

Ciência e Tecnologia

Para o Desenvolvimento
Ambiental, Cultural
e Socioeconômico

Xosé Somoza Medina
(organizador)

VOL IX

 EDITORA
ARTEMIS
2026

Ciência e Tecnologia

Para o Desenvolvimento Ambiental, Cultural e Socioeconômico

Xosé Somoza Medina
(organizador)

VOL IX

 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 Emilias 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 Godínez, Universidad Autónoma de Baja California, México

Prof. Dr. Juan Carlos Cancino Díaz, 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 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 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 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^aGraça 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 IX [livro eletrônico] /
Organizador Xosé Somoza Medina. – 1. ed. – Curitiba,
PR: Editora Artemis, 2026.
il. color.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Edição bilíngue.

Inclui bibliografia.

ISBN 978-65-82858-30-7

DOI 10.37572/EdArt_280926307

1. Ciência e tecnologia. 2. Meio ambiente. 3.

Desenvolvimento sustentável. I. Somoza Medina, Xosé.

CDD 600

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422



Editora Artemis

Curitiba-PR Brasil

www.editoraartemis.com.br

e-mail: publicar@editoraartemis.com.br

PRÓLOGO

Un nuevo volumen de la serie ***Ciência e Tecnologia para o Desenvolvimento Ambiental, Cultural e Socioeconômico***, el noveno ya, nos permite volver a reflexionar sobre los avances científico-tecnológicos y la transferencia de conocimientos a la sociedad. La ciencia y la tecnología ocupan hoy un lugar central en la comprensión y transformación de los distintos ámbitos de la vida contemporánea, pero tan importante es el avance en sí como la creciente posibilidad de difusión de esas innovaciones. El desarrollo actual no se limita a la creación de nuevos dispositivos, procesos o sistemas, sino que se manifiesta también en la capacidad de analizar problemas complejos, optimizar recursos, generar soluciones sostenibles, fortalecer la formación científica y ampliar las formas de interacción entre conocimiento, sociedad y desarrollo. Este libro es un buen ejemplo de esto último.

El presente volumen, ***Ciência e Tecnologia para o Desenvolvimento Ambiental, Cultural e Socioeconômico IX***, reúne investigaciones que reflejan esta diversidad de aplicaciones a la sociedad de diferentes avances científicos y técnicos. Los capítulos aquí presentados abordan problemas y aplicaciones diversas, pero comparten una misma orientación: la búsqueda de respuestas actuales a situaciones problemáticas fundamentadas desde la ingeniería, la innovación tecnológica, la ciencia de materiales, la energía, el ambiente, la inteligencia artificial, la formación científico-tecnológica, o la comunicación de la ciencia.

La obra se organiza en tres grandes ejes temáticos.

El primero, ***“Ingeniería, Metodologías y Procesos Tecnológicos”***, reúne seis trabajos vinculados con modelado dinámico, robótica, diagnóstico técnico mediante vibraciones, procesos de corte y manufactura, mejora de la productividad industrial, estudio de materiales y biopolímeros y metodología de investigación en ingeniería. Estos capítulos evidencian el papel de la tecnología en la modelización, experimentación y optimización de procesos y la importancia de los avances metodológicos en el desarrollo de soluciones aplicadas a contextos industriales y científicos.

El segundo eje, ***“Energía y Sostenibilidad”***, integra cinco investigaciones relacionadas con la generación de energía mediante microturbinas hidráulicas, el aprovechamiento de la energía de las mareas, la exposición a contaminantes derivados del uso de biomasa como fuente de energía, la importancia de las plantas medicinales en la dieta y en la cultura tradicional y los nuevos enfoques de la comunicación pública sobre energía nuclear. En conjunto, estos estudios muestran cómo la energía, cualquier tipo de energía, es un ámbito del conocimiento científico y técnico de importancia clave en

nuestra sociedad actual. La energía importa, más que nunca, y la ciencia y la tecnología pueden contribuir tanto al aprovechamiento responsable de los recursos naturales como a la comprensión de sus impactos ambientales y sociales.

El tercer eje, **“Formación y Comunicación en la era de la Inteligencia Artificial”**, amplía el campo de análisis hacia otro ámbito de total actualidad científica y tecnológica, la Inteligencia Artificial. Los seis trabajos reunidos en esta sección examinan el rendimiento académico a través de análisis estadísticos avanzados, el uso de podcasts como herramientas de desarrollo socioemocional docente, la aplicación de la inteligencia artificial en la gestión pública, las dificultades en el aprendizaje por la falta de pensamiento lógico-matemático en una muestra de estudiantes de ingeniería de sistemas computacionales, un modelo de análisis multivariante para evaluar el proceso de aprendizaje y el uso de mundos virtuales para mejorar las capacidades del profesorado. Este conjunto de contribuciones permite observar cómo las tecnologías digitales y la Inteligencia Artificial no solo modifican procedimientos técnicos, sino también las formas de enseñar, aprender y construir significado en el mundo académico.

La diversidad de enfoques presente en esta obra constituye uno de sus principales aportes. Lejos de entender la ciencia y la tecnología como campos aislados, los trabajos aquí reunidos muestran su carácter transversal y su capacidad para dialogar con cuestiones ambientales, educativas, sociales, productivas y culturales.

Esperamos que este volumen contribuya al intercambio de conocimientos, al fortalecimiento de nuevas investigaciones y a la difusión de experiencias y propuestas capaces de ampliar las posibilidades de desarrollo científico y tecnológico en diferentes contextos.

Xosé Somoza Medina

Universidad de León, España

SUMÁRIO

ENGENHARIA, METODOLOGIAS E PROCESSOS TECNOLÓGICOS

CAPÍTULO 1..... 1

ANÁLISIS DEL MODELO DINÁMICO DE UN MANIPULADOR ROBÓTICO INDUSTRIAL EN REFERENCIA AL DISEÑO DE SU SISTEMA DE CONTROL

Alejandro Armando Hossian

Roberto Carabajal

Carolina Hirschfeldt

Emanuel Maximiliano Alveal

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2809263071

CAPÍTULO 2..... 16

APPLICATION OF VIBRATION EFFECTS IN TECHNICAL DIAGNOSTICS AND IDENTIFICATION

Vitalijs Beresnevics

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2809263072

CAPÍTULO 3.....32

CORTE POR CIZALLAMIENTO DE UNA SILUETA CIRCULAR BAJO CONDICIONES DE MÍNIMO Y MÁXIMO MATERIAL

Pedro de Jesús García Zugasti

Enrique Alejandro Vázquez Hernández

José de Jesús Navarro Delgado

Yolanda Rodríguez Corpus

Juan Compeán Rodríguez

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2809263073

CAPÍTULO 4..... 46

IMPLEMENTACIÓN DE METODOLOGÍA ERIM PARA INCREMENTO DE PRODUCCIÓN EN ÁREA DE ACABADO DE ROTORES

Enrique Alejandro Vázquez Hernández

Pedro de Jesús García Zugasti

Juan Gabriel Sandoval Granja

Gerardo García Liñán

Luis Antonio Renovato Rivera

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2809263074

CAPÍTULO 5..... 58

ROLE OF THE INTERACTION AMYLOSE-NANOCELLULOSE ON THE RHEOLOGICAL PROPERTIES AND MOISTURE SORPTION OF MAIZE STARCH

Ignacia González

Makarena Jiménez

Paulo Díaz-Calderón

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2809263075

CAPÍTULO 6..... 72

CONSTRUCCIÓN DEL MARCO TEÓRICO EN PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA: REVISIÓN NARRATIVA Y ORIENTACIONES DIDÁCTICAS PARA ESTUDIANTES DE LICENCIATURA

Javier Montoya Ponce

Bertha Ivonne Sánchez Luján

María Teresa Martínez Acosta

María Guadalupe Amado Moreno

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2809263076

ENERGIA E SUSTENTABILIDADE

CAPÍTULO 7..... 98

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE MICROTURBINAS HIDRÁULICAS

Nelson Ramiro Gutiérrez Suquillo

Luis Miguel Sánchez Muyulema

Jonnathan Ismael Chamba Cruz

Guillermo Raúl Tumalli Naranjo

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2809263077

CAPÍTULO 8..... 114

ENERGÍA DE LAS MAREAS, AGUA Y AIRE

Antonio Rabina Merelas

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2809263078

CAPÍTULO 9.....128

EXPOSICIÓN A HIDROCARBUROS AROMÁTICOS POLICÍCLICOS POR EL USO DE LEÑA EN LA COMUNIDAD LA MARCELA, MIQUIHUANA, TAMAULIPAS

Lorenzo Heyer Rodríguez

Valeria Navarro López

Bárbara Azucena Hernández Macías

Elizabeth del Carmen Andrade Limas

Jacinto Treviño Carreón

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2809263079

CAPÍTULO 10..... 148

TALLER SOBRE FARMACIA Y COCINA VIVIENTE EN LA RESERVA DE LA BIÓSFERA SIERRA DE HUAUTLA

Amanda Ortiz Sánchez

Angélica María Alemán Octaviano

 https://doi.org/10.37572/EdArt_28092630710

CAPÍTULO 11.....159

BEYOND PUBLIC ACCEPTANCE: REFRAMING NUCLEAR ENERGY COMMUNICATION IN INDONESIA

Muhammad Yunus Zulkifli

Yunita Permatasari

Atika Ratna Sari

 https://doi.org/10.37572/EdArt_28092630711

FORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA ERA DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

CAPÍTULO 12171

ANÁLISIS DEL RENDIMIENTO ACADÉMICO MEDIANTE TÉCNICAS ESTADÍSTICAS MULTIVARIANTES: UN ENFOQUE REPRODUCIBLE CON RMARKDOWN

Alberto Hananel Baigorria

 https://doi.org/10.37572/EdArt_28092630712

CAPÍTULO 13 194

EL PODCAST EDUCATIVO COMO DISPOSITIVO DE AUDIO-MEDIACIÓN PARA EL DESARROLLO SOCIOEMOCIONAL DOCENTE: ARQUITECTURA, MODELO ECOS Y CONSIDERACIONES ÉTICAS PARA EL DISEÑO DE APPS DE PODCAST SEL

Paula Correa-Gutiérrez

Fabiola Sáez-Delgado

Pilar Jara-Coatt

Natalia Zañartu-Canihuante

Felipe Albarrán-Torres

 https://doi.org/10.37572/EdArt_28092630713

CAPÍTULO 14 217

INNOVACIÓN TECNOLÓGICA EN LA GESTIÓN PÚBLICA: INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y CALIDAD DEL SERVICIO AL CIUDADANO

José Ángel Meneses Jiménez

Manuel Rocha Gonzales

Raul Hernando Aguado Apolaya

 https://doi.org/10.37572/EdArt_28092630714

CAPÍTULO 15 230

DIFICULTADES EN LA RESOLUCIÓN DE EJERCICIOS Y HABILIDADES MATEMÁTICAS DE ESTUDIANTES EN LA MATERIA DE LENGUAJES Y AUTÓMATAS I

María Eugenia Carreón Romero

Emmanuel Vázquez Benito

Roberto Carlos Carreón Romero

 https://doi.org/10.37572/EdArt_28092630715

CAPÍTULO 16 243

ANÁLISIS MULTIVARIANTE DEL RENDIMIENTO ACADÉMICO MEDIANTE R: UN ENFOQUE PRÁCTICO Y REPRODUCIBLE

Alberto Hananel Baigorria

 https://doi.org/10.37572/EdArt_28092630716

CAPÍTULO 17268

COMPUTACIÓN AFECTIVA Y DISEÑO TECNOPEDAGÓGICO DE SISTEMAS DE MUNDO VIRTUAL PARA EL ENTRENAMIENTO SOCIOEMOCIONAL DOCENTE: REQUERIMIENTOS, COMPONENTES, PARÁMETROS DE INMERSIÓN Y EL MODELO SEED DE DESARROLLO PSICOEMOCIONAL SIMULADO

Fabiola Sáez-Delgado

Pilar Jara-Coatt

Javier Mella-Norambuena

Paulo César Coronado-Sánchez

Paula Correa-Gutiérrez

 https://doi.org/10.37572/EdArt_28092630717

SOBRE O ORGANIZADOR.....295

ÍNDICE REMISSIVO296

CAPÍTULO 9

EXPOSICIÓN A HIDROCARBUROS AROMÁTICOS POLICÍCLICOS POR EL USO DE LEÑA EN LA COMUNIDAD LA MARCELA, MIQUIHUANA, TAMAULIPAS

Data de submissão: 25/08/2026

Data de aceite: 10/09/2026

Lorenzo Heyer Rodríguez

Universidad Autónoma de Tamaulipas
Facultad de Ingeniería y Ciencias
Cd. Victoria, Tamaulipas México
<https://orcid.org/0000-0002-7191-602X>

Valeria Navarro López

Universidad Autónoma de Tamaulipas
Facultad de Ingeniería y Ciencias
Cd. Victoria, Tamaulipas México
<https://orcid.org/0009-0003-4272-1770>

Bárbara Azucena Hernández Macías

Universidad Autónoma de Tamaulipas
Facultad de Ingeniería y Ciencias
Cd. Victoria, Tamaulipas México
<https://orcid.org/0000-0001-8196-6496>

Elizabeth del Carmen Andrade Limas

Universidad Autónoma de Tamaulipas
Facultad de Ingeniería y Ciencias
Cd. Victoria, Tamaulipas México
<https://orcid.org/0000-0001-8240-6060>

Jacinto Treviño Carreón

Universidad Autónoma de Tamaulipas
Facultad de Ingeniería y Ciencias
Cd. Victoria, Tamaulipas México
<https://orcid.org/0000-0001-7945-4010>

RESUMEN: La combustión de biomasa emite hidrocarburos policíclicos aromáticos (HAP) que representan un riesgo potencial para la salud debido a que son agentes cancerígenos y mutagénicos. Este estudio tuvo como objetivo determinar la exposición a HAP de los habitantes de la comunidad de La Marcela, en el municipio de Miquihuana, Tamaulipas, debido al uso de biomasa como fuente de energía. Con este fin, se llevó a cabo la identificación de las especies de leña utilizadas como fuente de energía y se determinó su emisión de HAP. Asimismo, la concentración de HAP en el aire interior de cuatro viviendas de la comunidad se determinó en tres campañas de muestreo. Las especies identificadas como fuentes de energía en la comunidad de La Marcela fueron: Pino (*Pinus pseudostrobus*), Roble (*Quercus mexicana*) y Madroño (*Arbutus xalapensis*), que tenían una emisión media de 0.194 mg de HAPs totales/kg peso seco, observándose diferencias en cuanto al tipo y la cantidad de HAPs emitidos. En el humo de la madera de Pino y Madroño se detectó la presencia de benzo(a)pireno, que pertenece al grupo 1 de la clasificación cancerígena de la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer. La concentración media de HAP encontrada en el aire interior de las viviendas fue de 856,91 ng/m³, detectando la presencia de 28 HAP. Los habitantes de La Marcela están expuestos a los HAP debido a la combustión de biomasa como fuente de energía, siendo la madera de roble la más

adecuada para su uso, ya que tiene una menor emisión total de HAP y no contiene agentes carcinogénicos del grupo 1.

PALABRAS CLAVE: contaminación; aire interior; Benzo(a)pireno.

EXPOSURE TO POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS FROM THE USE OF FIREWOOD IN THE COMMUNITY OF LA MARCELA, MIQUIHUANA, TAMAULIPAS

ABSTRACT: The combustion of biomass emits Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) which represent a potential health risk because they are carcinogenic and mutagenic agents. This study aimed to determine the exposure to PAHs of the inhabitants of the community of La Marcela in the municipality of Miquihuana, Tamaulipas, due to the use of biomass as an energy source. To this end, the identification of the species of firewood used as an energy source was carried out and their emission of PAHs was determined. Likewise, the concentration of PAHs in indoor air of four houses in the community was determined in three sampling campaigns. The species identified as energy sources in the community of La Marcela were: Pine (*Pinus pseudostrobus*), Oak (*Quercus mexicana*) and Madroño (*Arbutus xalapensis*), which had an average emission of 0.194 mg total PAHs/kg dry weight, with differences observed in terms of type and quantity of PAHs emitted. In the smoke from the wood of Pine and Madroño, the presence of Benzo(a)pyrene was detected, which belongs to group 1 of the carcinogenic classification of the International Agency for Research on Cancer. The average concentration of PAHs found in the indoor air of the dwellings was 856.91 ng/m³, detecting the presence of 28 PAHs. The inhabitants of La Marcela are exposed to PAHs due to the burning of biomass as an energy source, with oak wood being the most suitable for use since it has a lower emission of total PAHs and does not contain group 1 agents of carcinogenicity.

KEYWORDS: pollution; indoor air; Benzo(a)pyrene.

1. INTRODUCCIÓN

En el año 2021 se estimó que un tercio de la población mundial utilizaba tecnologías y combustibles contaminantes para cocinar (WHO, 2023a). Entre estos combustibles se encuentra la biomasa principalmente en forma de leña, la cual es utilizada para cocción de alimentos y calefacción en áreas rurales y suburbanas con nivel socioeconómico bajo, debido a su bajo costo y disponibilidad, en comparación con la electricidad y el gas licuado, además de ser un factor cultural arraigado (Hernández-Gorúño et al., 2017).

En los hogares de zonas rurales se utilizan fogones abiertos poco eficientes y contaminantes para la quema de leña (Quiroz Carranza *et al.*, 2010). Las emisiones de gases y humos de estos fogones producidos por la combustión incompleta de la leña degradan la calidad del aire dentro de las viviendas poniendo en riesgo la salud de los habitantes. Entre los principales contaminantes emitidos por la quema de leña se encuentran: material particulado fino, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno,

hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), compuestos orgánicos volátiles (COVs) y carbón negro (CN) (Ni *et al.*, 2016).

La exposición a los gases de combustión de la leña está asociada con enfermedades como neumonía infantil, enfermedad pulmonar obstructiva crónica, cáncer de pulmón, cataratas y tuberculosis (Aung *et al.*, 2016; Kochi *et al.*, 2017). También se ha observado que las mujeres expuestas de manera crónica a la contaminación del aire interior de las viviendas son propensas a padecer la enfermedad denominada “pulmón de cabaña” (hut lung), la cual se caracteriza por producir fibrosis, inflamación y depósitos de polvo y carbón en los pulmones (Rennet *et al.*, 2014). Se estima que a nivel mundial, el uso de leña para cocinar es responsable de 3.2 millones de muertes (WHO, 2022).

En México hay 26.8 millones de personas que viven en comunidades rurales (INEGI, 2021) de las cuales el 72.3 % utiliza biomasa como fuente de energía (WHO, 2023b). En el año 2022 se atribuyeron 21 639 muertes a causa de la contaminación del aire interior de las viviendas, de estas el 47.1 % fueron debido a enfermedad cardíaca isquémica, 17.5 % por infección en vías respiratorias, 17.3 % por enfermedad pulmonar obstructiva crónica, 13.8 % por apoplejía y 4.2 % por cáncer de vías respiratorias y pulmón (WHO, 2023c). Además, en el año 2019 se registraron 3 690 casos de cataratas asociados a contaminación de aire interior (WHO, 2023d).

De los contaminantes del aire interior de las casas los HAP toman especial interés, por estar asociado al material particulado menor a 2.5 micras ($PM_{2.5}$) (Muránszky *et al.*, 2011) y a que algunos de ellos son considerados mutagénicos y/o carcinogénicos (IARC, 2010; White y Sandler 2017), sin embargo, existe un desconocimiento generalizado sobre la exposición a estos contaminantes emitidos por la quema de leña en el interior de las viviendas (Jiang y Bell, 2008; Wu *et al.*, 2015).

Por lo que este estudio se propuso identificar las especies leñosas utilizadas en la comunidad de la Marcela del municipio de Miquihuana, Tamaulipas, como combustible y obtener su perfil de emisión de HAP durante su combustión y determinar la exposición de los pobladores del ejido la Marcela a estos contaminantes del aire interior de sus viviendas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. SITIO DE ESTUDIO

El estudio se realizó en la comunidad rural La Marcela en el municipio de Miquihuana, Tamaulipas, México. Esta comunidad se encuentra en un valle a 65 kilómetros de la cabecera municipal, a una altitud de 2 500 msnm, la vegetación predominante es

el bosque de pino-encino con matorral rosetófilo de *Agave gentryi* (Castillo-Hernández y Treviño-Carreón, 2014). Su población es de 70 habitantes agrupadas en 18 familias. Las viviendas cuentan en promedio con tres habitaciones y carecen de servicios básicos como drenaje y piso firme, están hechas de madera y adobe con techos de palma de soyate (*Brahea ducis*) o de lámina. En el 100 % de los hogares de esta comunidad se utilizan fogones tradicionales para cocinar.

2.2. CARACTERIZACIÓN DE LA BIOMASA

Se tomaron muestras de leña utilizada en las casas de la comunidad, identificándose las especies utilizadas como fuente de energía. A cada una de las especies identificadas se les determinó el contenido de humedad, materia seca y materia volátil, mediante los procedimientos ASTM E871 y ASTM E872, y se determinó el perfil de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP) que emiten en el humo de las especies utilizadas como leña, para ello se realizó la combustión de 5 g de cada una de las especies identificadas como fuentes de energía bajo condiciones de fogón abierto y los gases emitidos fueron colectados con un embudo de vidrio de 30 cm de diámetro colocado por encima del material de combustión, el cual fue conectado a un tren de muestreo utilizando como elemento retenedor un filtro de cuarzo de 47 mm (PallflexR Tissuquartz™) y una bomba aspiradora (Supelco), con un flujo de 2.0 L/min durante 10 minutos. Posteriormente los filtros fueron analizados para determinar la concentración de HAP mediante cromatografía de gases. Se llevaron a cabo tres repeticiones para cada tipo de madera.

2.3. MUESTREO DE AIRE INTERIOR

Como criterio de inclusión para el estudio se eligieron aquellas viviendas donde los habitantes reportaron su ocupación permanente en una encuesta socioeconómica que se aplicó a las amas de casa.

Se colectó el polvo y humo del aire interior de las casas habitación seleccionadas con un filtro de cuarzo de 47 mm (Pallflex^R Tissuquartz™), estos filtros fueron acondicionados y pesados a temperatura ambiente en el laboratorio y colocado en bolsas plásticas hasta su uso. Los filtros fueron utilizados como elemento retenedor en un tren de muestreo, colocándolos en un porta filtro a una altura de 1.1 m en el lado derecho de la cocina, el cual fue conectado a una bomba de aspiración (Supelco), con un flujo de 2.0 L/min.

El tiempo de muestreo fue de 24 horas, registrándose la temperatura y la humedad de la zona de la cocina con un dispositivo EASY LOG EL-USB-2 (Lascar Electronics, Erie, PA, United States). Al término de este tiempo los filtros fueron colocados en bolsas de plástico y transportadas al laboratorio en refrigeración con hielo seco. En el laboratorio los filtros se pesaron nuevamente y fueron almacenadas en un congelador a -10 °C hasta su análisis para determinar HAP.

Se realizaron tres campañas de muestreo, invierno (noviembre), primavera (marzo y mayo) y verano (agosto y septiembre).

2.4. ANÁLISIS HAP

Las muestras colectadas se analizaron en los laboratorios de Especiación Química de Aerosoles Orgánicos Atmosféricos del Centro de Ciencias Atmosféricas de la Universidad Nacional Autónoma de México. Los filtros fueron pesados y posteriormente se sometieron a extracción asistida por ultrasonido (UAE-MSC) con diclorometano (Banjoo y Nelson, 2005). Los extractos se analizaron por cromatografía de gases / espectrometría de masas en química negativa (GC / MS-NCI) (Beristain-Montiel, E. et al., 2016). El análisis cromatográfico se llevó a cabo en un GC- MS Agilent 6890N/5973 con una columna cromatográfica DB-35 (35%(Phenyl) methylpolysiloxane) de 60 m longitud, 0.25 mm de diámetro interior y 0.25 m grosor de película (Agilent J&W, Santa Clara California, USA). El gas acarreador fue helio (99.998 %, Infra, México), a un flujo de 1.2 mL/min. Se inyectó 1 µL en splitless a 250 °C. La temperatura del horno fue de 40°C por 1 min, primer incremento a 110 °C con una tasa de 50 °C/min, segundo incremento a 335 °C durante 17. 4 min con una tasa de 20 °C/min.

2.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis de los resultados se realizó con el programa estadístico RStudio 2024.04.1 (Posit Software, PBC). A los resultados se aplicaron las pruebas de Shapiro Wilks y Levene para determinar su normalidad y homogeneidad de varianza. Posteriormente se realizó la comparación de las de concentración de HAP totales mediante la prueba H de Kruskal-Wallis y la comparación de perfiles de HAP mediante la prueba de Friedman y comparación post-hoc mediante la prueba de rangos con signo de Wilcoxon. Para la comparación de perfiles de HAP de aire interior y los experimentos de combustión de madera, se obtuvieron las concentraciones relativas de los HAP y posteriormente se compararon mediante la prueba de los signos.

Cuadro I. Caracterización de la biomasa utilizada en el ejido Marcela como fuente de energía

Especie	% Humedad	% Materia seca	% Material volátil	HAP Totales mg/Kg peso seco
Pino (<i>Pinus pseudostrobus</i>)	8.29	91.72	2.12	0.224 ± 0.331
Encino (<i>Quercus mexicana</i>)	5.17	94.83	7.31	0.127 ± 0.130
Madroño (<i>Arbutus xalapensis</i>)	4.66	95.34	0.21	0.233 ± 0.365

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. CARACTERIZACIÓN DE LA BIOMASA

El **cuadro I** muestra los resultados de la caracterización de la madera que se utilizan en la comunidad como fuente de energía, en la **figura 1** se presenta el dispositivo utilizado para la colecta del humo emitido durante la combustión de la madera.

De acuerdo con la población de la Marcela, la madera de pino es utilizada para calefacción, ya que produce mayor flama y proporciona mayor calor, sin embargo, también es la que produce mayor cantidad de humo.

Figura 1. Colecta de gases emitidos durante la combustión de madera para la determinación del contenido de HAP de la biomasa utilizada como fuente de energía en la comunidad La Marcela, Miquihuana, Tamaulipas.

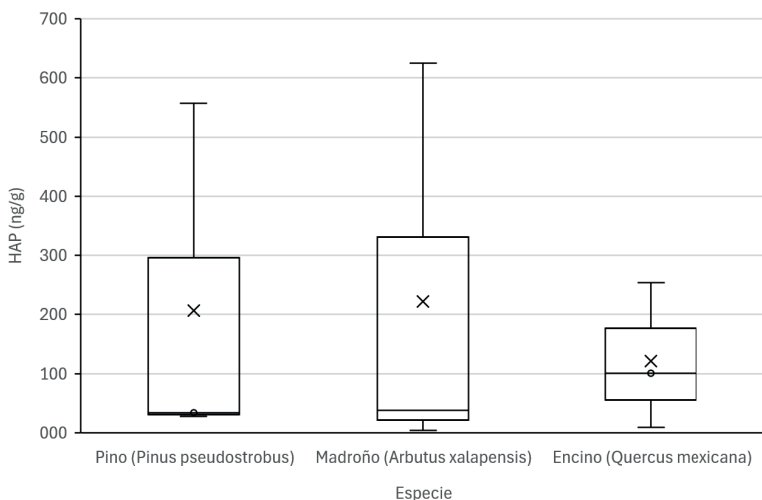


La madera del encino es utilizada para cocinar alimentos, ya que el fogón con este tipo de maderas permanece por mayor tiempo encendido, esto corresponde a lo señalado por Contreras-Hinojosa (2003) de que se prefieren las maderas de esta especie,

ya que sus brasas duran más, producen más calor y emiten menos humo. Además, los pobladores indican que utilizan el madroño como un iniciador de fuego ya que es una madera que enciende rápidamente.

La emisión promedio de HAP totales de las maderas utilizadas en la comunidad de la Marcela fue de 0.194 ± 0.275 mg HAP/Kg peso seco, no encontrándose diferencias significativas en la emisión de HAP entre las especies ($p = 1$, Kruskal-Wallis), **figura 2**, cabría señalar que las concentraciones de pino y madroño son muy similares, mientras que encino presenta una menor concentración, pero debido a la alta variabilidad de las concentraciones y bajo número muestras puede faltar poder estadístico para encontrar diferencias entre ellas.

Figura 2. Comparación del contenido de HAP totales en las maderas utilizadas como fuente de energía en la comunidad La Marcela, Miquihuana, Tamaulipas.

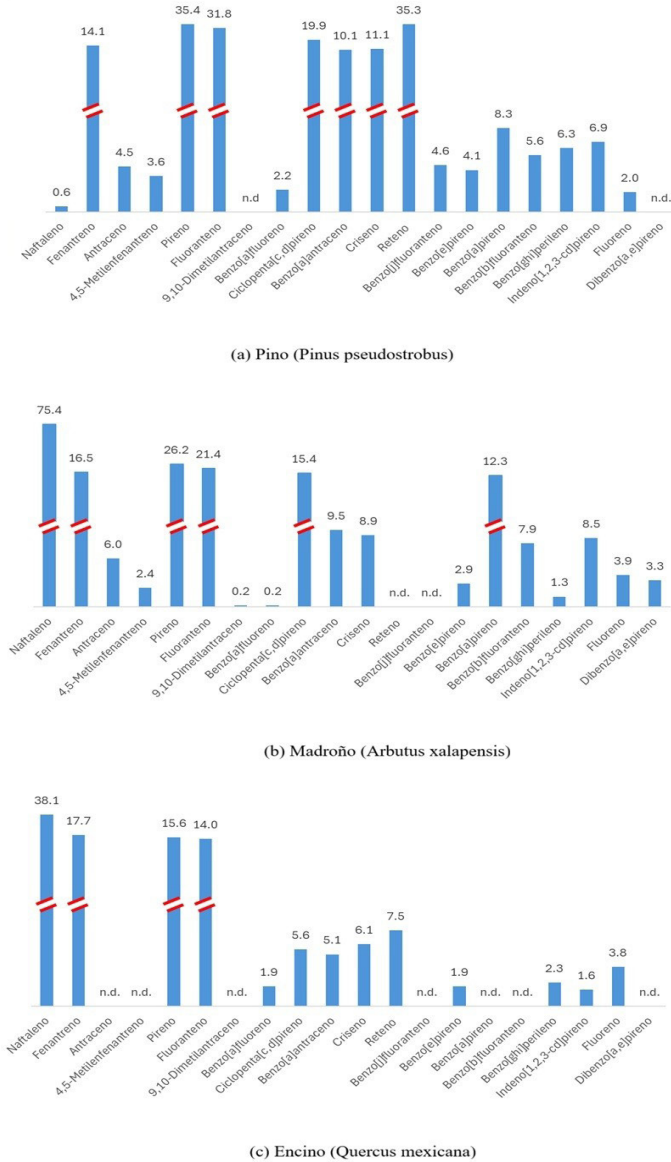


Las emisiones de HAP total por las maderas usadas como biocombustible en la Marcela es menor a la reportadas por Eriksson *et al.* (2014) de 1.5 mg/Kg para troncos de abedul (*Betula pendula*) y < 2 mg/Kg para pellets de una mezcla de pino y abeto en estufas bajo condiciones de tasa nominal de combustión (1.9 kg/h). Nielsen *et al.* (2017) señalan que la emisión de HAP se ve afectada por las condiciones de la combustión como es la carga, el flujo de aire y humedad, factores que determinan la velocidad de combustión, de tal forma que al aumentar la tasa de combustión se incrementa la emisión de HAP debido a la disminución de la disponibilidad de oxígeno.

El perfil de HAP emitidos por la combustión de los tres tipos de madera utilizados en el ejido La Marcela como fuentes de energía, se muestran en la **figura 3**. Se encontró una diferencia entre los perfiles de HAP obtenidos para cada tipo de madera ($p = 0.005$,

Friedman), encontrándose que la madera de encino presento un perfil diferente ($p = 0.025$, Wilcoxon) con respecto a la madera del pino y madroño, las cuales no mostraron diferencia entre sus perfiles de HAP ($p = 0.45$, Wilcoxon). Esto concuerda con lo señalado por Daly (2007) y Chrysikou (2008) los cuales mencionan que, dependiendo de la temperatura de combustión, duración del proceso, las condiciones de la flama (oxígeno) y del tipo de material orgánico se obtienen perfiles de HAP diferentes.

Figura 3. Concentración promedio (ng/g) de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos presentes en la emisión de combustión de maderas utilizadas como fuente de energía en la comunidad La Marcela, Miquihuana, Tamaulipas.



Se detectó la presencia de 20 HAP, en el **cuadro II** se muestran las características químicas y toxicológicas de cada uno de ellos. En el humo de la madera de Pino y Madroño se detectó la presencia de Benzo(a)pireno, el cual pertenece al grupo 1 de la clasificación carcinogénica de la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) por lo que se considera carcinogénico para el humano. Se detectó en la madera de las tres especies HAP clasificados dentro de los grupos 2A y 2B de la clasificación carcinogénica de la IARC, siendo el Ciclopenta[c,d]pireno considerado como probablemente carcinógeno para el ser humano, y Naftaleno, Benzo[a]antraceno, Criseno y Indeno[1,2,3-c,d]pireno considerados posiblemente carcinógenos para el ser humano. El resto de los HAP detectados pertenecen al grupo 3 de la clasificación carcinogénica del IARC o no han sido clasificados, por lo que no hay pruebas suficientes de que los HAP de este grupo cause cáncer a los humanos, sin embargo, el Dibenzo[a,e]pireno, Benzo[ghi]perileno, Dibenzo[a,c]antraceno son considerados genotóxicos.

En las emisiones de la madera de pino se encontraron dieciocho de los veintinueve HAP analizados, con las concentraciones más altas para el Reteno, Pireno y Fluoranteno y fue la única en que se detectó la presencia de Benzo[j]fluoranteno. El Reteno es un marcador molecular de la combustión de madera (Ramdahl, 1983) y es considerado característico de la combustión de madera pino ya que se forma principalmente por la degradación térmica del ácido abiético presente en la madera de coníferas (Shen et al., 2012).

Cuadro II. Características de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos encontrados en el aire interior de casas habitación y las emisiones de maderas usadas como fuente de energía en la Comunidad La Marcela, Miquihuana, Tamaulipas.

Compuesto	Abreviatura	Peso molecular (g mol ⁻¹)	No. de Anillos	Carcinogenicidad*	Genotoxicidad**
Naftaleno	Nap	128.2	2	2B	No
Acenafteno	Ace	154.2	3	3	NC
Fluoreno	Flu	166.2	3	3	NC
Fenantreno	Phe	178.2	3	3	NC
Antraceno	Ant	178.2	3	3	No
2-Metilantraceno	2Man	192.3	3	NC	NC
1-Metilantraceno	1Man	192.3	3	NC	NC
4,5-Metilenfenantreno	[4,5]Mp	192.3	3	NC	NC
3,6-Dimetilfenantreno	Dmp	206.3	3	NC	NC

Compuesto	Abreviatura	Peso molecular (g mol ⁻¹)	No. de Anillos	Carcinogenicidad*	Genotoxicidad**
Fluoranteno	Fla	202.3	4	3	NC
9,10-Dimetilantraceno	DPA	206.3	3	NC	NC
Pireno	Pyr	202.3	4	3	No
Reteno	Ret	234.3	3	NC	NC
Benzo[a]fluoreno	B[a]F	216.3	4	3	No
Benzo[a]antraceno	B[a]A	228.3	4	2B	Si
Trifenileno	Tri	228.3	4	NC	NC
Criseno	Cry	228.3	4	2B	Si
Ciclopenta[c,d]pireno	CPP	226.3	5	2A	Si
Benzo[b]fluoranteno	B[b]F	252.3	4	2B	Si
Benzo[k]fluoranteno	B[k]F	252.3	4	2B	Si
Benzo[j]fluoranteno	B[j]F	252.3	5	2B	Si
Benzo[e]pireno	B[e]P	252.3	5	3	NC
Benzo[a]pireno	B[a]P	252.3	5	1	Si
Dibenzo[a,h]antraceno	D[a,c]A	278.4	5	2A	Si
Dibenzo[a,c]antraceno	D[a,c]A	278.4	5	3	NC
Indeno[1,2,3-cd]pireno	Ind	276.3	6	2B	NC
Benzo[ghi]perileno	B[ghi]P	276.3	6	3	Si
Dibenzo[a,h]pireno	D[a,h]P	302.4	6	2B	NC
Dibenzo[a,e]pireno	D[a,e]P	302.4	6	3	Si

*Clasificación IARC, 2010. Grupo 1 Carcinogénico para el ser humano, Grupo 2A Probable carcinogénico para el ser humano, Grupo 2B Posible carcinogénico para el ser humano, Grupo 3 evidencia limitada con respecto a su carcinogenicidad para el ser humano, NC no se ha clasificado.

** Opinion of the Scientific Committee on Food on the Risk to human health of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Food (SCF, 2002). NC datos insuficientes o contradictorios para su clasificación genotóxica.

Las emisiones de encino registraron trece HAP, presentando la más baja concentración de los HAP detectados con excepción del Fenantreno que fue la concentración más alta de las tres maderas estudiadas, no se detectó la presencia de Antraceno, 4,5-Metilenfenantreno, 9,10-Dimetilantraceno, Benzo[b]fluoranteno, Benzo[j]fluoranteno, Dibenzo[a,e]pireno, y Benzo[a]pireno, de tal forma que las emisiones del encino son las que tiene menos agentes carcinogénicos de las

tres especies estudiadas. Por lo que el uso de madera de encino en los fogones representa una menor exposición a HAP y un menor riesgo a la salud por la ausencia del B[a]P.

En las emisiones de madera del madroño se detectaron dieciocho HAP, estando ausentes Reteno y Benzo[j]fluoranteno y fue la única en que se detectó Dibenzo[a,e]pireno, además presentó la más alta concentración de Naftaleno.

En las tres especies estudiadas fueron detectados Naftaleno, Fluoreno, Fenantreno, Fluoranteno, Pireno, Benzo[a]fluoreno, Benzo[a]antraceno, Criseno, Indeno[1,2,3-c,d]pireno, Benzo[g,h,i,]perileno, Ciclopenta[c,d]pireno, Benzo[e]pireno, Indeno[1,2,3-cd]pireno y Benzo[ghi]perileno, la presencia de estos HAP ha sido reportada en otras maderas como el Roble (Rijal et al., 2005), Haya, Neem, Flamboyán, Acacia y Eucalipto (Malarut y Vangnai, 2018). Los compuestos con mayor masa molecular como fluoranteno, criseno y benzo[b]fluoranteno se han reportado como dominantes durante la quema de biomasa (Xu et al., 2006; Wiriya et al., 2016).

3.2. MUESTREO DE AIRE INTERIOR

Fueron seleccionadas cuatro casas de la comunidad para realizar los muestreos de aire interior. Las casas seleccionadas presentan semejantes estilos de construcción y distribución, consistiendo en un cuarto con paredes de troncos, techo de palma a dos aguas, piso de tierra, con una puerta y sin ventanas. Así mismo utilizan el mismo tipo de fogón. En base a la encuesta socioeconómica aplicada se determinó que el lugar principal donde la familia pasaban el tiempo era la cocina, por lo que se seleccionó esta área para colocar el tren de muestreo, **figura 4**.

Las campañas de muestreo se realizaron en tres estaciones del año: primavera en los meses de marzo y mayo, verano durante los meses de agosto y septiembre e invierno en el mes de noviembre, obteniéndose un total de 18 muestras con dos muestras por casa para las campañas de primavera y verano, en la campaña de invierno solo se logró muestrear solo una casa por lo que solo se obtuvieron dos de seis muestras para esta temporada.

Figura 4. Muestreo de aire interior en casa habitación de la comunidad La Marcela, Miquihuana, Tamaulipas.



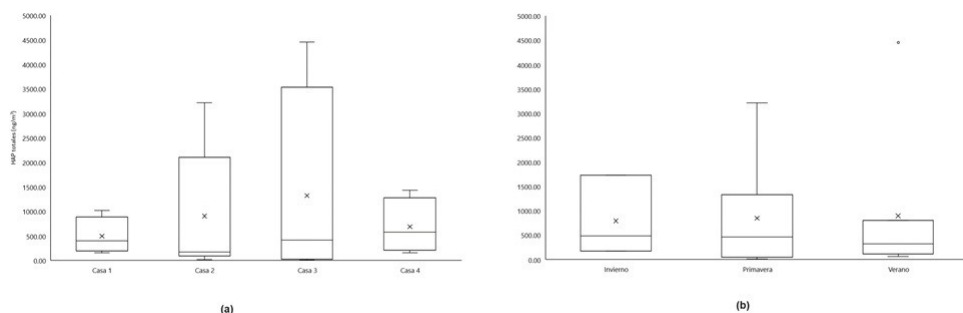
3.3. TEMPERATURA Y HUMEDAD AL INTERIOR DE LAS CASAS

No se observaron diferencias de temperatura entre las casas ($p = 0.972$, ANOVA) y las estaciones del año ($p = 0.401$, ANOVA), la temperatura promedio fue de $16.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ con mínima de $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ y máxima de $30\text{ }^{\circ}\text{C}$, la humedad relativa vario de 24.5 a 83.5% con promedio de 60.5% . La explicación de este comportamiento dentro de las casas puede estar relacionado a que los materiales y tipo de construcción similares.

3.4. CONCENTRACIÓN DE HAP EN AIRE INTERIOR

La concentración promedio de HAP totales encontrada en el interior de las casas de la comunidad La Marcela fue de $856.91 \pm 1209.48\text{ ng/m}^3$. La concentración promedio de los HAP entre las casas fue muy similar con una variabilidad muy alta, por lo que no se encontraron diferencias significativas ($p = 0.91$, Kruskal-Wallis), esto mismo se observa al hacer la comparación entre las estaciones del año ($p = 0.80$, Kruskal-Wallis), **figura 5**, sin embargo, en la campaña de invierno solo se logró muestrear una casa por lo que esto podría ser causa de un sesgo al comparar esta estación.

Figura 5. Comparación de la concentración de HAP totales en el interior de las casas de la comunidad La Marcela, Miquihuana, Tamaulipas, (a) comparación entre las casas y (b) entre las estaciones de muestreo.

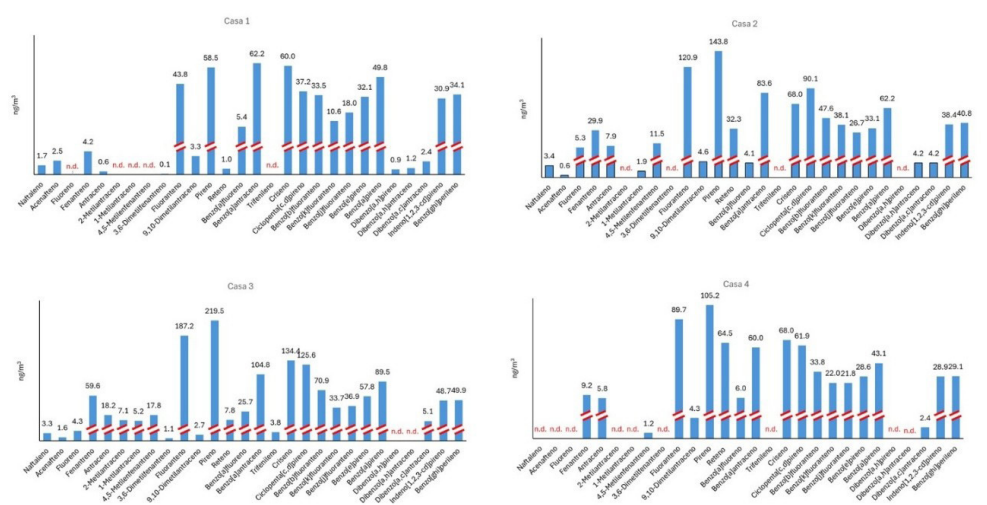


Estos valores son similares a los reportados por Duan et al. (2017), quienes realizaron muestreo en cocinas que utilizan biomasa para cocinar donde reportaron una concentración de 863 ng/m³, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, menciona que los niveles de HAP en los hogares rurales de los países en desarrollo oscilan entre 100 y 10 000 ng/m³ (Bhargava et al. 2004). Algunos investigadores han reportado variación en la cantidad y tipo de HAP con la época del año, reportando una mayor concentración durante el invierno comparado con el verano (Fuyong et al., 2015; Ding et al., 2012; Duan et al., 2014), esto no se observó en nuestro estudio ya que las condiciones de temperatura y humedad dentro de las casas se mantuvo constante durante las campañas de muestreo.

Los principales componentes detectados fueron Fluoranteno, Pireno y Criseno, los cuales generan el 38.15 % de la masa total de HAP emitidos, lo cual concuerda con lo señalado en los Criterios de Salud Ambiental del Programa Internacional de Seguridad de las Sustancias Químicas (IPCS, 1998), donde se menciona que los principales HAP encontrados en aire interior por quema de biomasa son los tres señalados anteriormente más el Fenantreno, que en nuestro estudio este último solo le correspondió el 3 % de la emisión total de HAP.

La **figura 6** muestra los perfiles de HAP para cada una de las casas muestreadas, encontrándose diferencias entre las casas en los perfiles de HAP ($p < 0.001$, Friedman) siendo las casas con diferente perfil la 1 y 4 ($p = 0.19$, Wilcoxon), la diferencia entre estas dos casas podría estar relacionada con el tiempo de uso del fogón ya que acorde con la encuesta socioeconómica aplicada estas casas representan las casas con mayor y menor uso de los fogones respectivamente.

Figura 6. Perfil de hidrocarburos aromáticos policíclicos encontrados en el aire interior de casas habitación de la comunidad La Marcela en el Municipio de Miquihuana, Tamaulipas.



Se realizó una prueba de los signos para comparar la concentración relativa de HAP encontrados en el aire interior y los emitidos en el experimento de laboratorio de combustión de madera, **cuadro III**, no encontrando diferencias en las casas 1, 3 y 4 ($p > 0.01$, prueba de los Signos). En la casa 2 se observó una diferencia entre el aire interior y las maderas de madroño y encino ($p < 1$).

Cuadro III. Resultado de la prueba de los signos para la comparación de concentraciones relativas de HAP entre aire interior de las casas de Miquihuana, Tamaulipas y los HAP emitidos por combustión de madera.

	Pino	Madroño	Encino
Casa 1	0.054	0.014	0.032
Casa 2	0.076	0.002*	0.003*
Casa 3	0.575	0.500	0.014
Casa 4	0.076	0.011	0.014

*diferencia significativa $p < 0.01$

IV. Tabla de presencia/ausencia de los HAP en aire interior de casas habitación de la Comunidad La Marcela, Miquihuana, Tamaulipas y en el humo de biomasa utilizada como fuente de energía Cuadro en esta comunidad.

Hidrocarburos Aromáticos Policiclicos	HAP en aire interior de casas habitación				HAP en humo de biomasa		
	Casa 1	Casa 2	Casa 3	Casa 4	Pino	Encino	Madroño
Naftaleno	+	+	+	+	+	+	+
Acenafteño	+	+	+	-	-	-	-
Fluoreno	-	+	+	-	+	+	+
Fenantreno	+	+	+	+	+	+	+

Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos	HAP en aire interior de casas habitación				HAP en humo de biomasa		
	Casa 1	Casa 2	Casa 3	Casa 4	Pino	Encino	Madroño
Antraceno	+	+	+	+	+	-	+
2-Metilantraceno	-	-	+	-	-	-	-
1-Metilantraceno	-	+	+	-	-	-	-
4,5-Metilenfenantreno	-	+	+	+	+	-	+
3,6-Dimetilfenantreno	+	-	+	-	-	-	-
Fluoranteno	+	+	+	+	+	+	+
9,10-Dimetilantraceno	+	+	+	+	-	+	+
Pireno	+	+	+	+	+	+	+
Reteno	+	+	+	+	+	+	-
Benzo[a]fluoreno	+	+	+	+	+	+	+
Benzo[a]antraceno	+	+	+	+	-	-	-
Trifenileno	-	-	+	-	-	-	-
Criseno	+	+	+	+	+	+	+
Ciclopenta[c,d]pireno	+	+	+	+	+	+	+
Benzo[b]fluoranteno	+	+	+	+	+	-	+
Benzo[k]fluoranteno	+	+	+	+	-	-	-
Benzo[j]fluoranteno	+	+	+	+	+	-	-
Benzo[e]pireno	+	+	+	+	+	+	+
Benzo[a]pireno	+	+	+	+	+	-	+
Dibenzo[a,h]pireno	+	-	-	-	-	-	-
Dibenzo[a,h]antraceno	+	+	-	-	-	-	-
Dibenzo[a,c]antraceno	+	+	+	+	-	-	-
Indeno[1,2,3-cd]pireno	+	+	+	+	+	+	+
Benzo[ghi]perileno	+	+	+	+	+	+	+
Dibenzo[a,e]pireno	-	-	-	-	-	-	+
Benzo[a]antraceno	-	-	-	-	+	+	+

+ se detectó su presencia, - no se detectó su presencia

En el aire interior de las casas muestreadas se detectó la presencia de 28 HAP en concentraciones individuales dentro del rango de 0 a 220 ng/m³, **cuadro IV**. El 64 % de ellos puede asumirse que provienen de la quema de madera en los fogones, ya que estos mismos HAP se encuentran en los filtros del experimento de laboratorio de la combustión de madera de las especies utilizadas como biomasa energética por los pobladores de la comunidad de la Marcela.

Es de destacar que siete de los HAP detectados en el aire interior no fueron detectados en las emisiones de la madera, estos fueron: Acenafteno, Benzo[k] fluoranteno, Dibenzo[a,c]antraceno, Dibenzo[a,h]antraceno, 3,6-Dimetilfenantreno, 1-Metilantraceno y 2-Metilantraceno, una posible causa de su presencia puede provenir de la emisión de contaminantes por el aceite de cocina durante el período de cocción (Zhu and Wang, 2003) y al uso de lámparas de keroseno para iluminación. El haber identificado otras posibles fuentes de emisión permite establecer rutas de exposición alternativas, lo cual puede ser de utilidad para una mejor gestión del riesgo. De estos el Benzo[k]fluoranteno es un posible carcinógeno (Grupo 2B) y Dibenzo[a,h]antraceno es un probable carcinógeno (Grupo 2A) además ambos se consideran mutagénicos, los demás pertenecen al grupo 3 o no están clasificados en cuanto a su capacidad carcinogénica o mutagénica.

No hay un nivel seguro de exposición a HAP debido a su carcinogenicidad, la Guía de Calidad del Aire Interior de la WHO (2010) utiliza a el Benzo [a] pireno (B[a]P) como marcador de exposición a HAP y evaluación del riesgo carcinogénicos. La concentración promedio de B[a]P en el aire de las casas fue de 61.18 ng/m³, muy por arriba de lo recomendado, correspondiente a 0.012 ng B[a]P/m³ para una exposición de por vida a B[a]P manteniendo un riesgo aceptable de cáncer (1×10^{-6}), por lo que los habitantes de la comunidad de la Marcela podrían estar en riesgo.

4. CONCLUSIONES

En la comunidad de la Marcela en el Municipio de Miquihuana se identificaron tres especies de madera utilizadas como fuente de energía para la calefacción de sus hogares y la cocción de sus alimentos. Las especies identificadas fueron: Pino (*Pinus pseudostrobus*), Encino (*Quercus mexicana*) y Madroño (*Arbutus xalapensis*), las cuales tienen una emisión promedio de 0.194 mg HAP totales/kg peso seco, observándose diferencias en cuanto al tipo y cantidad de HAP emitidos. De estas especies la más recomendable para su uso es la madera de Encino, ya que en sus emisiones no se detectó la presencia de Benzo(a)pireno, un reconocido agente carcinogénico, el cual si está presente en las maderas de Pino y Madroño.

En el aire interior de las casas de la comunidad la Marcela en el Municipio de Miquihuana la concentración de HAP totales es de 856.91 ± 1209.48 ng/m³, se detectó la presencia de 28 HAP en concentraciones individuales dentro del rango de 0 a 220 ng/m³, de los cuales el 64 % de ellos puede asumirse que provienen de la quema de madera en los fogones y los restantes HAP de otras fuentes.

Entre los HAP detectados en el aire interior de las viviendas de la comunidad La Marcela destaca la presencia de Benzo[a]pireno en concentraciones por arriba del valor guía, por lo que esto representa un riesgo a la salud por ser un reconocido agente carcinogenico. Por lo que es recomendable promover el uso de la madera de encino, ya que en sus emisiones de HAP no se encuentra el B[a]P.

REFERENCIAS

ASTM E871-82 (2019) Standard Test Method for Moisture Analysis of Particulate Wood Fuels. ASTM International.

ASTM E872-82 (2019) Standard Test Method for Volatile Matter in the Analysis of Particulate Wood Fuels. ASTM International.

Aung, T. W., G. Jain, K. Sethuraman, J. Baumgartner, C. Reynolds, A. P. Grieshop, J. D. Marshall y M. Brauer. 2016. Health and Climate-Relevant Pollutant Concentrations from a Carbon-Finance Approved Cookstove Intervention in Rural India. *Environ. Sci. Technol.* 50:7228-7238. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b06208>

Beristain-Montiel, E., R. Villalobos-Pietrini, G., E. Arias-Loaiza, S., L. Gómez-Arroyo, O. Amador-Muñoz. 2016. An innovative ultrasound assisted extraction micro-scale cell combined with gas chromatography/mass spectrometry in negative chemical ionization to determine persistent organic pollutants in air particulate matter. *Journal of Chromatography A*.1477:100-107. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2016.11.043>

Bhargava A, Khanna R, Bhargava S, Kumar S (2004) Exposure risk to carcinogenic PAHs in indoor-air during biomass combustion whilst cooking in rural India. *Atmos Environ* 38:4761–4767. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2004.05.012>

Bjoseth, T. Ramdahl, 1985. Handbook of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, Vol. 2, Marcel Dekker, Inc, New York.

Castillo-Hernández, H., y J. Treviño-Carreón. 2014. Biología floral de agave geivtryi ullrich (agavaceae) en la localidad de la marcela, miquihuana, tamaulipas. *Ciencia UAT*, 14:62-66. [en línea] <https://revistaciencia.uat.edu.mx/index.php/CienciaUat/article/view/354> 10/06/2024

Chrysikou L, Gemenetzis P, Kouras A, Manoli E, Terzi E, Samara C (2008) Distribution of persistent organic pollutants, polycyclic aromatic hydrocarbons and trace elements in soil and vegetation following a large scale landfill fire in northern Greece. *Environment International* 34: 210-225. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2007.08.007>

Contreras-Hinojosa, José Rafael; Volke-Haller, Víctor; Oropeza-Mota, José Luis; Rodríguez-Franco, Carlos; Martínez-Saldaña, Tomás; Martínez-Garza, Ángel Disponibilidad y uso de leña en el municipio de Yanhuatlán, Oaxaca. *Terra Latinoamericana*, vol. 21, núm. 3, pp. 437-445. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57311097002>

Daly GL, Lei YD, Castillo LE, Muir DCG, Wania F (2007) Polycyclic aromatic hydrocarbons in Costa Rican air and soil: A tropical/temperate comparison. *Atmospheric Environment* 41: 7339-7350. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2007.05.014>

Darryl Ricardo Banjoo, Paul Kurt Nelson, Improved ultrasonic extraction procedure for the determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments, *Journal of Chromatography A*, Volume 1066, Issues 1–2, 2005, Pages 9-18, ISSN 0021-9673. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2005.01.033>

Ding, J., J. Zhong, Y. Yang, B. Li, G. Shen, Y. Su, C. Wang, W. Li, H. Shen, B. Wang, R. Wang, Y. Huang, Y. Zhang, H. Cao, Y. Zhu, S. L.M. Simonich y S. Tao. 2012. Occurrence and exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons and their derivatives in a rural Chinese home through biomass fuelled cooking. *Environmental Pollution*. 169:160-166. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.10.008>

Duan, X. *, Jiang, Y., Wang, B., Zhao, X., Shen, G., & Cao, S., 2014. Household fuel use for cooking and heating in china: results from the first Chinese environmental exposure-related human activity patterns survey (CEERHAPS). *Applied Energy*, 2014, 136, 692-703. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.09.066>

Eriksson A. C., Nordin E. Z., Nyström R., Pettersson E., Swietlicki E., Bergvall C., Westerholm R., Boman C., Pagels J. H., 2014. Particulate PAH Emissions from Residential Biomass Combustion: Time-Resolved Analysis with Aerosol Mass Spectrometry. *Environ. Sci. Technol*, 48, 7143–7150. <http://dx.doi.org/10.1021/es500486j>

Fuyong W., X. Liu, W. Wang, Y. B. Man, C. Y. Chan, W. Liu, S. Tao, M. H. Wong. 2015. Characterization of particulate-bound PAHs in rural households using different types of domestic energy in Henan Province, China. *Science of The Total Environment*. 536:840-846. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.07.101>

Hernández-Garduño, E., E. Gómez-García, y S. Campos-Gómez. 2017. Prevalence trends of wood use as the main cooking fuel in Mexico, 1990-2013. *Salud Pública de México*. 59: 68-75. <https://doi.org/10.21149/7770>

IARC, 2010. Some Non-heterocyclic Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Some Related Exposures. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans Volume 92. World Health Organization. International Agency For Research On Cancer. Lyon, France. [en línea] <https://publications.iarc.fr/Book-And-Report-Series/Iarc-Monographs-On-The-Identification-Of-Carcinogenic-Hazards-To-Humans/Some-Non-heterocyclic-Polycyclic-Aromatic-Hydrocarbons-And-Some-Related-Exposures-2010> 10/06/2024

INEGI, 2021. Censo de Población y Vivienda 2020. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). [en línea] <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/> 10/06/2024

IPCS, 1988. Selected Non-heterocyclic Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. Environmental Health Criteria 202. International Programme on Chemical Safety. United Nations Environment Programme. International Labour Organization, World Health Organization, Geneva, Switzerland. [en línea] <https://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc202.htm> 10/06/2024

Jiang, R.T. y M. L. Bell, 2008. A comparison of particulate matter from biomass-burning rural and non-biomass-burning urban households in northeastern China. *Environ. Health Perspect*. 116:907–914. <https://doi.org/10.1289/ehp.10622>

Kochi, C., J. D. Ju, L.M. López, C.M. Zhang, M. C. Mauricio, S. Choi, D. Garay, V. Gonzalez, P. Briones, R. A. Accinelli. 2017. Respiratory Symptoms Frequency in Users of Gas Stoves Only Is Lesser than Gas Plus Biomass Fuel Combustion. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 195:S1, A5982.

Malarut, J. A. y K. Vangnai. 2018. Influence of wood types on quality and carcinogenic polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) of smoked sausages. *Food Control*. 85: 98-106. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.09.020>

Muránszky, G., Óvári, M., Virág, I., Csiba, P., Dobai, R. & Záray, G. (2011). Chemical characterization of PM10 fractions of urban aerosol. *Microchem. J.*, 98, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2010.10.002>

Ni, K., E. Carter, J. J. Schauer, M. Ezzati, Y. Zhang, H. Niu, A. M. Lai, M. Shan, Y. Wang, X. Yang, J. Baumgartener. 2016. Seasonal variation in outdoor, indoor, and personal air pollution exposures of women using wood stoves in the Tibetan Plateau: Baseline assessment for an energy intervention study. *Environment international*. 94:449-457. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.05.029>

Nielsen I. E., Eriksson A. C., Lindgren R. Martinsson J., Nyström R., Nordin E. Z., Sadiktsis I., Boman C., Nøjgaard J. K., Pagels J., 2017. Time-resolved analysis of particle emissions from residential biomass combustion e Emissions of refractory black carbon, PAHs and organic tracers. *Atmospheric Environment*, 165, 179-190. <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.06.033>

Quiroz-Carranza, J., y R. Orellana. 2010. Uso y manejo de leña combustible en viviendas de seis localidades de Yucatán, Méx. *Madera y Bosques*. 16:47-67 [en línea]. <https://www.scielo.org.mx/pdf/mb/v16n2/v16n2a4.pdf10/06/2024>

Ramdahl, T., 1983 Retene a molecular marker of wood combustion in ambient air. *Nature* 306, 580–582. <https://doi.org/10.1038/306580a0>

Rennert, W. P., R. M. Porras, G. B. Muniz. 2014. The effects of smokeless cookstoves on peak expiratory flow rates in rural Honduras. *J Public Health*. 37: 455-460. <https://doi.org/10.1093/pubmed/ftu087>

SCF, 2002. Opinion of the Scientific Committee on Food on the Risk to human health of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Food. European Commission Health And Consumer Protection Directorate-General, Brussels - Belgium. SCF/CS/CNTM/PAH/29 Final [en línea]. https://ec.europa.eu/food/fs/sc/scf/out153_en.pdf.10/06/2024

Shen G., Tao S., Wei S., Zhang Y., Wang R., Wang B., Li W., Shen H., Huang Y., Chen Y., Chen H., Yang Y., Wang W., Wang X., 2012. Emissions of Parent, Nitro, and Oxygenated Polycyclic Aromatic Hydrocarbons from Residential Wood Combustion in Rural China. *Environmental Science and Technology*, 46, 8123–8130. <https://doi.org/10.1021/es301146v>

Wenxin Liu,† and Staci L. M. Simonich Rijal, H. B., H. Yoshida, T. Miyazaki, y I. Uchiyama. 2005. Indoor air pollution from firewood combustion in traditional houses of Nepal. *Proceedings from 10th International Conference on Indoor Air Quality and Climate*. Beijing, China, pp: 3625-3629.

White, A. J., y D. P. Sandler. 2017. Indoor Wood-Burning Stove and Fireplace Use and Breast Cancer in a Prospective Cohort Study. *Environmental health perspectives*, 125(7): 1-7. <https://doi.org/10.1289/EHP827>

WHO, 2010. WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants. World Health Organization Regional Office for Europe. Copenhagen, Denmark.

WHO. 2022. “Fact Sheets: Household Air Pollution.” Geneva: World Health Organization [en línea]. <https://www.who.int/newsroom/fact-sheets/detail/household-air-pollution-and-health.05/07/2023>

WHO, 2023a. World health statistics 2023: monitoring health for the SDGs, Sustainable Development Goals. Geneva: World Health Organization. Licence: CC BY-NC- SA 3.0 IGO. [en línea]. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240074323.10/06/2024>

WHO, 2023b. Proportion of population with primary reliance on fuels and technologies for cooking, by fuel type (%). THE GLOBAL HEALTH OBSERVATORY [en línea]. <https://www.who.int/data/gho/data/indicators/indicator-details/GHO/gho-phe-primary-reliance-on-clean-fuels-and-technologies-proportion.5/7/2023>.

WHO, 2023c. Household air pollution attributable deaths. THE GLOBAL HEALTH OBSERVATORY [en línea]. <https://www.who.int/data/gho/data/indicators/indicator-details/GHO/household-air-pollution-attributable-deaths.5/7/2023>

WHO, 2023d. Household air pollution attributable DALYs. . THE GLOBAL HEALTH OBSERVATORY [en línea]. <https://www.who.int/data/gho/data/indicators/indicator-details/GHO/household-air-pollution-attributable-dalys> 5/7/2023

Wiriya, W., S. Chantara, S. Sillapapiromsuk, y N. H. Lin. 2016. Emission profiles of PM10-bound polycyclic aromatic hydrocarbons from biomass burning determined in chamber for assessment of air pollutants from open burning. *Aerosol Air Qual. Res.* 16: 2716-2727. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2015.04.0278>

Wu, F., X. Liu, W. Wang, Y. B. Man, C. Y. Chan, X. Liu, S. Tau y M. H. Wong. 2015. Characterization of particulate-bound PAHs in rural households using different types of domestic energy in Henan Province, China. *Science of the Total Environment.* 536: 840–846. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.07.101>

Xu, S., W. Liu, y S. Tao. 2006. Emission of polycyclic aromatic hydrocarbons in China. *Environmental Science & Technology.* 40(3): 702-708. <https://doi.org/10.1021/es0517062>

Zhu L, Wang J., 2003) Sources and patterns of polycyclic aromatic hydrocarbons pollution in kitchen air, China. *Chemosphere* 50: 61. [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(02\)00668-9](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(02)00668-9)

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 (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

Agentes conversacionais basados en LLM 269

Agua 59, 98, 101, 103, 104, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 114, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 126, 127

Agua potable 98, 101, 103, 107, 108, 110, 111, 112

Aire 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 134, 136, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144

Aire interior 128, 129, 130, 131, 132, 136, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144

Algoritmo computacional 2, 7, 14

Amylose 58, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 67, 69

Análisis multivariante 171, 191, 243, 258, 267

Analítica multimodal del aprendizaje 268, 269, 270, 272, 281, 288

Arquitectura de software 269, 289

Audio-mediación 194, 195, 196, 197, 198, 203, 208, 213

Autómatas 230, 231, 233, 234, 235, 236, 237, 241

B

Bacterial cellulose 58, 59, 60, 61, 62, 64, 65, 66, 68, 70, 71

Benzo(a)pireno 128, 129, 136, 143

Bienestar docente 195, 198, 208, 214, 289, 291

Biorretroalimentación 268, 269, 283, 284, 285, 286, 288

C

Calidad del servicio 217, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 224, 225, 226, 227, 228, 229

Caras de Chernoff 171, 175, 178, 186, 187, 190, 191, 243, 245, 262, 263, 264, 266

Cellulose nanocrystals 58, 59, 60, 61, 62, 64, 65, 66, 68, 71

Cizallamiento 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 44, 45

Competencias socioemocionales docentes 195, 202, 213

Computación afectiva 268, 269, 270, 273, 274, 289

Conocimiento local 148

Contaminación 129, 130

D

Desarrollo sostenible 98, 113

Dificultades 56, 91, 230, 232, 233, 234, 241, 242

E

Educación en ingeniería 72, 76, 77, 81, 242

Energía hidroeléctrica 98

Energía maremotriz 114

Energía Renovable 98, 113

Entrenamiento Socioemocional Docente 268, 269, 271, 289

ERIM 46, 47, 48, 50, 51, 52, 55, 56

Escritura académica 72, 74, 76

Estadística aplicada 243

Ética del diseño tecnológico 195

F

Fiabilidad 46, 47, 50, 55, 114, 217, 220, 222, 223, 225, 226, 227, 228

Fidelidad psicológica 269, 270, 280, 283, 289

Formación investigativa 72, 74, 76, 77, 79, 96

Formulación lagrangiana 2, 4

Frequency analysis 16

Fuerza de corte 32, 33, 35, 36, 39, 41, 42, 44, 45

G

Gestión pública local 217, 219, 226

H

Huertos familiares 148, 149, 150, 152, 154, 157

I

Inteligencia artificial 72, 74, 75, 76, 77, 78, 81, 88, 89, 96, 197, 211, 212, 214, 217, 218, 219, 222, 223, 224, 225, 226, 227, 228, 229, 271, 272, 288

Inteligencia artificial generativa 72, 74, 76, 77, 89, 96, 272

K

Knowledge translation 160, 164, 165, 166

M

Marco teórico 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 87, 88, 89, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 202
Mareas 114, 115, 116, 117, 118, 122, 123, 126
Matemáticas 230, 231, 232, 233, 234, 235, 236, 237, 240, 241, 242
Mechanical systems 16
Media representation 160, 161, 163
Microturbina 98, 108, 109
Modelo dinámico 1, 2, 3, 4, 7, 14
Modelo ECOS 194, 195, 198, 204, 205, 206, 207, 209, 210, 211, 213
Modelo SEED 268, 269, 270, 284, 285, 286, 289, 290
Modelo SERVQUAL 217, 220, 222, 224
Mundo virtual 268, 269, 270, 271, 284, 288, 289

N

Non-destructive testing 16, 20
Nuclear energy communication 159, 160, 161, 164, 166, 167, 168, 169

P

Plantas alimenticias 148, 149, 151
Plantas medicinales 148, 149, 150, 151, 154, 158
Podcast educativo 194, 195, 196, 197, 198, 213
Predictive maintenance 16
Public meaning 160, 161, 163, 167, 168

R

Razonamiento estadístico 171, 173, 175, 176
Realidad virtual inmersiva 269
Rendimiento académico 171, 178, 180, 243, 257, 259, 261, 266
Reproducibilidad 171, 172, 173, 174, 175, 176, 188, 190, 191, 243
Resolución ejercicios 230
Resonancia 114, 115, 122, 123, 124, 126, 127
RMarkdown 171, 172, 175, 176, 179, 188, 189, 191

S

Science communication 160, 162, 163, 167, 168, 169, 170
Silueta 32, 185

Starch 58, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71

Structural health monitoring 16

T

TPM 46, 47, 50, 51, 57

Transformación digital 217, 219, 221

V

Vibration-based identification 16

Vibration diagnostics 16, 18, 20

