

# Ciência e Tecnologia

Para o Desenvolvimento  
Ambiental, Cultural  
e Socioeconômico

Xosé Somoza Medina  
(organizador)

VOL VI

 EDITORA  
ARTEMIS  
2025

# Ciência e Tecnologia

## Para o Desenvolvimento Ambiental, Cultural e Socioeconômico

Xosé Somoza Medina  
(organizador)

VOL VI

 EDITORA  
ARTEMIS  
2025



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.

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

#### Conselho Editorial

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> 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.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Amanda Ramalho de Freitas Brito, Universidade Federal da Paraíba, Brasil  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ana Clara Monteverde, *Universidad de Buenos Aires*, Argentina  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ana Júlia Viamonte, Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), Portugal  
Prof. Dr. Ángel Mujica Sánchez, *Universidad Nacional del Altiplano*, Peru  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Angela Ester Mallmann Centenaro, Universidade do Estado de Mato Grosso, Brasil  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Begoña Blandón González, *Universidad de Sevilla*, Espanha  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Carmen Pimentel, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Catarina Castro, Universidade Nova de Lisboa, Portugal  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Cirila Cervera Delgado, *Universidad de Guanajuato*, México  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Cláudia Neves, Universidade Aberta de Portugal  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> 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.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Deuzimar Costa Serra, Universidade Estadual do Maranhão, Brasil  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Dina Maria Martins Ferreira, Universidade Estadual do Ceará, Brasil  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Edith Luévano-Hipólito, *Universidad Autónoma de Nuevo León*, México  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> 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.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Elvira Laura Hernández Carballido, *Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*, México

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Emilas Darlene Carmen Lebus, *Universidad Nacional del Nordeste/ Universidad Tecnológica Nacional, Argentina*  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> 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.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Gabriela Gonçalves, Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), Portugal  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Galina Gumovskaya – Higher School of Economics, Moscow, Russia  
Prof. Dr. Geoffroy Roger Pointer Malpass, Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Brasil  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Gladys Esther Leoz, *Universidad Nacional de San Luis, Argentina*  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> 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.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Iara Lúcia Tescarollo Dias, Universidade São Francisco, Brasil  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Isabel del Rosario Chiyon Carrasco, *Universidad de Piura, Peru*  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> 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.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ivânia Maria Carneiro Vieira, Universidade Federal do Amazonas, Brasil  
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz, *University of Miami and Miami Dade College, Estados Unidos*  
Prof. Dr. Jesús Montero Martínez, *Universidad de Castilla - La Mancha, Espanha*  
Prof. Dr. João Manuel Pereira Ramalho Serrano, Universidade de Évora, Portugal  
Prof. Dr. Joaquim Júlio Almeida Júnior, UniFIMES - Centro Universitário de Mineiros, Brasil  
Prof. Dr. Jorge Ernesto Bartolucci, *Universidad Nacional Autónoma de México, México*  
Prof. Dr. José Cortez Godinez, Universidad Autónoma de Baja California, México  
Prof. Dr. Juan Carlos Cancino Diaz, Instituto Politécnico Nacional, México  
Prof. Dr. Juan Carlos Mosquera Feijoo, *Universidad Politécnica de Madrid, Espanha*  
Prof. Dr. Juan Diego Parra Valencia, *Instituto Tecnológico Metropolitano de Medellín, Colômbia*  
Prof. Dr. Juan Manuel Sánchez-Yáñez, *Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México*  
Prof. Dr. Juan Porras Pulido, *Universidad Nacional Autónoma de México, México*  
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil  
Prof. Dr. Leinig Antonio Perazolli, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Brasil  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Livia do Carmo, Universidade Federal de Goiás, Brasil  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> 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.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> 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.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> 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.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Mar Garrido Román, *Universidad de Granada, Espanha*  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Margarida Márcia Fernandes Lima, Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> María Alejandra Arecco, *Universidad de Buenos Aires, Argentina*  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria Aparecida José de Oliveira, Universidade Federal da Bahia, Brasil  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> 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 MªGraça 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 VI [livro eletrônico] / Organizador Xosé Somoza Medina. – Curitiba, PR: Artemis, 2025.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

Edição bilíngue

ISBN 978-65-81701-51-2

DOI 10.37572/EdArt\_290525512

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

CDD 363.7

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422



## PRÓLOGO

La ciencia y la tecnología siguen siendo fuerzas impulsoras de las transformaciones sociales, culturales y ambientales de nuestro tiempo. Al mismo tiempo que responden a desafíos urgentes del presente, también iluminan caminos hacia futuros más sostenibles, más justos e inteligentes. Esta recopilación nace precisamente de ese impulso: el de pensar, crear y proponer soluciones a partir de la investigación científica y la innovación tecnológica, en diálogo con las realidades locales y los contextos globales.

Reunimos en ***Ciência e Tecnologia para o Desenvolvimento Ambiental, Cultural e Socioeconômico VI*** artículos de investigadores e investigadoras de distintas partes del mundo, comprometidos con la producción de un conocimiento riguroso, interdisciplinario y sensible a la complejidad de los temas contemporáneos. Los trabajos presentados abordan una amplia gama de cuestiones – desde la nanotecnología hasta la agricultura de precisión, desde la física aplicada hasta la expresión lingüística – conformando un panorama diverso que refleja los múltiples caminos de la ciencia en el siglo XXI.

Organizados en cuatro ejes temáticos – *Tecnología e Innovación en Salud e Industria, Ingeniería, Física Aplicada y Recursos Naturales, Sustentabilidad Agrícola y Transformaciones Climáticas, y Lenguaje, Cognición y Expresión Científica* – los textos aquí reunidos nos invitan a reflexionar sobre preguntas centrales de nuestro tiempo: ¿Cómo garantizar el acceso equitativo a las nuevas tecnologías médicas? ¿Cómo integrar soluciones de ingeniería a las urgencias ambientales? ¿De qué manera puede el avance agrícola responder al cambio climático sin agotar los recursos naturales? ¿Y cómo influye el lenguaje en la forma en que comprendemos y comunicamos el conocimiento científico?

Más que ofrecer respuestas definitivas, esta obra propone caminos para la reflexión y la acción, abriendo espacio para nuevas investigaciones, debates y colaboraciones. Cada autor y autora aporta una perspectiva única, y juntas estas voces amplían nuestra comprensión del papel transformador de la ciencia y la tecnología en el mundo contemporáneo.

Que este nuevo libro sea, para lectoras y lectores, una invitación a la curiosidad crítica, al pensamiento creativo y a la construcción de futuros posibles. Agradecemos a todos los involucrados por su confianza, dedicación y generosidad intelectual.

**Xosé Somoza Medina**

Universidad de León, España

## SUMÁRIO

### TECNOLOGIA E INOVAÇÃO EM SAÚDE E INDÚSTRIA

#### **CAPÍTULO 1..... 1**

NAVEGANDO LOS DESAFÍOS EN LA NANOMEDICINA: ÉTICA, ACCESO Y PARTICIPACIÓN PÚBLICA

Jade Cristi Rivera Rossi

 [https://doi.org/10.37572/EdArt\\_2905255121](https://doi.org/10.37572/EdArt_2905255121)

#### **CAPÍTULO 2..... 7**

APLICACIÓN DE LA ELECTRICIDAD Y LA ELECTRÓNICA EN LA INGENIERÍA INDUSTRIAL: INTEGRACIÓN DE SENSORES, ELECTRO-NEUMÁTICA Y CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES

Miguel Ángel Quiroz García

María del Carmen Nolasco Mata

Marycarmen Arana Altamirano

Violeta del Rocío Hernández Campos

Raymundo Escalante Wong

 [https://doi.org/10.37572/EdArt\\_2905255122](https://doi.org/10.37572/EdArt_2905255122)

### ENGENHARIA, FÍSICA APLICADA E RECURSOS NATURAIS

#### **CAPÍTULO 3..... 21**

SOLUCIÓN A LA ECUACIÓN DE ONDA PROPAGADA RADIALMENTE PARA EL CAMPO ELÉCTRICO EN COORDENADAS CILÍNDRICAS

Esteban Andrés Zárate

Mateo Márquez Arias

Israel Benjamín Sánchez Jiménez

Quintiliano Angulo Córdova

 [https://doi.org/10.37572/EdArt\\_2905255123](https://doi.org/10.37572/EdArt_2905255123)

#### **CAPÍTULO 4..... 31**

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS VARIACIONES DEL COMPORTAMIENTO DEL FUEGO, DURANTE UNA QUEMA PRESCRITA

José German Flores-Garnica

 [https://doi.org/10.37572/EdArt\\_2905255124](https://doi.org/10.37572/EdArt_2905255124)

**CAPÍTULO 5..... 46**

DIAGNÓSTICO EXPERIMENTAL DO PROBLEMA DE REBAIXAMENTO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA REGIÃO DE BISKRA (ARGÉLIA)

Abderrahmane Noui

Zineb Guesbaya

 [https://doi.org/10.37572/EdArt\\_2905255125](https://doi.org/10.37572/EdArt_2905255125)

**SUSTENTABILIDADE AGRÍCOLA E TRANSFORMAÇÕES CLIMÁTICAS**

**CAPÍTULO 6..... 60**

BREEDING DROUGHT RESISTANCE AND HEAT TOLERANCE TO MITIGATE CLIMATIC CHANGE EFFECTS ON CROPS

Cándido López-Castañeda

 [https://doi.org/10.37572/EdArt\\_2905255126](https://doi.org/10.37572/EdArt_2905255126)

**CAPÍTULO 7 ..... 68**

CULTIVARES DE COENTRO FERTILIZADO COM A MISTURA DE ADUBOS ORGÂNICOS INCORPORADO AO SOLO NA REGIÃO SEMIÁRIDA 68

Paulo César Ferreira Linhares

Patrício Borges Maracajá

Aline Carla de Medeiros

José Nilson de Matos Fernandes

Lunara de Sousa Alves

Karen Geovana da Silva Carlos

Joaquim Odilon Pereira

Walter Martins Rodrigues

Fagno Dallino Rolim

Sonally Yasnara Sarmiento Medeiros Abrantes

Ordânio Pereira de Almeida

Maria Eduarda Sarmiento Medeiros Abrantes

 [https://doi.org/10.37572/EdArt\\_2905255127](https://doi.org/10.37572/EdArt_2905255127)

**CAPÍTULO 8.....82**

ADUBAÇÃO ORGÂNICA COM FLOR-DE-SEDA (*Calotropis procera*) EM ADIÇÃO COM ESTERCO BOVINO NA PRODUÇÃO DE RABANETE

Paulo César Ferreira Linhares

Lunara de Sousa Alves

Wyara Ferreira Melo

Aline Carla de Medeiros  
Joaquim Odilon Pereira  
Walter Martins Rodrigues  
Karen Geovana da Silva Carlos  
Sonally Yasnara Sarmiento Medeiros Abrantes  
Maria Eduarda Sarmiento Medeiros Abrantes  
Andressa Pedroza Pereira da Silva  
Ordânio Pereira de Almeida  
Fagno Dallino Rolim  
Francisco Andesson Bezerra da Silva

 [https://doi.org/10.37572/EdArt\\_2905255128](https://doi.org/10.37572/EdArt_2905255128)

**CAPÍTULO 9.....92**

AGRICULTURA DE PRECISÃO E FORMAÇÃO DIGITAL: O PAPEL TRANSFORMADOR DOS AGRICULTORES NO PROJETO HIBA

Elsa da Piedade Chinita Soares Rodrigues

 [https://doi.org/10.37572/EdArt\\_2905255129](https://doi.org/10.37572/EdArt_2905255129)

**CAPÍTULO 10.....107**

INFLUENCIA DE LA CONCENTRACIÓN DE ARSÉNICO EN LA TRANSFERENCIA DE MATERIA EN ZANAHORIAS COCIDAS

Oscar Daniel Galvez  
Mariela Beatriz Maldonado  
Juan Ignacio González Pacheco

 [https://doi.org/10.37572/EdArt\\_29052551210](https://doi.org/10.37572/EdArt_29052551210)

**LINGUAGEM, COGNIÇÃO E EXPRESSÃO CIENTÍFICA**

**CAPÍTULO 11..... 116**

THE EXPRESSION TECHNIQUES OF “IRREVOCABLE SADNESS” AND “INVISIBILITY”: BRAUTIGAN’S POETICS AS UNVERBALIZED ABSENCE THE SYMBOLIC FUNCTION OF SPECIFIC NUMBERS (3003, 45, 33) AND THE INTERSECTION OF CYCLICAL TIME, ETERNAL PRESENT, AND POETIC NUMEROLOGY IN WORKS FROM EARLY “THE MARBLE TEA” TO FINAL “SO THE WIND WON’T BLOW IT ALL AWAY” (AMERICAN LITERARY TRENDS 1950S-1980S)

Yasuko Kawahata

 [https://doi.org/10.37572/EdArt\\_29052551211](https://doi.org/10.37572/EdArt_29052551211)

**CAPÍTULO 12 .....138**

FROM “NAI” (“NOT”) TO “MIRU” (“TO SEE”): AN ANALYSIS OF THE MULTI-LAYERED STRUCTURE OF LINGUISTIC RHYTHMS – TRACING THE FORMATION OF THE DIGITAL PUBLIC SPHERE AND SOCIAL SYNCHRONIZATION PHENOMENA THROUGH BASIC JAPANESE VOCABULARY FROM JANUARY 2011 TO MARCH 2015 –

Yasuko Kawahata

 [https://doi.org/10.37572/EdArt\\_29052551212](https://doi.org/10.37572/EdArt_29052551212)

**SOBRE O ORGANIZADOR..... 161**

**ÍNDICE REMISSIVO .....162**

# CAPÍTULO 4

## ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS VARIACIONES DEL COMPORTAMIENTO DEL FUEGO, DURANTE UNA QUEMA PRESCRITA

Data de submissão: 20/04/2025

Data de aceite: 06/05/2025

**José German Flores-Garnica**

Instituto Nacional de Investigaciones

Forestales Agrícolas y Pecuarias

Campo Experimental

Centro Altos de Jalisco

Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México

<https://orcid.org/0000-0002-8295-1744>

**RESUMEN:** La simulación del comportamiento del fuego puede apoyar la toma de decisiones en el manejo de incendios forestales, por lo que se han desarrollado varios sistemas de simulación. Sin embargo, su implementación implica conocer varios factores, como varias características de los combustibles forestales (carga, densidad aparente, relación área/volumen, contenido de calor, etc.), las cuales influyen en su combustión. Por lo que, con fines prácticos, se usa el concepto de “modelos de combustibles”, dentro del cual las características de los combustibles se consideran constantes. No obstante, la distribución de combustibles dentro de una zona dada, no siempre es homogénea, implicando variaciones espaciales de las cargas de combustibles y, por lo tanto,

del comportamiento del fuego. Debido a esto, en el presente trabajo se hizo un análisis comparativo de simulaciones del comportamiento del fuego (velocidad de propagación [m/min]), durante el trascurso de una quema prescrita (a favor de la pendiente), en un rodal forestal de pino-encino del estado de Chihuahua (México). Estas simulaciones variaron en relación a: a) modelos de combustibles; b) cargas de combustibles; y c) velocidad del viento. Los modelos probaron fueron: a) M-2, M-8 y M-9, seleccionados de Anderson (1982); b) mismos modelos, pero sustituyendo las cargas de combustibles por las obtenidas en campo, M-2R, M8R y M-9R; y c) el que resultado de una regresión múltiple, en la que se relacionó la velocidad de propagación de fuego con temperatura, humedad relativa y pendiente. Se generaron las ecuaciones de las tendencias definidas por la correlación entre la humedad relativa (%) y la velocidad de propagación del fuego (m/min), donde el mejor ajuste se definió con la ecuación de la regresión:  $VP = 21.689e^{-0.037HR}$ , la cual puede usarse en forma práctica para una estimación de la velocidad de propagación del fuego (VP), en relación a la humedad relativa (HR). Se concluye que es necesario generar modelos de combustibles específicos para la vegetación analizada, considerando posibles variaciones en densidad, estructura y composición.

**PALABRAS CLAVE:** modelos de combustibles; cargas de combustibles; humedad relativa.

## COMPARATIVE ANALYSIS OF VARIATIONS IN FIRE BEHAVIOR DURING A PRESCRIBED BURN

**ABSTRACT:** Simulation of fire behavior can support decision making in forest fire management, therefore several simulation systems have been developed. However, their implementation requires knowledge of various factors, such as different characteristics of forest fuels (loading, bulk density, area/volume ratio, heat content, etc.), which influence their combustion. Therefore, for practical purposes, the concept of “fuel models” is used, within which fuel characteristics are considered constant. However, the distribution of fuels within certain zone is not always homogeneous, which implies spatial variations of fuel loads and therefore of fire behavior. For this reason, in the present work, a comparative analysis of simulations of fire behavior (fire spread rate [m/min]), during the course of a prescribed burn (uphill) in a pine-oak forest stand in the state of Chihuahua (Mexico), was carried out. These simulations were varied in: a) fuel models; b) fuel loads; and c) wind speed. The models tested were: a) M-2, M-8 and M-9, selected from Anderson (1982); b) the same models but with the fuel loads replaced by those obtained in the field, M-2R, M8R and M-9R; and c) the one obtained from a multiple regression in which the rate of fire spread was related to temperature, relative humidity and slope. The equations of trends defined by the correlation between relative humidity (%) and fire spread rate (m√min) were generated, with the best fit defined by the regression equation:  $VP = 21.689e^{-0.037RH}$ , which can be used in a practical way to estimate the speed of fire spread (VP) as a function of relative humidity (RH). It is concluded that it is necessary to generate specific fuel models for the analyzed vegetation, taking into account possible variations in density, structure and composition.

**KEYWORDS:** fuel models; fuel loads; relative humidity.

### 1 INTRODUCCIÓN

En el manejo de incendios forestales, la simulación del comportamiento del fuego puede apoyar la toma de decisiones, sin embargo, se requiere considerar varios factores, como combustibles, topografía, humedad, etc. (Flores, 2023). Más aún, las diversas combinaciones de estos factores complican una precisa predicción del comportamiento del fuego, lo cual, a su vez define el posible nivel de impacto del fuego en los diferentes elementos de los ecosistemas forestales (Johnson y Miyanishi, 2001). De esta forma, la simulación del comportamiento del fuego podrá apoyar la definición de estrategias tanto de prevención y combate de incendios forestales, como de restauración (Stratton, 2006), lo cual se basa en la predicción de, por ejemplo, velocidad de propagación, altura de llama, longitud de llama, intensidad de calor, etc. (Flores, 2023).

En las últimas cuatro décadas, se han desarrollado varios sistemas de simulación del comportamiento del fuego, como por ejemplo los basados en una red neuronal artificial (Wu *et al.*, 2022), BehavePlus (Andrews, 2014), Prometheus (Tymstra,

2010), FlamMap (Finney, 2006), Farsite (Finney, 2004), CARDIN (Martínez *et al.*, 1991) Behave (Burgan y Rothermel, 1984). Todos estos se han desarrollado principalmente modelando la relación del comportamiento del fuego con diversos factores ambientales, como pendiente, viento, combustibles, etc. (Andrews, 2018; Ascoli *et al.*, 2015; Castillo y Garfias, 2010). No obstante, la mayoría de los sistemas de simulación se basan en las teorías desarrolladas por Rothermel (1972), cuya implementación implica evaluar una serie de características de los combustibles, las cuales influyen en su combustión (carga, densidad aparente, relación área/volumen, contenido de calor, etc.). Sin embargo, esta implementación se complica si se consideran las posibles combinaciones de los valores de estas características (Andrews, 2018; Finney *et al.*, 2013), por lo que, con fines prácticos, se definió el concepto de “modelos de combustibles”, dentro del cual las características de los combustibles se mantienen constantes. De esta forma, un modelo de combustibles es una descripción estandarizada (constante) de un conjunto de valores numéricos de las propiedades de los combustibles forestales (Karouni *et al.*, 2014). Desde esta perspectiva, inicialmente Rothermel (1972) definió 11 modelos de combustible, a los cuales Albini (1976) agregó dos modelos más, agrupando los 13 modelos resultantes en cuatro grupos: 1) Ecosistema dominado por pastos; 2) Chaparrales y arbustos; 3) Residuos forestales; 4) Residuos de aprovechamiento forestal. Debido a que estos modelos no cubren todas las condiciones posibles, se han venido desarrollando nuevos modelos, como, por ejemplo, los 40 modelos de Scott y Burgan (2005).

Para la predicción del comportamiento del fuego, se selecciona el modelo de combustibles que mejor se ajuste a una zona forestal dada, no obstante, debe considerarse que la distribución de combustibles dentro de esta zona, no necesariamente es homogénea, implicando variaciones espaciales de las cargas de combustibles (Flores y Omi, 2003). Estas variaciones definen, a su vez, cambios espaciales en el comportamiento del fuego por lo que, si no se consideran estos cambios, las simulaciones generalizadas (basadas en un modelo de combustibles) podrán sobrestimar, o subestimar, el comportamiento del fuego (Flores, 2023). Para ejemplificar esto, se presenta un análisis comparativo de simulaciones del comportamiento del fuego, durante una quema prescrita en relación a variaciones de: a) modelos de combustibles; b) cargas de combustibles; c) humedad de combustibles; y d) velocidad del viento. La información generada permite argumentar que, no obstante que los modelos de combustibles pueden facilitar la simulación del comportamiento del fuego, se debe considerar la variación espacial de los combustibles, para tender a una simulación más realista.

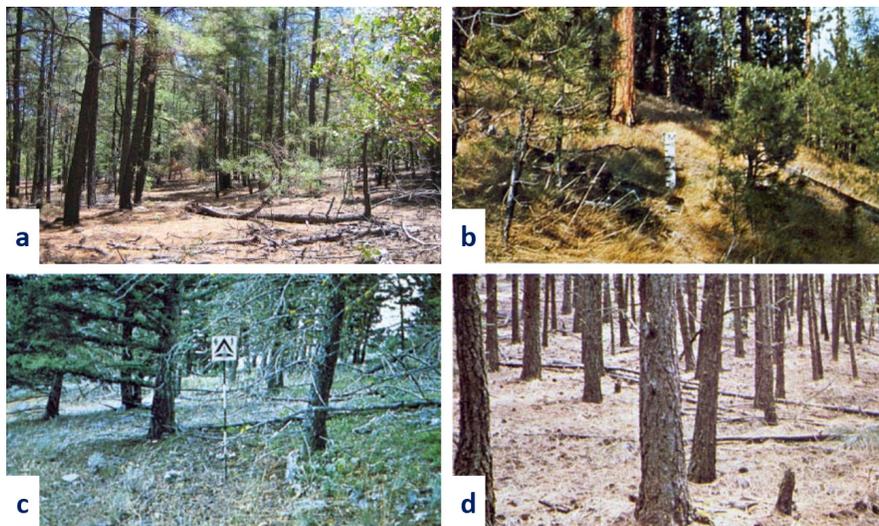
## 2 MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se llevó a cabo en un rodal forestal de pino-encino, del estado de Chihuahua, ubicado en el paraje “El Vallecito”, del predio “El Largo y Anexos”, cuyas coordenadas son: latitud 19° 06' 55" y longitud 108° 10' 25.3" (Flores *et al.*, 2010b). El clima que prevalece es el semifrío subhúmedo con lluvias en verano, donde los principales tipos de suelo que predominan son regosol y feozem. El análisis comparativo de este trabajo se llevó a cabo con información del comportamiento del fuego obtenida a través de la implementación de una quema prescrita realizada dicho rodal, donde predomina el *Pinus durangensis* y el género *Quercus*, con alturas promedio de 8.5 y 6.3 respectivamente. El diámetro normal promedio fue de 16.61 cm y 12.6 cm, para *P. durangensis* y *Quercus spp*, respectivamente. Mientras que la altura de copa promedio es de 4.40 m<sup>2</sup> para *P. durangensis* y de 16.61 para *Quercus spp*.

### 2.1 MODELOS DE COMBUSTIBLES

Para llevar a cabo las simulaciones del comportamiento del fuego, primeramente, se seleccionaron de los modelos de combustibles propuestos por Anderson (1982) los que gráficamente coinciden con las condiciones forestales del área de trabajo, para esto se identificó cuál es que conductor primario del fuego (pasto, pasto-arbustos, arbustos, madera muerta, madera en el sotobosque etc.) y las clases de tamaño de combustibles representadas. El uso de fotografías, para designar modelos de combustibles ha sido ampliamente aplicado, lo cual ha derivado en el concepto de fotoseries, que constan de catálogos de fotografías para visualmente clasificar una zona forestal en los modelos de combustibles pertinentes (Labenski *et al.*, 2022; Flores *et al.*, 2010a; Scholl y Waldrop, 1999). De esta forma se usaron los siguientes modelos (Figura 1): M-2= Bosque; M-8= Residuos de bosque cerrado; M-9= Residuos de arbolado de madera dura. Así mismo, las simulaciones basadas en estos modelos se compararon en relación a dos arreglos de cargas de combustibles (Cuadro 1): a) estándares correspondientes a los modelos seleccionados y b) valores reales obtenidos en campo. Para el caso de los combustibles de 1 hora se consideraron los siguientes elementos (National Wildfire Coordinating Group, 2022): ramillas entre 0 y 0.6 cm, hojarasca, zacates y herbáceas.

Figura 1. Modelos de combustibles similares a las condiciones del área de trabajo (a): Modelo 2 (b); Modelo 8 (c); y Modelo 9 (d). (Modificado de Anderson, 1982).



Cuadro 1. Cargas (t/ha) por tipo de combustibles, correspondientes a modelos de combustibles de Anderson (1982).

| Modelo | 1-hr  | 10-hr | 100-hr | Vivos |
|--------|-------|-------|--------|-------|
| 2      | 4.94  | 2.47  | 1.24   | 1.24  |
| 8      | 3.71  | 2.47  | 6.18   | 0.00  |
| 9      | 7.17  | 0.99  | 0.49   | 0.00  |
| Campo  | 28.10 | 2.46  | 4.57   | 1.24* |

\* Valor estándar correspondiente al Modelo 2.

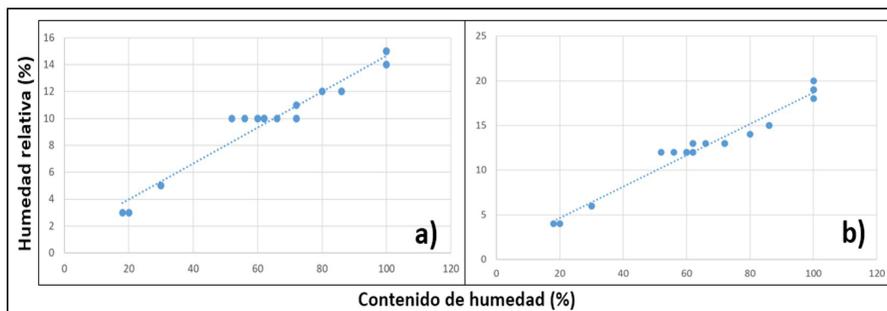
## 2.2 HUMEDAD DE COMBUSTIBLES

Las simulaciones del comportamiento del fuego se hicieron considerando cambios temporales de la humedad de combustibles (%) y de la velocidad del viento (km/hr). En cuanto al contenido de humedad, en referencia a los combustibles de 1-hora y 10-horas, se consideró la relación de la humedad relativa y contenido de humedad reportada por Flores y Gómez (2011), con la cual se generaron los siguientes modelos (Figura 2) para estimar el contenido de humedad (CH):

$$\begin{aligned}
 CH_{1-hr} &= (0.1334 * HR) + 1.3129 \\
 CH_{10-hr} &= (0.1755 * HR) + 1.1135; \\
 CH_{100-hr} &= (CH_{10-hr} / CH_{1-hr}) * CH_{10-hr}
 \end{aligned}$$

Estos modelos solo toman una fracción de la humedad relativa (RH), debido a que se considera el contenido de humedad de los combustibles en un momento dado, por lo que, para que los combustibles lleguen a su punto de equilibrio total se requiere que trascurra el tiempo de retardo correspondiente al tamaño de cada combustible (p.e. 1-hora, 10-horas) En cuanto a los combustibles vivos, asumió un contenido de humedad del 80%.

Figura 2. Tendencia de la relación de humedad relativa y contenido de humedad de combustibles forestales: a) combustibles de 1-hora ( $R^2= 0.955$ ); b) combustibles de 10 horas ( $R^2= 0.965$ ).



## 2.3 PROCESOS DE SIMULACIÓN

El análisis comparativo de las diferentes simulaciones del comportamiento del fuego se enfocó en la estimación de la velocidad de propagación (m/min) y la longitud de llama (m), cuyas simulaciones se hicieron con el sistema FUEGO (Flores, 2019; Flores *et al.*, 2007). Donde la simulación de la propagación de incendios superficiales se estimó con base al siguiente algoritmo (Andrews, 2018):

$$ROS = \frac{RI * PFR * (1 + WC + SF)}{BD * EQIG * QIG}$$

dónde: **ROS**= Tasa de propagación (Rate of Spread (chains/hr)); **RI**= Intensidad de reacción (Reaction Intensity); **PFR**= Relación de flujo de propagación (Propagation Flux Ratio); **WC**= Coeficiente del viento (Wind coefficient); **SF**= Factor por pendiente (Slope factor); Factor de pendiente y/o viento (Wind-Slope Factor); **BD**= Densidad aparente (Bulk Density (lbs/cu ft)); **EQIG**= Número de calentamiento efectivo (Effective Heating Number); **QIG**= Calor de pre-encendido (Heat of Preignition (BTU/lb)). Las simulaciones se hicieron a favor de la pendiente, bajo dos perspectivas: a) con los valores de cargas de combustibles estándares, correspondientes a cada uno de los modelos de combustibles (M-2, M-8 y M-9); y b) con los mismos modelos, pero

sustituyendo las cargas de combustibles estándares por las cargas evaluadas en campo (M-2R, M-8R Y M-9R). Otra opción que se comparó, para la estimación de la velocidad de propagación de fuego, fue la ecuación propuesta por Flores *et al.* (2010b), a la que se le denominó REGRESIÓN, donde se correlaciona la tasa de propagación (velocidad de propagación [**VP** m/min]), la humedad relativa (**HR** [%]), temperatura (**T** [C°]) y viento (**V** [km/hr]):

$$VP= 12.2259 - 0.1116HR - 0.278T - 0.162V$$

## 2.4 CONDICIONES AMBIENTALES

Las evaluaciones de campo (reales) de la velocidad de propagación del fuego se hicieron durante el desarrollo de la quema prescrita, monitoreándose también las variaciones de las condiciones ambientales y el contenido de humedad de los combustibles (Cuadro 2). Estas condiciones se consideraron para las simulaciones del comportamiento del fuego, con base a lo cual se generaron los modelos correspondientes, mismos que representan un cambio fraccional, en relación al punto de equilibrio entre el contenido de humedad de los combustibles y los cambios de humedad relativa. Esto implica que el contenido de humedad de los combustibles no varía al mismo ritmo que las variaciones de la humedad relativa, sobre todo en los combustibles mayores a 1 hora, lo cual limita la precisión de la simulación del comportamiento del fuego. De esta forma, si se quiere tener en cuenta variaciones inmediatas del contenido de humedad de los combustibles, se deberá implementar un modelaje dinámico.

Cuadro 2. Variación de las condiciones ambientales y contenido de humedad (%) de combustibles durante la quema prescrita (adaptado de Flores *et al.*, 2010b).

| <b>Hora</b> | <b>T</b> | <b>HR</b> | <b>VV</b> | <b>P</b> | <b>1hr</b> | <b>10hr</b> | <b>100hr</b> | <b>Vivos</b> |
|-------------|----------|-----------|-----------|----------|------------|-------------|--------------|--------------|
| 07:15       | 4        | 87        | 2         | 15       | 12.92      | 16.38       | 20.77        | 80           |
| 07:33       | 6        | 87        | 1         | 15       | 12.92      | 16.38       | 20.77        | 80           |
| 07:38       | 7        | 58        | 2         | 15       | 9.05       | 11.29       | 14.09        | 80           |
| 07:55       | 8        | 60        | 2         | 15       | 9.32       | 11.64       | 14.55        | 80           |
| 08:17       | 8        | 60        | 1         | 15       | 9.32       | 11.64       | 14.55        | 80           |
| 08:20       | 8        | 53        | 5         | 15       | 8.38       | 10.42       | 12.94        | 80           |
| 08:48       | 10       | 61        | 5         | 15       | 9.45       | 11.82       | 14.78        | 80           |
| 08:55       | 15       | 57        | 2         | 15       | 8.92       | 11.12       | 13.86        | 80           |

**T**= Temperatura (C°); **HR**= Humedad relativa (%); **VV**= Velocidad del viento (km/hr); **P**= Pendiente (%).

### 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 COMPORTAMIENTO PROMEDIO

Tomando como base el comportamiento del fuego evaluado directamente en campo, y los modelos seleccionados, las estimaciones en las simulaciones presentaron resultados muy variables (Figura 3), que va desde una subestimación del 7% (M-8R), hasta una sobrestimación 139.5% (M-2R). Donde sobresalen los casos de las estimaciones del modelo M-2 y de la REGRESIÓN, las cuales, en promedio, fueron muy similares al comportamiento del fuego de campo (2.26 m/min), 2.608 y 2.236 respectivamente.

#### 3.2 SIMULACIÓN COMPARATIVA

Las comparaciones de las simulaciones del comportamiento del fuego, de cada uno de los modelos, se presentan en la Figura 4, los cuales resultaron en una alta variación en relación a la velocidad de propagación del fuego. Sin embargo, se distinguen dos grupos, el primero se conforma por los modelos M-8 y M-9, los cuales subestiman considerablemente el comportamiento del fuego. Más aún, al sustituir las cargas de combustibles en cada uno de estos modelos (M-8R y M-9R), por las cargas evaluadas en campo, no se apreció un mejor ajuste al comportamiento del fuego real (Figuras 4b y 4c). Por otra parte, el modelo M-2 y el derivado de la REGRESIÓN se aproximan más a la velocidad del fuego registrada en campo (Figura 5). Sin embargo, el modelo M-2 subestima la propagación del fuego en valores reales altos y, por el contrario, sobrestima cuando los valores reales son menores. Este comportamiento no se mejoró cuando se sustituyeron las cargas de combustibles por los valores reales (Figura 4d), ya que incluso se sobreestimó aún más en los valores reales bajos.

Figura 3. Variaciones de la estimación promedio del comportamiento del fuego, en una quema prescrita a favor de la pendiente: REAL= Medido en campo; REGRESIÓN = Basado en Flores *et al.* (2010b); M-2, M-8 y M-9= Basados en Anderson (1982); M-2R, M-8R y M-9R= Modelos de combustibles con cargas de combustibles estimadas en campo.

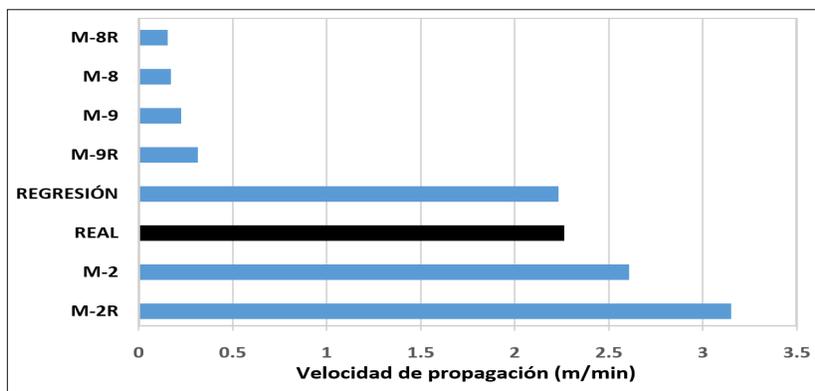
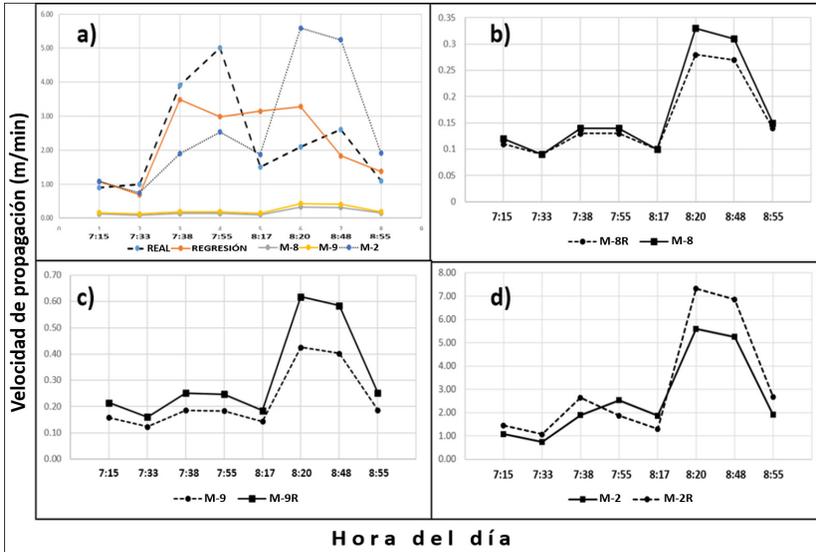


Figura 4. Tendencia de la velocidad de propagación del fuego, en relación a las opciones de estimación: a) Todos los modelos; b) Modelo-8; c) Modelo-9; d) Modelo-2.



El comportamiento del fuego es mayormente influenciado por la humedad relativa, debido a que define el contenido de humedad de los combustibles, lo cual es importante desde la perspectiva de los modelos dinámicos. Sin embargo, las tendencias de correlación no están bien definidas para ninguno de los modelos probados (Figura 6). No obstante, es clara la definición de dos grupos, donde en el primero los valores altos de humedad relativa resultan en valores bajos de la velocidad de propagación del fuego, mientras que en el otro grupo los bajos de humedad relativa definen una mayor velocidad de propagación. Estos resultados permiten establecer un contexto general de la tendencia del comportamiento del fuego.

Figura 5. Modelos que mejor se ajustaron al comportamiento del fuego real (medido en campo).

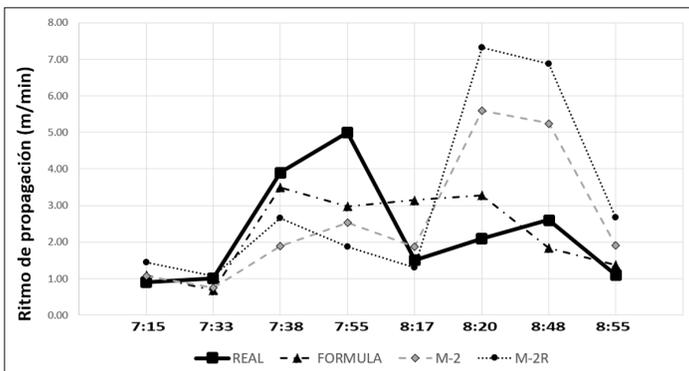
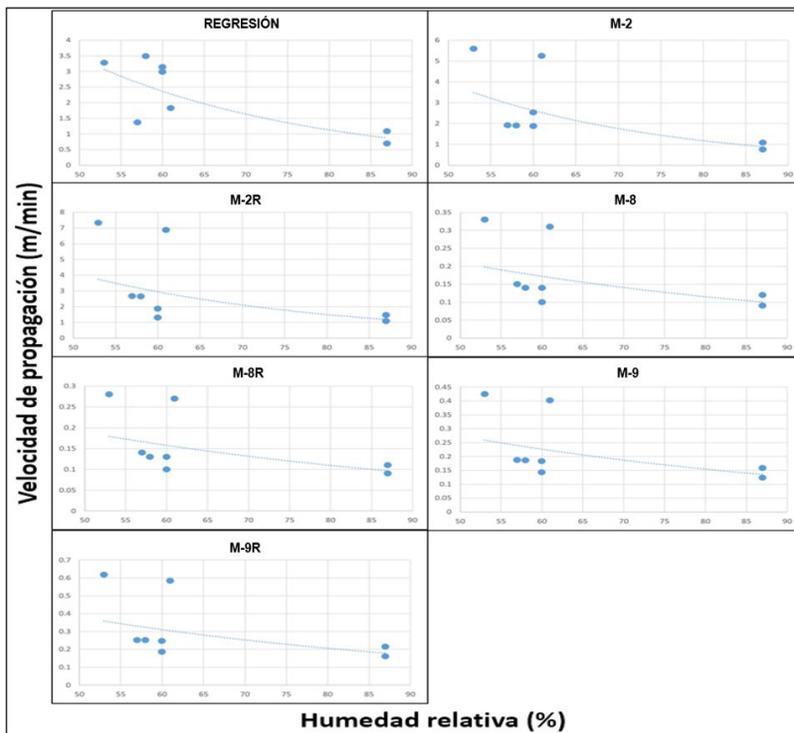


Figura 6. Tendencias de correlación entre la humedad relativa y la velocidad de propagación del fuego, correspondientes a los modelos probados.



Los modelos que se ajustan a las tendencias se presentan en el Cuadro 3, donde se indica que el mejor ajuste se define, en todos los casos, con modelos exponenciales. Donde los mejores ajustes resultaron con el modelo de REGRESION y el modelo M-2. De esta forma, estos modelos se pueden usar para orientar estimar, en forma práctica, la velocidad del fuego con base a la humedad relativa. Es decir, la definición de la regresión a las curvas obtenida para cada modelo, permite sustituir el valor de la humedad relativa, en las ecuaciones resultantes, para estimar la velocidad de propagación del fuego (Karouni *et al.*, 2014).

Cuadro 3. Modelos que definen la tendencia que más se aproximan al valor real de la velocidad de propagación del fuego (VP), basados en su correlación con la humedad relativa (HR).

| Modelo    | Ecuación                  | R <sup>2</sup> | F    | p-valor |
|-----------|---------------------------|----------------|------|---------|
| REGRESIÓN | $VP = 21.689e^{-0.037HR}$ | 0.6822         | 4.47 | 0.079   |
| M-2       | $VP = 29.253e^{-0.04HR}$  | 0.6156         | 0.41 | 0.544   |
| M-2R      | $VP = 22.477e^{-0.034HR}$ | 0.3980         | 0.09 | 0.7781  |
| M-8       | $VP = 0.5697e^{-0.02HR}$  | 0.3160         | 0.12 | 0.7435  |
| M-8R      | $VP = 0.4705e^{-0.018HR}$ | 0.3322         | 0.12 | 0.7375  |

|      |                           |        |      |        |
|------|---------------------------|--------|------|--------|
| M-9  | $VP = 0.7109e^{-0.019HR}$ | 0.3186 | 0.12 | 0.7383 |
| M-9R | $VP = 1.0564e^{-0.02HR}$  | 0.3051 | 0.11 | 0.7491 |

Con los modelos generados se puede predecir no solo el comportamiento potencial del fuego, sino eventualmente también sus efectos, sin embargo, es importante considerar los incendios forestales son fenómenos complejos por lo que su modelación requiere de información de varios factores, esencialmente sobre combustible (vegetación), topografía y clima (Fujioka *et al.*, 2009). De esta forma, la utilidad práctica de los modelos generados es que ayudan a definir bajo qué condiciones ambientales el fuego tiende a un comportamiento moderado, con base a lo cual se podría usar este fuego en forma controlada (Flores *et al.*, 2010b). No obstante, como en todo proceso de simulación, se debe especificar su utilidad (ventajas y limitaciones), tanto en tiempo como en espacio (Andrews, 2014). Más aún, se debe considerarse la escala de las predicciones: 1) modelos empíricos, que están relacionados a observaciones de gran escala (Finney *et al.*, 2013); y 2) modelos físicos que consideran los procesos a una escala más puntual, donde contempla la propagación del fuego como resultado de la combustión del material combustible (Prichard *et al.*, 2013). Así mismo, debe tomarse en cuenta que el avance del fuego no se determina por las condiciones promedio de los combustibles, sino que avanza hacia donde se tiene una resistencia menor a la combustión, por ejemplo, donde se tienen combustibles finos y secos (Cruz y Fernández 2008; Frandsen, 1971). No obstante, es importante considerar que cada incendio es diferente, incluso cuando ocurre en el mismo lugar, pudiendo definir un diferente comportamiento del fuego, lo cual es resultado de variaciones (en tiempo y espacio) de las condiciones ambientales (Ruiz, 2009). De acuerdo con esto, es claro que los modelos de simulación generados proporcionan una explicación limitada (Finney *et al.*, 2013), debido a que de acuerdo con Tricone y Anderson (2018): a) la representación de los combustibles (modelos de combustibles) puede ser deficiente; b) se considera que los combustibles muertos se queman incluso en condiciones de humedad relativa alta; y c) los combustibles herbáceos se modelan como secos. De acuerdo con esto, la selección incorrecta de un modelo de combustibles, en la simulación del comportamiento del fuego, puede resultar en estimaciones imprecisas. Por lo que, alternativamente, como se hizo en el presente trabajo, se pudo probar más de un modelo de combustibles para una misma área (Tricone y Anderson, 2018). Más aún, la calibración, que se hizo en este trabajo, de las cargas de los modelos de combustibles, al usar datos de campo, permitió un mejor ajuste con los parámetros ambientales, no obstante, no se debe perder de vista que esta calibración

define solo una aproximación de las características reales de los combustibles (Scott y Burgan 2005; Cruz y Fernandes 2008). Dentro de esta perspectiva, debe considerarse que algunos modelos de combustibles funcionan mejor en incendios forestales extremos, mientras que se requieren modelos específicos cuando se quiere predecir el comportamiento del fuego en quemas prescritas (Scott y Burgan, 2005).

## 4 CONCLUSIONES

Aunque, en general, los modelos seleccionados no presentaron un fuerte ajuste, para la simulación del comportamiento del fuego, su utilidad del proceso se define desde tres perspectivas: a) permiten conocer la tendencia potencial del comportamiento del fuego; b) la metodología usada apoya la generación de nuevos modelos; y c) se pueden probar modelos de combustibles alternativos. Al respecto se debe considerar que los resultados son específicos para las quemas prescritas realizadas (quema a favor), donde la variación de la simulación de la propagación fue considerable, principalmente en el caso del modelo M-2R. En relación a la simulación de la velocidad de propagación del fuego, cuando se especifica la pendiente como constante, fue clara la influencia de la velocidad del viento. Aunque en forma gráfica (fotográfica), se pueden identificar los modelos de combustibles que puedan corresponder a un área dada, es relevante considerar que este proceso puede ser muy subjetivo, dependiendo, básicamente, de la experiencia del seleccionador y del número de modelos de combustibles con que se cuente. Esto puede implicar que los modelos seleccionados difieran de las condiciones de varias áreas forestales, lo cual sugiere definir el mayor número de modelos de combustibles posible, con lo que, a su vez, se podrán realizar simulaciones del comportamiento del fuego que se ajusten mejor a la realidad. Sin embargo, es importante considerar que la definición de un modelo de combustibles no es un proceso sencillo, ya que implica la evaluación de varios aspectos, tanto de campo como de laboratorio. Más aún, en México son pocos los estudios que reporten en forma integral la evaluación de combustibles y su relación con los modelos de combustibles correspondientes. Debido a esto aún se siguen usando modelos generados en condiciones, relativamente, similares a las del área de estudio. Más aún, considerando que se haga una selección adecuada de los modelos de combustibles, existe la alta posibilidad de que se presenten variaciones espaciales internas de las cargas de combustibles, las cuales pueden alterar el comportamiento del fuego.

## BIBLIOGRAFÍA

Albini, F. A. 1976. Estimating wildfire behavior and effects. General Technical Report INT-30, USDA Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, Ogden, UT.

Anderson, H. E. 1982. Aids to determining fuel models for estimating fire behavior. General Technical Report INT-122, USDA Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, Ogden, UT.

Andrews, P. L. 2014. Current status and future needs of the BehavePlus fire modeling system. *International Journal of Wildland Fire*, 23: 21-33. <http://dx.doi.org/10.1071/WF12167>

Andrews, P. L. 2018. The Rothermel surface fire spread model and associated developments: A comprehensive explanation. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-371. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 121 p.

Ascoli, D., Vacchiano, G., Motta, R., Bovio, G. 2015. Building Rothermel fire behaviour fuel models by Genetic Algorithm optimization. *Journal: International Journal of Wildland Fire*, CSIRO: 1-19. DOI: 10.1071/WF14097

Burgan, R.E., Rothermel, R.C. 1984. BEHAVE: fire behavior prediction and fuel modeling system--FUEL subsystem. General Technical Report INT-167. Ogden, UT: U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station. 126 p.

Castillo S., M. y Garfias S., R. 2010. Estudio del comportamiento del fuego mediante simulación de incendios forestales en Chile. *Geographicalia*, 58: 80-13.

Cruz, M.G. y Fernandes, P.M. 2008. Development of fuel models for fire behaviour prediction in maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) stands. *International Journal of Wildland Fire* 2008, 17: 194–204.

Finney, M. A. 2004. FARSITE: Fire Area Simulator--model development and evaluation. Research Paper RMRS-RP-4 Revised. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 47 p.

Finney, M. A. 2006. An Overview of FlamMap Fire Modeling Capabilities. In: Andrews, P. L., Butler, B. W. Fuels Management--How to Measure Success: Conference Proceedings. 28-30 March. Portland, OR. Proceedings RMRS-P-41. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. Pp. 213-220.

Finney, M.A., Cohen, J.D., McAllister, S.S., Jolly, W.M. 2013. On the need for a theory of wildland fire spread. *International Journal of Wildland Fire*, 22: 25–36. <http://dx.doi.org/10.1071/WF11117>

Flores G., J. G. 2019. Sistema de simulación puntual del comportamiento del fuego. En Libro de Resúmenes del XIV Congreso Mexicano de Recursos Forestales. 6-9 noviembre, Durango, Durango. P. 246.

Flores G., J.G. 2023. Simulación de las variaciones de la velocidad de propagación del fuego, durante una quema prescrita. *eCUCBA*, 10(19): 45-55.

Flores G., J.G. y Gómez M., L.P. 2011. Estimación práctica de la variabilidad de la humedad de combustibles bajo diferentes ecosistemas forestales. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 2(5): 45-57.

Flores G., J.G. y Omi, P.N. 2003. Mapping forest fuels for spatial fire behavior simulations using geomatic strategies. *Agrociencia*, 37: 65-72.

Flores G., J.G., Moreno G., D.A., Morfín R., J.E. 2010a. Muestreo directo y fotoseries en la evaluación de combustibles forestales. Folleto Técnico Núm. 4. Centro Experimental Centro-Altos de Jalisco. CIRPAC. INIFAP. 69 pp.

Flores G., J.G., Xelhuantzi C., J., Chávez D., Á.A. 2010b. Monitoreo del comportamiento del fuego en una quema controlada en un rodal de pino-encino. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 16(1): 49-59.

Flores G., J.G.; Gómez M., L.P.; Meléndez G., M. 2007. El sistema de simulación FUEGO y su comparación con el monitoreo del comportamiento del fuego en quemas prescritas. 2nda Reunión Nacional de Innovación Agrícola y Forestal. 19-21 septiembre. Universidad Autónoma de Guadalajara. Zapopan, Jalisco.

Frandsen, W. H. 1971. Fire spread through porous fuels from the conservation of energy. *Combustion and Flame*, 16:9-16.

Fujioka, F.M., Gill, A.M., Viegas, D.X., Wotton, M. 2009. Fire danger and fire behavior modeling systems in Australia, Europe, and North America. *Developments in environmental science*, Volume 8. Editors: Bytnerowicz, A., Arbaugh M., Riebau, A., Andersen, C. Elsevier B.V. Pp. 471-497. DOI:10.1016/S1474-8177(08)00021-1

Johnson, E. A. y K. Miyanishi, eds. 2001. *Forest Fires: Behavior and ecological effects*. Academic Press. 594 pp.

Karouni, A., Daya, B., Bahlak, S., Chauvet, P. 2014. A simplified mathematical model for fire spread predictions in wildland fires combining between the models of Anderson and Rothermel. *International Journal of Modeling and Optimization*, 4(3): 197-200.

Labenski, P., Ewald, M., Schmidlein, S., Ewald F., F. 2022. Classifying surface fuel types based on forest stand photographs and satellite time series using deep learning. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 109: 1-17.

Martinez M., J., Vignote, S., Martos, J., Caballero, D. 1991. CARDIN: a computer system for the simulation of wildland fire spread. *Forest Systems*, (1): 121-133. <https://doi.org/10.5424/1299>

National Wildfire Coordinating Group. 2022. Glossary. <https://www.nwcg.gov/term/glossary/one-hour-timelag-fuels>. Fecha de consulta: 15 febrero, 2025.

Prichard, S.J., Sandberg, D.V., Ottmar, R.D., Eberhardt, E., Andreu, A., Eagle, P., Swedin, K. 2013. Fuel characteristic classification system Version 3.0: Technical Documentation. USDA Forest Service. General Technical Report PNW-GTR-887. 79 p.

Rothermel, R.C. 1972. A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels. USDA Forest Service Research Paper INT-115. 40 p.

Ruiz G., A.D. 2009. Introducción al comportamiento del fuego. *Recursos Rurais*, 5: 15-19.

Scholl, E.R., Waldrop, T.A. 1999. Photos for estimating fuel loadings before and after prescribed burning in upper coastal plain of the southeast. General Technical Report SRS-26. Southern Research Station. USDA Forest Service. 25 pp.

Scott, J.H. y Burgan, R.E. 2005. Standard fire behavior fuel models: a comprehensive set for use with Rothermel's surface fire spread model. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-153. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 72 p.

Stratton, R.D. 2006. Guidance on spatial wildland fire analysis: models, tools, and techniques. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-183. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 15 p.

Tricone F. y Anderson, T.R. 2018. Guía para modelos de combustible de comportamiento de fuego en ecosistemas tropicales. Sarteneja, Belize. 31 p.

Tymstra, C.; Bryce, R.W.; Wotton, B.M.; Taylor, S.W.; Armitage, O.B. 2010. Development and Structure of Prometheus: The Canadian Wildland Fire Growth Simulation Model. Nat. Resour. Can., Can. For. Serv., North. For. Cent., Edmonton, Alberta. Inf. Rep. NOR-X-417. 88 p.

Wu, Z., Wang, B., Li, M., Tian, Y., Quan, Y., Liu, J., 2022. Simulation of forest fire spread based on artificial intelligence. Ecological Indicators, 136: 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.108653>

## 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

Adubação orgânica 82, 83, 90

Agricultores 49, 57, 69, 70, 71, 72, 77, 84, 85, 92, 93, 94, 95, 96, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105

Agricultura familiar 69, 83

Águas subterrâneas 46, 47, 48, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 101, 108

Argélia 46, 47, 48, 49

Arsênico 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115

Atenuación 21, 29, 30

### B

Biskra 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59

### C

Cargas de combustibles 31, 33, 34, 36, 37, 38, 42

Coeficientes efectivos de difusión 107

Cyclical time 116, 117, 125, 130

### D

Diagnóstico experimental 46, 47

Digitalização agrícola 92, 104

Dry weight of roots 60, 64, 65, 66

Dry weight of shoot 60, 64, 65, 66

### E

Electro-neumática 7, 8, 12

Electrónica Industrial 7, 8, 20

Espécie espontânea 69, 72, 80, 83

Espécie espontânea da caatinga 83

Eternal present 116, 117, 118, 121, 125, 130, 131

Ética 1, 3, 4

### G

Geometría cilíndrica 21

Granger causality 138, 148, 150

## H

Hordeum vulgare L. 60, 61

Humedad relativa 31, 35, 36, 37, 39, 40, 41

## I

Ingeniería industrial 7, 8, 9, 10, 11, 14, 15, 17, 19, 20

Irrevocable sadness 116, 120, 121, 122, 124, 130

## J

Japanese basic vocabulary 138, 139, 140

## L

Linguistic rhythm 138, 157

## M

Modelo cilíndrico 107, 110, 111

Modelos de combustibles 31, 33, 34, 35, 36, 38, 41, 42

MOOCs 92, 93, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 104, 105, 106

## N

Nanomedicina 1, 2, 3, 4, 5, 6

## P

PLC 7, 8, 9, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20

Produção orgânica 69, 79, 90

Propagación en materia 21

## R

Radiación electromagnética 21

Regiões áridas 46, 47

## S

Sensores 2, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 92, 93, 94, 95, 97, 98, 101

Social synchronization 138, 157

Sociedad 1, 2, 4, 5, 6

Symbolic numerology 116

## T

The invisible 116, 117, 120, 121, 122, 130, 131

Transferencia de masa 107

Triticosecale Wittmack 60, 61

Triticum aestivum L. 60, 61

Twitter/X 138

## V

Verbally unexpressed absence 116, 120, 131

## Z

Zanahoria 107, 109, 110, 111, 113, 114, 115