

Ciência e Tecnologia

Para o Desenvolvimento
Ambiental, Cultural
e Socioeconômico

Xosé Somoza Medina
(organizador)

VOL II

 EDITORA
ARTEMIS
2023

Ciência e Tecnologia

Para o Desenvolvimento
Ambiental, Cultural
e Socioeconômico

Xosé Somoza Medina
(organizador)

VOL II

 EDITORA
ARTEMIS
2023



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
Prof.^a Dr.^a Amanda Ramalho de Freitas Brito, Universidade Federal da Paraíba
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
Prof.^a Dr.^a Begoña Blandón González, *Universidad de Sevilla*, Espanha
Prof.^a Dr.^a Carmen Pimentel, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
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
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos, Universidade Federal da Grande Dourados
Prof. Dr. David García-Martul, *Universidad Rey Juan Carlos de Madrid*, Espanha
Prof.^a Dr.^a Deuzimar Costa Serra, Universidade Estadual do Maranhão
Prof.^a Dr.^a Dina Maria Martins Ferreira, Universidade Estadual do Ceará
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
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/ Universidad Tecnológica Nacional, 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. Gabriel Díaz Cobos, *Universitat de Barcelona, Espanha*
Prof.^ª Dr.^ª Gabriela Gonçalves, Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), Portugal
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. 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 Alborno, *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. 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 Livia 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 Rodríguez, *Universidad Santiago de Compostela, Espanha*
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 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 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 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.^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. Universidade de São Paulo (USP), Brasil
Prof.^ª Dr.^ª Stanislava Kashtanova, *Saint Petersburg State University*, Russia
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 II [livro eletrônico] / Organizador Xosé Somoza Medina. – Curitiba, PR: Artemis, 2023.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

Edição bilingue

ISBN 978-65-87396-76-7

DOI 10.37572/EdArt_270223767

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

CDD 363.7

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422



EDITORA
ARTEMIS

2023

Editora Artemis

Curitiba-PR Brasil

www.editoraartemis.com.br

e-mail: publicar@editoraartemis.com.br

PRÓLOGO

Este libro presenta una colección de artículos de investigación que bajo distintos ámbitos de conocimiento realizan avances de interés en la ciencia y la tecnología. La sociedad del siglo XXI se distingue de la de épocas pretéritas por su capacidad analítica. A diferencia de lo que ocurría en otras épocas, en nuestro mundo contemporáneo tenemos demasiada información y avanzar en el conocimiento significa realizar una investigación original sobre otros antecedentes previos y analizar una gran cantidad de datos para poder extraer conclusiones que signifiquen un desarrollo, un avance entre la situación anterior y la posterior, aunque sea a pequeña escala en un contexto local y en un ámbito científico muy concreto. La suma de miles de esos pequeños avances y la interconexión mundial sostienen a la ciencia y la tecnología del siglo XXI.

Este es el objetivo de este libro, realizar avances en la ciencia y la tecnología para el desarrollo ambiental, cultural y socioeconómico, desde un posicionamiento académico, comprometido con el rigor científico y el desarrollo del ser humano.

Para ello se han compendiado veinticuatro artículos de investigación en dos apartados, ciencia y tecnología. En el primer conjunto nos encontramos con artículos que desde las ciencias ambientales o las ciencias sociales realizan propuestas de mejora de aspectos concretos sobre hidrología, regeneración de suelo agrícola, cuidado ambiental, recursos humanos, ciudades igualitarias o paisajes culturales.

En el segundo bloque, se agrupan trabajos de ingeniería química, ingeniería industrial o ingeniería forestal que relatan avances en distintas tecnologías, relacionadas con el biogás de los vertederos de residuos, los usos de nuevos materiales sintéticos, la química de determinados productos y su toxicidad, o las características bioestructurales de la madera de roble.

Xosé Somoza Medina
Universidad de León, España

SUMÁRIO

I CIENCIAS PARA EL DESARROLLO AMBIENTAL, CULTURAL Y SOCIOECONÓMICO

CAPÍTULO 1..... 1

EL RÍO NAZAS COMO SOLUCIÓN BASADA EN LA NATURALEZA PARA LA COMARCA LAGUNERA

Ana Cecilia Tobías Estrada

José Avidán Bravo Jácome

Alejandra Peña García

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2702237671

CAPÍTULO 2..... 19

SIMULACIÓN Y PRONÓSTICO DE CAUDALES DIARIOS DEL RÍO AMAZONAS (TAMSHIYACU) USANDO MODELO HÍBRIDO WAVELET REDES NEURONALES

Lucio Vergara Saturno

Waldo Sten Lavado-Casimiro

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2702237672

CAPÍTULO 3..... 38

BIORESTORATION OF AN AGRICULTURAL SOIL IMPACTED BY WASTE MOTOR OIL

Monserrat Torres-Olaya

Juan Luis Ignacio-De la Cruz

Gabriel Gallegos-Morales

Juan Manuel Sánchez-Yáñez

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2702237673

CAPÍTULO 4..... 50

CARBONO ORGÁNICO SECUESTRADO EN SISTEMAS AGROFORESTALES EVALUADOS EN EL CANTÓN MEJÍA, PICHINCHA, ECUADOR

R. A. Ramos Veintimilla

C. M. Nieto Cabrera

J. R. Limongi Andrade

F. M. Romero Mancero

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2702237674

CAPÍTULO 5..... 65

CREATIVIDAD, INGENIO Y EDUCACIÓN PARA TRANSFORMAR EN VALOR LOS RESIDUOS GENERADOS DE LA PODA DE ÁRBOLES; EL CASO DEL PROSOPIS GLANDULOSA (MEZQUITE)

José Melero-Oláguez
Argelia Melero-Hernández
Jorge Murillo-Romo
Arturo Murillo-Herrera

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2702237675

CAPÍTULO 6..... 74

PROGRAMA DE CONSERVACIÓN Y FOMENTO DE LA CULTURA DE CUIDADO AMBIENTAL EN EL MUNICIPIO DE SAN JUAN ATZOMPA, PUEBLA, MÉXICO

Sergio Alberto Vega Cisneros
Fabiola Mendoza Morales
Rosa María Canalizo Bravo
M.A. Claudia Domínguez Olmos
M.A. Rosario Mejía Ramírez
M.A. Adalit Arias Aragón

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2702237676

CAPÍTULO 7..... 80

EMPRENDEDORISMO 360°

Luis Alberto Ynfante

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2702237677

CAPÍTULO 8..... 89

ELEMENTOS CLAVES PARA LA PROFESIONALIZACIÓN DEL RECURSO HUMANO EN ORGANISMOS OPERADORES DE MÉXICO

Carlos Alejandro Hernández Morales
Daniel Salas Limón

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2702237678

CAPÍTULO 9..... 102

ANÁLISIS DEL RENDIMIENTO ESCOLAR MODALIDAD VIRTUAL Y PRESENCIAL EN LA UNIDAD DE APRENDIZAJE DE FÍSICA BÁSICA DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CAMPECHE

Mayté Cadena González

María Alejandra Sarmiento Bojórquez

Juan Fernando Casanova Rosado

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2702237679

CAPÍTULO 10..... 115

MEJORAMIENTO DE LA FUERZA DE TRABAJO UTILIZANDO SIMULACION

Jorge Tomás Gutiérrez Villegas

María Leticia Silva Ríos

Edgar Omar Gutiérrez Villegas

 https://doi.org/10.37572/EdArt_27022376710

CAPÍTULO 11..... 125

LA PERSPECTIVA DE GÉNERO EN LAS CIUDADES ESPAÑOLAS. UN ANÁLISIS EXPLORATORIO

Bárbara Atanes Delgado

Xosé Somoza Medina

 https://doi.org/10.37572/EdArt_27022376711

CAPÍTULO 12..... 149

UN SENDERO CON TERRITORIALIDAD LOCAL EN LA QUEBRADA DE EL TALA, VALLE DE CATAMARCA

Ezequiel Fonseca

Claudio Caraffini

Cristian Melián

 https://doi.org/10.37572/EdArt_27022376712

II TECNOLOGÍAS PARA PARA EL DESARROLLO AMBIENTAL, CULTURAL Y SOCIOECONÓMICO

CAPÍTULO 13..... 158

ESTUDIO DE MODELOS MATEMATICOS PARA CALCULO DEL BIOGAS PRODUCIDO EN UN VERTEDERO

Sandra Maria Martinez

Patricia María Albarracin

Luis Francisco Garcia

Santiago Ezequiel Torres

 https://doi.org/10.37572/EdArt_27022376713

CAPÍTULO 14..... 164

TECNOLOGÍA BTS-MP_{DRY} PARA LA LIMPIEZA DEL BIOGÁS. UNA FORMA EFICIENTE DE ELIMINAR COMPONENTES PELIGROSOS DEL BIOGÁS DE VERTEDEROS

Joaquín Reina Hernández

 https://doi.org/10.37572/EdArt_27022376714

CAPÍTULO 15..... 174

GEOPOLÍMEROS: EL AVE FENIX DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN EMERGENTES Y SU APLICACIÓN EN LA REMEDIACIÓN AMBIENTAL

Luis Felipe Rodríguez Alfaro

Edith Luévano Hipólito

Leticia Myriam Torres Martínez

 https://doi.org/10.37572/EdArt_27022376715

CAPÍTULO 16..... 185

MACROPOROUS SILICON STRUCTURES IN 700 NM AND 500 NM

Angel Rodríguez

Didac Vega

Jordi Llorca

 https://doi.org/10.37572/EdArt_27022376716

CAPÍTULO 17..... 198

PARTIAL REPLACEMENT OF SODIUM CHLORIDE BY POTASSIUM CHLORIDE IN GREEN TABLE OLIVES. LOOKING FOR A HEALTHY AND ECONOMIC ALTERNATIVE IN ARGENTINA

Mariela Beatriz Maldonado

Leonel Lisanti

Ariel Márquez

Noemi Graciela Maldonado

Pablo Enrique Martín

Daniela Adriana Barrera

 https://doi.org/10.37572/EdArt_27022376717

CAPÍTULO 18..... 207

ENSAYOS DE PUESTA A PUNTO PARA ESTUDIOS DE DIFUSIÓN DE ARSÉNICO EN *DAUCUS CAROTA*

Oscar Daniel Galvez

Mariela Beatriz Maldonado

 https://doi.org/10.37572/EdArt_27022376718

CAPÍTULO 19 **216**

TOXIC EFFECTS OF CONSTITUENTS OF THE FERN *STICHERUS QUADRIPARTITUS* AGAINST *SPODOPTERA FRUGIPERDA* AND *PLODIA INTERPUNCTELLA*

Fernando Livio Corzo

Susana Beatriz Popich

 https://doi.org/10.37572/EdArt_27022376719

CAPÍTULO 20 **228**

ANÁLISIS DE CASO EN EL CAMPO DE LA INGENIERÍA HACIENDO USO DE TÓPICOS DE LAS CIENCIAS BÁSICAS. UN ENFOQUE BASADO DISEÑO INSTRUCCIONAL

Alejandro Armando Hossian

Emanuel Maximiliano Alveal

 https://doi.org/10.37572/EdArt_27022376720

CAPÍTULO 21 **245**

SUPPLEMENTARY FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS (FMEA) FOR SAFETY APPLICATION STANDARDS DIN EN ISO 13849 SAFETY FUNCTION-FMEA

Christa Düsing

David Prust

 https://doi.org/10.37572/EdArt_27022376721

CAPÍTULO 22 **264**

REACCIÓN DE ESPECIES FORESTALES DE ULTRA-RÁPIDO CRECIMIENTO A PODA TOTAL, EN ESTEPA ESPINOSA MONTANO BAJO, ECUADOR

R. A. Ramos Veintimilla

A. S. Guanaga Paredes

F. A. Sigcha

F. M. Romero Mancero

 https://doi.org/10.37572/EdArt_27022376722

CAPÍTULO 23 **279**

INFLUENCIA DE LA PARED CELULAR EN LA DENSIDAD DE LA MADERA DE ROBLE (*Quercus robur* L.)

Guillermo Riesco Muñoz

Andrés Remacha Gete

 https://doi.org/10.37572/EdArt_27022376723

CAPÍTULO 24288

EMERGENCY REMOTE TEACHING IN PROCESS SIMULATION USING DWSIM: A
CASE STUDY FROM DIQ-UMAG, CHILEAN PATAGONIA

Daniela Navarro-Pérez

Juan C. Moreno-Díaz

Pedro Simeone-Barrientos

 https://doi.org/10.37572/EdArt_27022376724

SOBRE O ORGANIZADOR.....312

ÍNDICE REMISSIVO313

CAPÍTULO 15

GEOPOLÍMEROS: EL AVE FENIX DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN EMERGENTES Y SU APLICACIÓN EN LA REMEDIACIÓN AMBIENTAL¹

Data de submissão: 06/12/2022

Data de aceite: 21/12/2022

Luis Felipe Rodríguez Alfaro

Universidad Autónoma de Nuevo León
Instituto de Ingeniería Civil
Departamento de Ecomateriales y Energía
Ciudad Universitaria
San Nicolas de los Garzas
Nuevo León, México
<https://orcid.org/0000-0002-7167-7874>

Edith Luévano Hipólito

Universidad Autónoma de Nuevo León
Instituto de Ingeniería Civil
Departamento de Ecomateriales y Energía
Ciudad Universitaria
San Nicolas de los Garzas
Nuevo León, México
<https://orcid.org/0000-0003-2988-405X>

Leticia Myriam Torres Martínez

Universidad Autónoma de Nuevo León
Instituto de Ingeniería Civil
Departamento de Ecomateriales y Energía
Ciudad Universitaria
San Nicolas de los Garzas
Nuevo León, México
<https://orcid.org/0000-0003-3328-0240>

¹ Los autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo financiero a través del proyecto: Paradigmas y Fronteras de la Ciencia 320379 y por la beca doctoral número 805191. Los autores también declaran que no tienen conflictos de intereses financieros en competencia ni relaciones personales conocidas que pudieran haber influido en el trabajo informado en este documento.

RESUMEN: El concreto es uno de los materiales antropogénicos más utilizado en el mundo. Sin embargo, el continuo aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero generadas durante su fabricación, obliga a las industrias a buscar alternativas de producción cada vez más ecológicas y sostenibles, aplicando para ello las estrategias de la economía circular, reciclando diferentes residuos industriales para la elaboración de nuevos productos y procesos. Con base en lo anterior, los geopolímeros parecen ser una opción prometedora; al ser un sustituto sustentable del cemento clásico, los cuales pueden poseer características mecánicas superiores y un requerimiento energético inferior, además de que pueden ser fabricados a partir del aprovechamiento de cenizas y otros subproductos industriales. Recientemente, se ha encontrado su funcionalidad para aplicaciones más avanzadas para diferentes aplicaciones de remediación ambiental con procesos avanzados de oxidación. Gracias a su aplicación, la industria del cemento podría convertirse en un futuro cercano en un ente más respetuoso con el medio ambiente al reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, consumir menos recursos no renovables y combatir la contaminación ambiental.

PALABRAS CLAVE: Geopolímeros. Cementos alternativos. Economía circular. Remediación ambiental. Materiales inteligentes.

GEOPOLYMERS: THE PHOENIX OF THE EMERGING BUILDING MATERIALS AND THEIR APPLICATION IN ENVIRONMENTAL REMEDIATION

ABSTRACT: Concrete is one of the most widely used anthropogenic materials in the world; however, the continuous increase in greenhouse gas emissions during its production is forcing industries to look for a more ecological and sustainable option through the application of circular economy strategies, especially the part about the recycling of industrial wastes. Based on that, geopolymers could be a promising option; as being a sustainable substitute for classic cement, promising mechanical properties and a lower energy requirement; besides it has the advantage of using extensive sources of industrial by-products as raw material and lately it has been found it could be used as a more advanced application for environmental remediation by advanced oxidation process. With its application, the cement industry could become a more environmentally friendly entity in the future by reducing greenhouse gas emissions, consuming fewer non-renewable resources, and combating environmental pollution.

KEYWORDS: Geopolymers. Alternative cements. Circular economy. Environmental remediation. Smart materials.

1 INTRODUCCIÓN

Hoy en día el mundo ha entrado en una era de desarrollo sostenible y con ello muchas de las industrias se han visto en la necesidad de adaptarse a él. La industria y los materiales de construcción no han estado exentos de estos cambios, al contrario, se han encontrado con una fuerte presión social y política por adecuarse rápidamente a ellos debido a los daños ambientales cada vez más evidentes que ocasionan en el entorno natural. De acuerdo con algunas estimaciones, la industria del cemento consume alrededor del 40% de la producción total de energía (Shehata et al., 2022) y es muy probable que esta tendencia continúe en el futuro debido a su omnipresencia en los edificios e infraestructuras en general. El cemento se utiliza predominantemente en la producción del concreto, seguido del mortero, y se ha convertido en el segundo material más utilizado en masa después del agua (Monteiro et al., 2017). Debido a la escala masiva de producción, solamente este material representa directamente casi el 8% de las emisiones totales del CO₂ a nivel global (Arrigoni et al., 2020), siendo el cemento Portland ordinario (CPO) el material más utilizado y por consiguiente, uno de los máximos responsables de la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) (del Strother, 2019). Dado que las emisiones GEI provenientes de la industria del cemento son sustanciales, su mitigación se ha vuelto el enfoque principal en muchas de las investigaciones durante los últimos años (Miller et al., 2016; Du et al., 2019), junto con la búsqueda de nuevos materiales cementantes alternativos que lo sustituyan. De igual forma, recientes investigaciones se están orientando en que estos cementantes alternativos adquieran nuevas propiedades

para volverlos materiales de construcción inteligentes (Han et al., 2017). Entre ellos, los geopolímeros están sobresaliendo al ser materiales ecológicos, con propiedades físicas y mecánicas sobresalientes, lo que los posicionan como excelentes candidatos para sustituir en algunas aplicaciones al CPO. Además, para su fabricación se está utilizando residuos industriales lo que lo hace congruente con el modelo de economía circular. Por su parte, su estructura tridimensional muestra una gran afinidad para alojar nanopartículas, lo que les permiten volverse materiales de construcción inteligentes.

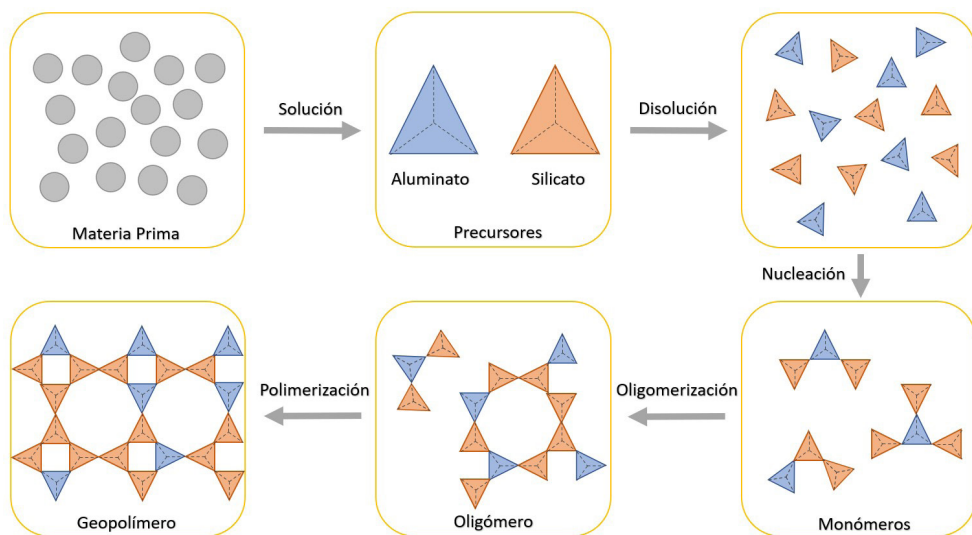
1.1 GEOPOLÍMEROS

El término “geopolímero” fue acuñado por primera vez por Joseph Davidovits en 1978 (Davidovits, 1991) y se define como un polímero inorgánico formado a través de la reacción de policondensación de ciertos sólidos derivados de desechos industriales (residuos) que contienen aluminosilicatos (aglutinantes) y que reaccionan con soluciones líquidas ricas en álcalis (activadores). El mecanismo de fraguado y endurecimiento del geopolímero no se comprende aún en su totalidad. Sin embargo, por consenso se ha establecido que el proceso de geopolimerización ocurre debido a la disolución de las materias primas que contienen aluminosilicatos en soluciones alcalinas y que conducen a la formación de monómeros de aluminato y silicato. Estos posteriormente se transforman en oligómeros, para finalmente convertirse en geopolímeros (Shehata et al., 2021) (Figura 1). Como subproductos industriales que se han utilizado como materia prima para estos materiales se encuentran la ceniza volante, el metacaolín, el humo de sílice, las cáscaras de arroz, las arcillas calcinadas, los residuos de vidrio, las zeolitas, entre otros (Zhang et al., 2014). Actualmente se está estudiando la posibilidad de utilizar además cenizas de materiales de construcción, desechos agrícolas o residuos mineros para su elaboración (Shehata et al., 2021).

Todo concreto u hormigón elaborado a partir de geopolímeros ha mostrado excelentes resultados cuando es aplicado en la ingeniería (Liew et al., 2016; Suwan y Fan, 2017), en parte se debe a sus características sobresalientes como es la alta resistencia al fuego, al calor, a la corrosión, a la compresión y a la flexión (Deshmukh et al., 2017). Asimismo, su alta durabilidad superior a la del CPO, que les ayuda a tener una mejor resistencia a la intemperie, los ataques químicos, la abrasión u otro ambiente agresivo, los convierte en una buena alternativa para el cemento convencional (Singh et al., 2015). Algunos estudios consideran que los geopolímeros, una vez endurecidos, exhiben propiedades similares a las rocas naturales densas como el granito o el mármol, lo que ha elevado su atención en fechas recientes (Allali et al., 2016). Al ser clasificado como

cemento verde se considera que produce beneficios ambientales significativos, ya que no solo recicla de manera efectiva los desechos sólidos y ahorra en muchos recursos naturales (piezas claves en la economía circular), sino que también puede reducir las emisiones GEI. Estudios sobre el análisis de ciclo de vida de los concretos geopoliméricos han mostrado que su uso, en el lugar del CPO, podría ayudar a reducir las emisiones GEI de entre un 9% hasta un 64% (McLellan et al., 2011).

Figura 1 – Proceso de formación de los geopolímeros.



La razón principal por la que este aglutinante no ha sido aún más ampliamente adoptado por la industria es debido a la falta actual de estándares regulatorios respaldados por pruebas y datos sobre su funcionalidad a largo plazo (Singh y Middendorf, 2020). Sin embargo, se cree que debido a sus altas propiedades mecánicas y beneficio ambiental, los geopolímeros pueden tener un futuro prometedor como material de construcción prospectivo (Shehata et al., 2021). Si lo anterior le sumamos su alta capacidad para incorporar nanopartículas para que adquiera nuevas propiedades (Zailan et al., 2016) y volverlos materiales de construcción inteligentes, sus perspectivas de uso aumentan aún más.

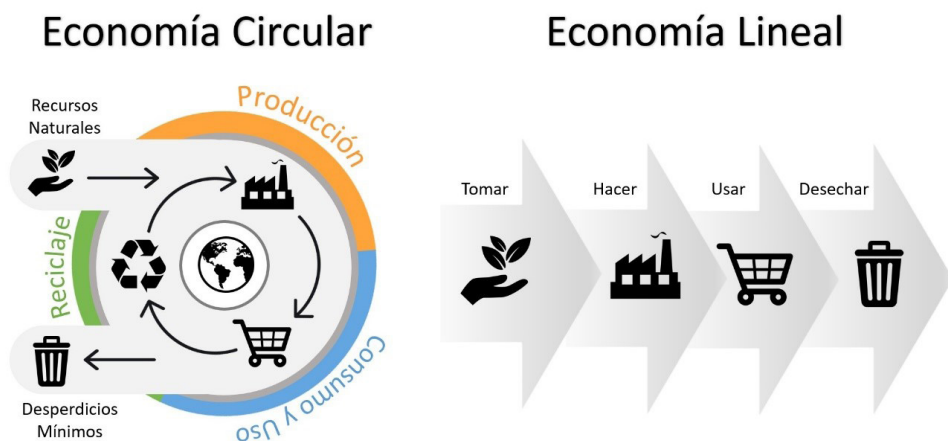
1.2 ECONOMÍA CIRCULAR

Para quienes no estén familiarizados con el tema, una economía circular (EC) es un diseño restaurativo y regenerativo que tiene como objetivo mantener los productos, componentes y materiales en su máxima utilidad y valor comercial durante el mayor

tiempo posible en circulación y procurando además una pérdida mínima de su calidad (Figura 2). Todo esto con el objetivo de desvincular el crecimiento demográfico con el consumo de recursos (Adams et al., 2017). Esto en contraposición con el modelo antiguo y lineal de consumo de recursos caracterizado en hacer, usar y desechar los materiales empleados. Gracias a ello, la EC ha logrado notoriedad últimamente debido también a que promete superar la contradicción entre el crecimiento económico con el bienestar ambiental, ambos temas de interés general en la sociedad actual (Marsh et al., 2022).

A pesar de ser de reciente creación y encontrarse aún en etapas iniciales, ya existen escuelas de pensamiento diferente sobre la EC aplicada en la industria constructora, aunque la mayoría de ellas compartiendo los mismos principios fundamentales, los cuales en esencia radican en una mejor gestión de los recursos, una optimización de su consumo y una maximización del bienestar social (Shehata et al., 2022). En la rama de la construcción se espera que con la EC se logre como objetivo final la formación de “edificios circulares”, término usado para definir un inmueble que estuvo diseñado, planificado, construido, operado, mantenido y deconstruido de manera consistente con los principios básicos de la economía circular (Pomponi y Moncaster, 2017).

Figura 2 – Diferencia entre el modelo de economía circular y economía lineal.



Dado que parte del principio de la economía circular es la reutilización y reciclaje de materiales con el objetivo de mantenerlos en circulación el máximo tiempo posible sin que la calidad del producto final se viese afectada, esto con el fin de reducir los flujos de recursos al continuar el uso de componentes aún funcionales para la formación de nuevos productos, evitando así el desperdicio y la extracción de nueva materia prima (Zhang et al., 2022). Los geopolímeros, por su naturaleza, parecen cumplir con este

objetivo volviéndolos candidatos idóneos para la aplicación efectiva de la EC en el sector de la construcción. Esto a pesar de que actualmente se cuenta con otros tipos de cementos considerados verdes (por su baja huella de carbono y por emplear parcialmente materiales reciclados) que pueden suplantar también al CPO (Miller y Myers, 2020). La mayoría de ellos con sus pro/contras y en etapas tempranas de exploración con miras en una indagación más exhaustiva sobre su aplicabilidad a largo plazo (Gartner y Sui, 2018). Sin embargo, siendo pocos de ellos con la capacidad de acoplarse efectivamente a un modelo EC. Solo los geopolímeros parecen predominar por ajustarse en mayor grado con dicho modelo (Singh y Middendorf, 2020) puesto que, además de presentar propiedades reológicas superiores al CPO y una muy alta huella ecológica en comparación con los demás, el reuso de subproductos industriales como componentes reciclados para la síntesis de estos materiales va en línea con las principales directrices afines en las pautas establecidas para una economía circular (Shehata et al., 2022).

1.3 APLICACIONES AVANZADAS

A pesar de que la principal aplicación de los geopolímeros se ha restringido a ser una simple alternativa verde para el cemento Portland, recientemente se ha encontrado que sus propiedades son adecuadas para una serie de aplicaciones más avanzadas, tales como adsorbentes, retardadores de flama, aislante térmico y de sonido, regulador de pH, entre otros, así como en la incorporación de catalizadores y fotocatalizadores para la eliminación de contaminantes peligrosos presentes en el aire y en las aguas residuales (Falah y MacKenzie, 2020; Cong y Cheng, 2021).

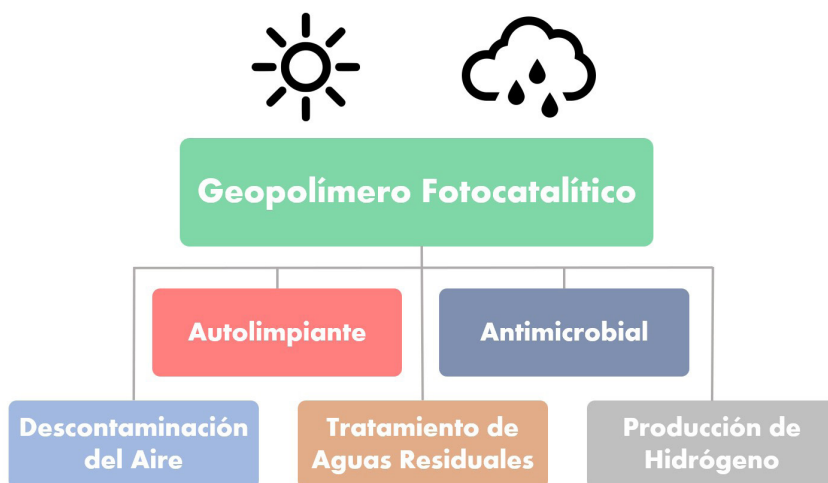
Debido a su alta resistencia a los entornos hostiles, es común que los geopolímeros sean utilizados para la producción de tuberías de alcantarillado, en aplicaciones de suelos que contienen ácidos agresivos (ej. ácido sulfúrico) y cuando se aplica acero reforzado en el concreto y que puede causar corrosión (Mehta y Siddique, 2018). También debido a la alta resistencia a la corrosión por cloruros, los geopolímeros se utilizan para estructuras de concreto como muelles, puentes costeros y soportes bajo el agua debido al constante ataque del agua salada (Almutairi et al., 2021). Fruto de su excelente estabilidad térmica a altas temperaturas, se les ha considerado buenos materiales refractarios con un gran potencial para la prevención de incendios (Shuai et al., 2020). Esta propiedad se le considera fundamental para los nuevos materiales de construcción, dado que pueden ayudar a reducir eficazmente el consumo de energía y contribuir a disminuir el efecto invernadero (Cong y Cheng, 2021). Thang et al. (2017) encontró que geopolímeros preparados a partir de desechos de vidrio mostraron mayor resistencia al calor y al

fuego en comparación con aquellos reportados con cenizas de cascara de arroz. Lahoti et al. (2018) señalaron que cuanto mayor es la resistencia del geopolímero, mejor es la resistencia al fuego por lo que, para los autores, la densificación de algunos sustratos y la curación de microfisuras son importantes para el aumento en la resistencia a la temperatura. Por su parte, Nuaklong et al. (2020) adicionaron nanopartículas de SiO_2 a un geopolímero elaborado con cenizas de cascara de arroz, lo que mejoró significativamente su resistencia al fuego.

Además del aislamiento térmico, el aislamiento acústico también es crucial en los materiales de construcción inteligentes, particularmente porque absorben el sonido, mejorando el confort acústico para los residentes, lo que reduce los riesgos para la salud asociados con la exposición prolongada a la contaminación acústica (Gao et al., 2020). Se considera que un geopolímero poroso, además de presentar baja conductividad térmica y bajo costo, puede presentar la propiedad de absorción del sonido (Luna-Galiano et al., 2018). Leiva et al. (2019) encontraron que el coeficiente de adsorción del sonido de un geopolímero es directamente proporcional con el aumento de la porosidad abierta; mientras que, El-Naggar et al. (2019) reportaron que al aumentar la porosidad del geopolímero a más del 50% se pueden producir materiales livianos con excelentes propiedades térmicas y acústicas.

Por otro lado, durante las últimas décadas la aplicación de las tecnologías avanzadas de oxidación como la fotocatalisis heterogénea, en materiales de construcción, ha permitido la eliminación de contaminantes ambientales en agua, aire y suelo, usando la energía solar como fuerza impulsora. Esto ha atraído la atención considerablemente, principalmente por la creciente urgencia en desarrollar nuevos materiales que ayuden también a mitigar los efectos del calentamiento global producto de los gases de efecto invernadero (Fermoso et al., 2020). Los geopolímeros se han convertido en una excelente opción para la eliminación fotooxidativa de diferentes contaminantes, a causa de que incorporan más fácilmente los nanomateriales fotocatalíticos, como el TiO_2 , y muestran una mayor capacidad para absorber e inmovilizar el material peligrosos a degradar en su estructura, (Zailan et al., 2016). La combinación de fotocatalizadores con geopolímeros ya ha sido explorada en la industria de la construcción con diferentes aplicaciones (Figura 3), obteniendo resultados alentadores (Zailan et al., 2016; Gasca-Tirado et al., 2017; Gutiérrez et al., 2020; Ji et al., 2021). Y se espera que esta línea de investigación en un futuro crezca a pasos agigantados.

Figura 3 – Aplicaciones de los geopolímeros fotocatalíticos.



A pesar de las distintas aplicaciones, todavía falta más investigación al respecto, pero se espera que en los próximos años aumente los estudios sobre los geopolímeros como materiales de construcción inteligente (Cong y Cheng, 2021). Y es que, dada la combinación de la funcionalidad con el respeto por el medio ambiente de los geopolímeros (Falah y MacKenzie, 2020), y su capacidad intrínseca para acoplarse a los nuevos lineamientos sobre la economía circular (Shehata et al., 2022) hace que estos nuevos materiales inteligentes lleguen a ser potencialmente importantes en un futuro próximo con el objetivo primordial de aminorar los problemas del cambio climático.

2 CONCLUSIONES

Hoy en día, la industria de la construcción es un sector que ejerce mucha presión sobre el entorno natural, por lo que su papel en la transición a una economía circular es primordial, en esencia la parte que trata sobre la reutilización y reciclaje de desechos industriales. En ese sentido, los geopolímeros son una solución viable a los problemas de impacto ambiental, al ser un cemento verde, que emite cantidades más bajas de CO₂ y se forman con residuos reciclados manteniendo sus propiedades mecánicas intactas, por lo que se han vuelto en una alternativa confiable a los materiales cementantes tradicionales. Además, este material inorgánico y ecológico se puede transformar en material de construcción inteligente al actuar como soporte para distintas especies, como el TiO₂, propiciando la capacidad de eliminar contaminantes ambientales tóxicos, mejorando su rendimiento y/o coadyuvando a mitigar los efectos de los gases de efecto invernadero. Sin embargo, teniendo en cuenta la creciente demanda de concreto

sostenible, se aconseja más estudios al respecto, principalmente aquellos centrados en su operatividad a largo plazo.

REFERENCIAS

Adams, K. T., Osmani, M., Thorpe, T., y Thornback, J. (2017). Circular economy in construction: current awareness, challenges and enablers. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Waste and Resource Management*, 170(1), 15-24. <https://doi.org/10.1680/jwarm.16.00011>

Allali, F., Joussein, E., Kandri, N. I., y Rossignol, S. (2016). The influence of calcium content on the performance of metakaolin-based geomaterials applied in mortars restoration. *Materials & Design*, 103, 1-9. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matdes.2016.04.028>

Almutairi, A. L., Tayeh, B. A., Adesina, A., Isleem, H. F., y Zeyad, A. M. (2021). Potential applications of geopolymer concrete in construction: A review. *Case Studies in Construction Materials*, 15, e00733. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00733>

Arrigoni, A., Panesar, D. K., Duhamel, M., Opher, T., Saxe, S., Posen, I. D., y MacLean, H. L. (2020). Life cycle greenhouse gas emissions of concrete containing supplementary cementitious materials: cut-off vs. substitution. *Journal of Cleaner Production*, 263, 121465. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121465>

Cong, P., y Cheng, Y. (2021). Advances in geopolymer materials: A comprehensive review. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 8. <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2021.03.004>

Davidovits, J. (1991). Geopolymers: Inorganic polymeric new materials. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 37(8), 1633-1656. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/bf01912193>

del Strother, P. (2019). Manufacture of Portland Cement. In *Lea's Chemistry of Cement and Concrete* (pp. 31-56). <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100773-0.00002-2>

Deshmukh, K., Parsai, R., Anshul, A., Singh, A., Bharadwaj, P., Gupta, R., Mishra, D., y Sitaram Amritphale, S. (2017). Studies on fly ash based geopolymeric material for coating on mild steel by paint brush technique. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 75, 139-144. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2017.03.002>

Du, Z., Wei, J., y Cen, K. (2019). China's carbon dioxide emissions from cement production toward 2030 and multivariate statistical analysis of cement consumption and peaking time at provincial levels. *Environ Sci Pollut Res Int*, 26, 28372-28383.

El-Naggar, K. A. M., Amin, S. K., El-Sherbiny, S. A., y Abadir, M. F. (2019). Preparation of geopolymer insulating bricks from waste raw materials. *Construction and Building Materials*, 222, 699-705. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.06.182>

Falah, M., y MacKenzie, K. J. D. (2020). Photocatalytic Nanocomposite Materials Based on Inorganic Polymers (Geopolymers): A Review. *Catalysts*, 10(10), 1158. <https://www.mdpi.com/2073-4344/10/10/1158>

Fermoso, J., Sánchez, B., y Suarez, S. (2020). Air purification applications using photocatalysis. In *Nanostructured Photocatalysts* (pp. 99-128). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-817836-2.00005-3>

Gao, H., Liu, H., Liao, L., Mei, L., Zhang, F., Zhang, L., Li, S., y Lv, G. (2020). A bifunctional hierarchical porous kaolinite geopolymer with good performance in thermal and sound insulation. *Construction and Building Materials*, 251, 118888. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118888>

- Gartner, E., y Sui, T. (2018). Alternative cement clinkers. *Cement and Concrete Research*, 114, 27-39. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2017.02.002>
- Gasca-Tirado, J. R., Manzano-Ramírez, A., y Reyes-Araiza, J. L. (2017). 8 - The potential use of geopolymer for cleaning air. In H. Savastano Junior, J. Fiorelli, & S. F. dos Santos (Eds.), *Sustainable and Nonconventional Construction Materials using Inorganic Bonded Fiber Composites* (pp. 221-233). Woodhead Publishing. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102001-2.00009-7>
- Gutiérrez, Villaquirán-Caicedo, M., Ramírez, B., Astudillo, y Mejia, R. (2020). Evaluation of the Antibacterial Activity of a Geopolymer Mortar Based on Metakaolin Supplemented with TiO₂ and CuO Particles Using Glass Waste as Fine Aggregate. *Coatings*, 10, 157. <https://doi.org/10.3390/coatings10020157>
- Han, B., Zhang, L., y Ou, J. (2017). *Smart and Multifunctional Concret (Photocatalytic Concrete)*. <https://doi.org/10.1007/978-981-10-4349-9>
- Ji, Z., Zhang, Y., Qi, X., Wang, Y., Xia, X., y Pei, Y. (2021). Low-cost and facile fabrication of recyclable and reusable waste-based geopolymer for visible-light photocatalysis degradation. *Journal of Cleaner Production*, 310, 127434. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127434>
- Lahoti, M., Wong, K. K., Tan, K. H., y Yang, E.-H. (2018). Effect of alkali cation type on strength endurance of fly ash geopolymers subject to high temperature exposure. *Materials & Design*, 154, 8-19. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matdes.2018.05.023>
- Leiva, C., Luna-Galiano, Y., Arenas, C., Alonso-Fariñas, B., y Fernández-Pereira, C. (2019). A porous geopolymer based on aluminum-waste with acoustic properties. *Waste Management*, 95, 504-512. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.06.042>
- Liew, Y.-M., Heah, C.-Y., Mohd Mustafa, A. B., y Kamarudin, H. (2016). Structure and properties of clay-based geopolymer cements: A review. *Progress in Materials Science*, 83, 595-629. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2016.08.002>
- Luna-Galiano, Y., Leiva, C., Arenas, C., y Fernández-Pereira, C. (2018). Fly ash based geopolymeric foams using silica fume as pore generation agent. Physical, mechanical and acoustic properties. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 500, 196-204. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jnoncrysol.2018.07.069>
- Marsh, A. T. M., Velenturf, A. P. M., y Bernal, S. A. (2022). Circular Economy strategies for concrete: implementation and integration. *Journal of Cleaner Production*, 362, 132486. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132486>
- McLellan, B. C., Williams, R. P., Lay, J., van Riessen, A., y Corder, G. D. (2011). Costs and carbon emissions for geopolymer pastes in comparison to ordinary portland cement. *Journal of Cleaner Production*, 19(9), 1080-1090. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.02.010>
- Mehta, A., y Siddique, R. (2018). Sustainable geopolymer concrete using ground granulated blast furnace slag and rice husk ash: Strength and permeability properties. *Journal of Cleaner Production*, 205, 49-57. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.313>
- Miller, S., y Myers, R. (2020). Environmental Impacts of Alternative Cement Binders. *Environ. Sci. Technol.*, 54(2), 677-686. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b05550>
- Miller, S. A., Horvath, A., y Monteiro, P. J. M. (2016). Readily implementable techniques can cut annual CO₂ emissions from the production of concrete by over 20%. *Environmental Research Letters*, 11(7), 074029. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/7/074029>

- Monteiro, P. J. M., Miller, S. A., y Horvath, A. (2017). Towards sustainable concrete. *Nature Materials*, 16(7), 698-699. <https://doi.org/10.1038/nmat4930>
- Nuaklong, P., Jongvivatsakul, P., Pothisiri, T., Sata, V., y Chindaprasirt, P. (2020). Influence of rice husk ash on mechanical properties and fire resistance of recycled aggregate high-calcium fly ash geopolymer concrete. *Journal of Cleaner Production*, 252, 119797. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119797>
- Pomponi, F., y Moncaster, A. (2017). Circular economy for the built environment: A research framework. *Journal of Cleaner Production*, 143, 710-718. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.055>
- Shehata, N., Mohamed, O. A., Sayed, E. T., Abdelkareem, M. A., y Olabi, A. G. (2022). Geopolymer concrete as green building materials: Recent applications, sustainable development and circular economy potentials. *Science of The Total Environment*, 836, 155577. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155577>
- Shehata, N., Sayed, E. T., y Abdelkareem, M. A. (2021). Recent progress in environmentally friendly geopolymers: A review. *Science of The Total Environment*, 762, 143166. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143166>
- Shuai, Q., Xu, Z., Yao, Z., Chen, X., Jiang, Z., Peng, X., An, R., Li, Y., Jiang, X., y Li, H. (2020). Fire resistance of phosphoric acid-based geopolymer foams fabricated from metakaolin and hydrogen peroxide. *Materials Letters*, 263, 127228. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matlet.2019.127228>
- Singh, B., Ishwarya, G., Gupta, M., y Bhattacharyya, S. K. (2015). Geopolymer concrete: A review of some recent developments. *Construction and Building Materials*, 85, 78-90. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.03.036>
- Singh, N. B., y Middendorf, B. (2020). Geopolymers as an alternative to Portland cement: An overview. *Construction and Building Materials*, 237, 117455. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117455>
- Suwan, T., y Fan, M. (2017). Effect of manufacturing process on the mechanisms and mechanical properties of fly ash-based geopolymer in ambient curing temperature. *Materials and Manufacturing Processes*, 32(5), 461-467. <https://doi.org/10.1080/10426914.2016.1198013>
- Thang, N. H., Kien, P. T., y Abdullah, M. M. A. B. (2017). Lightweight Heat Resistant Geopolymer-based Materials Synthesized from Red Mud and Rice Husk Ash Using Sodium Silicate Solution as Alkaline Activator. *MATEC Web Conf.*, 97, 01119. <https://doi.org/10.1051/mateconf/20179701119>
- Zailan, S., Mahmed, N., Abdullah, M. M. A. B., y Sandu, A. V. (2016). Self-cleaning geopolymer concrete - A review. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 133, 012026. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/133/1/012026>
- Zhang, C., Hu, M., Di Maio, F., Sprecher, B., Yang, X., y Tukker, A. (2022). An overview of the waste hierarchy framework for analyzing the circularity in construction and demolition waste management in Europe. *Science of The Total Environment*, 803, 149892. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149892>
- Zhang, Z., Provis, J. L., Reid, A., y Wang, H. (2014). Geopolymer foam concrete: An emerging material for sustainable construction. *Construction and Building Materials*, 56, 113-127. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.01.081>

SOBRE O ORGANIZADOR

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 Ourenseño 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 (Sofía), 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

Abastecimiento energético 158

Agricultura 1, 2, 3, 4, 6, 9, 16, 52, 226, 276

Agua 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 35, 66, 72, 83, 89, 90, 91, 92, 94, 95, 97, 99, 100, 101, 152, 153, 154, 164, 165, 166, 167, 168, 170, 175, 179, 180, 208, 209, 281, 282, 283

ANN 19, 20, 21, 22, 23, 25, 26, 29, 30, 31, 33, 34, 35, 37

Arqueología 149, 151, 156, 157

Arsénico 207, 208, 209, 210, 213, 214, 215

B

Bioenergía 158, 164

Biogás 84, 158, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 172, 173

Biomasa 50, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 63, 64, 83, 84, 158, 266, 269, 271, 277, 278

C

Cauce 1, 5, 6, 7, 11, 15, 16, 17

Caudal mínimo 1, 10, 28

Cementos alternativos 174

Ciudad igualitaria 125, 126, 127, 144

Coahuila 1, 2, 3, 5, 7, 14, 18, 38

Comarca Lagunera 1, 2, 3, 4, 6, 15, 16, 17, 18

Conservación 2, 10, 12, 13, 14, 15, 17, 64, 74, 75, 77, 78, 90, 91, 92, 232, 234, 235

COVID-19 86, 102, 103, 113, 114, 288, 289, 290, 291, 308, 309, 311

Cuenca 1, 4, 5, 6, 7, 8, 11, 12, 13, 15, 16, 17, 19, 27, 154

Cultura ambiental 65, 74, 75, 78

D

Daucus carota 207, 208, 209, 213, 215

Dendroenergía 265

Densidad anhidra 279, 283, 284, 285

Densidad básica 279, 283, 284, 285

Densidad de la pared celular 279, 281, 282, 283, 284, 285, 286

Derechos 1, 2, 7, 9, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 90, 128, 130

Desarrollo cognitivo 228, 243
Desarrollo de competencias 89, 95
Desarrollo local 80
Difusión 77, 86, 207, 209, 213, 214
DIN EN ISO 13849 245, 262
Diseño de productos 65
Diterpenoids 216, 218, 221, 222, 223, 224, 225, 226, 227
Durango 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 10, 296, 311
DWSIM 288, 289, 290, 292, 294, 295, 296, 297, 298, 299, 300, 301, 302, 303, 304, 305, 306, 307, 308, 309, 310

E

Economía 4, 64, 66, 69, 73, 80, 82, 91, 151, 158, 170, 174, 176, 177, 178, 179, 181, 276
Economía circular 66, 69, 73, 158, 174, 176, 177, 178, 179, 181
Ecosistema 1, 2, 4, 9, 10, 12, 16, 80, 81
Educación 15, 18, 65, 67, 80, 83, 85, 87, 88, 90, 93, 97, 101, 102, 103, 104, 107, 108, 113, 114, 124, 125, 135, 137, 145, 289, 309, 310, 311
E-learning 102, 103, 107, 113, 114
Electrochemical etching 185, 186, 196, 197
Emprendedorismo 80, 81, 82, 83, 85, 86, 88
Endophytic bacteria 39
Energía 21, 72, 80, 81, 84, 85, 88, 158, 159, 160, 162, 165, 166, 168, 169, 172, 173, 174, 175, 179, 180, 228, 232, 233, 234, 235, 238, 240, 266, 278
Energías renovables 67, 80, 81, 83, 85, 88, 159, 160
Espacio 50, 53, 86, 103, 104, 108, 137, 140, 141, 142, 143, 147, 149, 150, 151, 152, 154, 155, 156, 237
España 18, 87, 88, 112, 125, 127, 128, 131, 135, 136, 139, 140, 144, 146, 147, 156, 164, 173, 243, 279

F

Failure Mode and Effects Analysis 245, 262
Feminismo en la ciudad 125
FMEA 245, 246, 249, 250, 253, 254, 255, 257, 259, 260, 261, 262, 263
Fuerza de trabajo 115, 120
Functional foods 199

G

Gas sensors 185, 186, 189

Geopolímeros 174, 176, 177, 178, 179, 180, 181

Gestión 1, 2, 5, 7, 8, 9, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 20, 66, 74, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 99, 100, 101, 108, 114, 125, 136, 145, 159, 178, 311

Gestión educativa 89

Grado de terneza 207, 209, 211, 212

H

Híbrido 19, 21, 26, 30, 33, 34, 264, 267, 270, 271, 278

Historia 18, 125, 126, 147, 149, 151, 155, 156, 157

Hydrocarbons 39, 43, 45, 48

I

Instrucción 228, 229, 230, 231, 233, 237, 243

L

Laguna 1, 3, 4, 7, 18, 48, 73

Lepidoptera 216, 217, 225, 226, 227

Lethal and sublethal effects 216, 225, 227

Líneas de producción 115, 118, 121, 122, 123

M

Macroporous silicon 185, 186, 187, 188, 189, 190, 192, 196, 197

Materiales inteligentes 174, 181

Mathematical modeling 199, 201, 202

Medio ambiente 1, 2, 4, 11, 12, 13, 14, 16, 17, 64, 73, 78, 79, 81, 85, 88, 90, 132, 133, 134, 159, 163, 174, 181

Métodos de trabajo 115, 118, 121, 122, 123

Mezquite 65, 66, 67, 68, 69, 73

Mid Infrared 185, 190, 197

Mineralization 39, 40, 43, 47, 208

Modelo matemático 22, 228, 231, 233, 234, 236, 237, 238, 239, 240, 241

Modelos de simulación 115, 116, 124

Municipio 4, 6, 66, 74, 75, 76, 77, 135, 138, 158, 160, 161

O

Olives 198, 199, 200, 201, 202, 203, 205, 206

P

Perspectiva de género 125, 126, 127, 130, 131, 132, 134, 136, 138, 143, 144, 145, 146, 147

Plants 38, 39, 41, 47, 216, 217, 227, 265, 277, 292, 300

Poda 65, 66, 67, 68, 264, 265, 267, 268, 269, 270, 271, 272, 273, 274, 275

Porosidad 180, 279, 281, 283, 284, 285, 286

Potassium chloride 199, 200, 201, 205

Presa 1, 3, 4, 5, 6, 7, 10, 18

Process simulation 288, 290, 291, 292, 293, 299, 300, 301, 302, 306, 308

Profesionalización en el sector hídrico 89

Programa 10, 19, 54, 63, 66, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 89, 91, 92, 95, 97, 98, 99, 103, 116, 137, 140, 161, 268, 276, 283

Pronóstico a corto plazo 19

Propiedad física 279

Purificación 164, 169

R

Recepa 264, 265, 269, 275

Remediación ambiental 174

Remote emergency teaching 288

Rendimiento escolar 102, 104, 105, 106, 107, 108, 111, 112, 113, 114

Residuos sólidos 65, 158, 159, 160, 163

Residuos sólidos urbanos 158, 159, 160, 163

Riego 1, 3, 4, 5, 7, 13

Río 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 17, 18, 19, 21, 27, 28, 30, 34, 150, 152, 218, 226

Río Amazonas 19, 21, 27, 28, 30, 34

S

Safety Function-FMEA 245

Secuestro de carbono 51, 52, 59

Sendero 149, 150, 151, 153, 154, 155

Servicio ambiental 51, 52, 60, 61

Siloxanos 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 172, 173

Silvicultura 265
Sistema agroforestal 51, 61, 62, 64
Soil 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 51
Sticherus quadripartitus 216, 217, 218

T

Tecnologías 4, 82, 107, 140, 158, 159, 164, 166, 167, 173, 180, 312
Teorías prescriptivas 228
Tiempo de cocción 207, 209, 211, 212, 214
Tierra 1, 51, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 64, 66, 154, 156
Transformación 65, 137, 138, 149, 152, 158, 281, 309
Transformada wavelet 19, 21, 24, 30

U

Urbanismo no sexista 125

V

Vertederos 158, 160, 164, 165, 167, 171, 173

Y

YouTube channel 288, 290, 299, 300, 302, 304, 306, 310