scopus. <https://doi.org/10.1063/5.0183031>

Teow, Y. H., Nordin, N. I., & Mohammad, A. W. (2019). Green synthesis of palm oil mill effluent-based graphenic adsorbent for the treatment of dye-contaminated wastewater. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(33), 33747-33757. Scopus. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2189-6>

Umar, M., Singdahl-Larsen, C., & Ranneklev, S. B. (2023). Microplastics Removal from a Plastic Recycling Industrial Wastewater Using Sand Filtration. *Water (Switzerland)*, 15(5). Scopus. <https://doi.org/10.3390/w15050896>

Vaidh, S., Surana, A., Nagariya, V., Rahewar, R., Prajapati, H., Patel, D., Pandya, A., & Vishwakarma, G. S. (2024). Amyloid fibril-bacterial cellulose nanohybrid membrane cartridge for efficient removal of heavy metal from industrial wastewater. *Water Quality Research Journal*, 59(2), 73-88. Scopus. <https://doi.org/10.2166/wqrj.2024.001>

Wang, B., Wu, K., Liu, T., Cheng, Z., Liu, Y., Liu, Y., & Niu, Y. (2023). Feasible synthesis of bifunctional polysilsesquioxane microspheres for robust adsorption of Hg(II) and Ag(I): Behavior and mechanism. *Journal of Hazardous Materials*, 442. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.130121>

Wang, S., Zhang, T., Li, J., Hua, Y., Dou, J., Chen, X., & Li, S. (2023). Potassium citrate-derived porous carbon with high CO₂ capture and Congo red adsorption performance. *Environmental Sciences Europe*, 35(1). Scopus. <https://doi.org/10.1186/s12302-023-00712-9>

Wang, Y., Bao, S., Liu, Y., Yu, Y., Yang, W., Xu, S., & Li, H. (2021). CoS₂/GO nanocomposites for highly efficient and ppb level adsorption of Hg(II) from wastewater. *Journal of Molecular Liquids*, 322. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.114899>

Wilschnack, M., Homer, B., Cartmell, E., Yates, K., & Petrie, B. (2024). Targeted multi-analyte UHPLC-MS/MS methodology for emerging contaminants in septic tank wastewater, sludge and receiving surface water. *Analytical Methods*, 16(5), 709-720. Scopus. <https://doi.org/10.1039/d3ay01201h>

Witt, K., Kaczorowska, M. A., & Bożejewicz, D. (2024). Efficient, fast, simple, and eco-friendly methods for separation of toxic chromium(VI) ions based on ion exchangers and polymer materials impregnated with Cyphos IL 101, Cyphos IL 104, or D2EHPA. *Environmental Science and Pollution Research*, 31(5), 7977-7993. Scopus. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-31648-5>

Yan, X., Liu, X., Zhang, M., Cui, X., Zhong, J., & Hu, X. (2021). Research Progress in Biosorption Technology for Chromium Contamination. *Xiyou Jinshu/Chinese Journal of Rare Metals*, 45(2), 240-250. Scopus. <https://doi.org/10.13373/j.cnki.cjrm.XY19060028>

Yfantis, A., Yfantis, N., Angelakopoulou, T., Giannakakis, G., Michelet, F., Dokianakis, S., Vasilaki, E., & Katsarakis, N. (2022). Industrial Pilot for Assessment of Polymeric and Ceramic Membrane Efficiency in Treatment of Liquid Digestate from Biogas Power Plant. *Energies*, 15(18). Scopus. <https://doi.org/10.3390/en15186574>

Yu, X., Cabrera-Reina, A., Graells, M., Miralles-Cuevas, S., & Pérez-Moya, M. (2021). Towards an efficient generalization of the online dosage of hydrogen peroxide in photo-fenton process to treat industrial wastewater. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(24). Scopus. <https://doi.org/10.3390/ijerph182413313>

Yue, Y., Yu, Z., Yue, X., Zhou, W., Wang, S., Yang, Y., Lao, Y., Yang, M., Du, C., & Wang, S. (2024). Activated carbon derived from highland barley straw for removing heavy metals and organic pollutants. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 19, 135-141. Scopus. <https://doi.org/10.1093/ijlct/ctad042>

Zeng, Y., Ma, L., & Bai, P. (2022). Study of Organic Acid Pollutant Removal Efficient in Treatment of Industrial Wastewater with HDH Process Using ASPEN Modelling. *Water (Switzerland)*, 14(22). Scopus. <https://doi.org/10.3390/w14223681>

Xosé Somoza Medina (1969, Ourense, España) Licenciado con Grado y premio extraordinario en Geografía e Historia por la Universidad de Santiago de Compostela (1994). Doctor en Geografía e Historia por la misma universidad (2001) y premio extraordinario de doctorado por su Tesis “Desarrollo urbano en Ourense 1895-2000”. Profesor Titular en la Universidad de León, donde imparte clases desde 1997. En la Universidad de León fue Director del Departamento de Geografía entre 2004 y 2008 y Director Académico de la Escuela de Turismo entre 2005 y 2008. Entre 2008 y 2009 ejerció como Director del Centro de Innovación y Servicios de la Xunta de Galicia en Ferrol. Entre 2007 y 2009 fue vocal del comité “Monitoring cities of tomorrow” de la Unión Geográfica Internacional. En 2012 fue Director General de Rehabilitación Urbana del Ayuntamiento de Ourense y ha sido vocal del Consejo Rector del Instituto Ourensano de Desarrollo Local entre 2011 y 2015. Ha participado en diversos proyectos y contratos de investigación, en algunos de ellos como investigador principal, con temática relacionada con la planificación urbana, la ordenación del territorio, las nuevas tecnologías de la información geográfica, el turismo o las cuestiones demográficas. Autor de más de 100 publicaciones relacionadas con sus líneas de investigación preferentes: urbanismo, turismo, gobernanza, desarrollo, demografía, globalización y ordenación del territorio. Sus contribuciones científicas más importantes se refieren a la geografía urbana de las ciudades medias, la crisis del medio rural y sus posibilidades de desarrollo, la evolución del turismo cultural como generador de transformaciones territoriales y más recientemente las posibilidades de reindustrialización de Europa ante una nueva etapa posglobalización. Ha participado como docente en masters y cursos de especialización universitaria en Brasil, Bolivia, Colombia, Paraguay y Venezuela y como docente invitado en la convocatoria Erasmus en universidades de Bulgaria (Sofia), Rumanía (Bucarest) y Portugal (Porto, Guimarães, Coimbra, Aveiro y Lisboa). Ha sido evaluador de proyectos de investigación en la Agencia Estatal de Investigación de España y en la Organización de Estados Iberoamericanos (OEI). Como experto europeo en Geografía ha participado en reuniones de la Comisión Europea en Italia y Bélgica. Impulsor y primer coordinador del proyecto europeo URBACT, “come Ourense”, dentro del Programa de la Unión Europea “Sostenibilidad alimentaria en comunidades urbanas” (2012-2014). Dentro de la experiencia en organización de actividades de I+D+i se pueden destacar la organización de diferentes reuniones científicas desarrolladas dentro de la Asociación de Geógrafos Españoles (en 2002, 2004, 2012 y 2018).

ÍNDICE REMISSIVO

A

Aceite residual 20, 21, 22

Adsorción 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 110, 112, 113, 114, 115, 116

Aguas residuales industriales 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 110, 115

Análisis termofísico y distribución del flujo 76

B

Bioadsorbente 100

C

Calidad 3, 10, 20, 23, 24, 25, 27, 30, 31, 32, 33, 35, 37, 46, 54, 57, 63, 154, 168, 169, 171, 173, 175, 177, 179

Cámara térmica 76, 79, 85, 86

Ciudad 20, 24, 26, 30, 32, 36, 37, 38, 54, 55, 56, 57, 58, 60, 62, 63, 75, 169, 171, 172

Cogeneration 88, 89, 90, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99

Combine heat and power and feasibility 88

Contaminación ambiental 20, 35, 36, 54

Contaminación del suelo 20, 22, 27, 31, 32

Criollo 1, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10

Cybercrime 124, 131, 147

Cybercriminality 124

Cyberviolence 124

D

Decibel 35, 36, 39

Development and research skills 181

Distribución del flujo 76, 79, 80, 86

E

ECA 20, 24, 31, 32, 33, 35, 36, 46, 47, 48, 53

Economía 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74

Educación 1, 37, 46, 47, 48, 53, 54, 59, 64, 74, 153, 168, 169, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181

Educación virtual 169, 172, 176, 177, 178

Evaluación 1, 9, 17, 31, 33, 34, 54, 71, 76, 79, 84, 85, 153, 155, 159, 160, 163, 165, 167, 176

G

Gabinete 7, 76, 78, 79, 81

H

Harassment 124, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149

Historia 2, 38, 66, 71, 73, 74

Hongos filamentosos 11, 12, 15, 16, 17, 18

Hotels 88, 89, 90, 93, 94, 95, 96, 98, 99

I

ICT 124, 125, 126, 127, 128, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 142, 145, 146, 148, 149, 169

L

Laminario educativo 11, 17

M

Maíz 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10

Matemática 66, 68, 69, 71, 72, 74

Metales pesados 20, 21, 24, 25, 30, 31, 32, 33, 100, 101, 105, 106, 110, 112, 115

Michoacán 1, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10

Microorganismos benéficos 11, 12, 13, 16

Mobile device 181, 184, 185, 187, 188, 189, 192, 193, 195, 196, 197, 198, 199

Multidisciplinario 151

P

Pensamiento 66, 67, 68, 70, 72, 73, 74, 151, 154, 165, 166, 170

Pensamiento económico 66, 67, 68, 70, 72, 73, 74

Plataforma tecnológica 169

Proceso 18, 23, 43, 56, 57, 59, 61, 63, 66, 67, 68, 70, 71, 72, 77, 78, 79, 80, 81, 83, 85, 86, 101, 102, 103, 105, 106, 110, 115, 153, 155, 156, 159, 161, 165, 166, 168, 169, 170, 171, 173, 174, 176, 177, 178, 179, 180

Programación Web 151, 153, 158, 159, 161, 163, 164, 166, 167

Proyecto integrador 151, 153, 154, 155, 157, 161, 162, 163

Puerto Rico 88, 89, 90, 94, 95, 98, 99

R

Remoción contaminantes 100

Resíduos líquidos tóxicos 20

Ruido 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 46, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54

S

Secador solar mixto 76, 80, 86

Sostenibilidad en el tratamiento de aguas 100

T

TIC en educación 169, 180

U

Urbano 20, 30, 40, 54, 55, 56, 57, 59, 60, 62, 63, 64, 65

Z

Zumpango 1, 4, 5, 7, 8, 9, 10

