

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.

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

Conselho Editorial

Prof.^a Dr.^a Ada Esther Portero Ricol, *Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría”*, Cuba
Prof. Dr. Adalberto de Paula Paranhos, Universidade Federal de Uberlândia, Brasil
Prof. Dr. Agustín Olmos Cruz, *Universidad Autónoma del Estado de México*, México
Prof.^a Dr.^a Amanda Ramalho de Freitas Brito, Universidade Federal da Paraíba, Brasil
Prof.^a Dr.^a Ana Clara Monteverde, *Universidad de Buenos Aires*, Argentina
Prof.^a Dr.^a Ana Júlia Viamonte, Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), Portugal
Prof. Dr. Ángel Mujica Sánchez, *Universidad Nacional del Altiplano*, Peru
Prof.^a Dr.^a Angela Ester Mallmann Centenaro, Universidade do Estado de Mato Grosso, Brasil
Prof.^a Dr.^a Begoña Blandón González, *Universidad de Sevilla*, Espanha
Prof.^a Dr.^a Carmen Pimentel, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil
Prof.^a Dr.^a Catarina Castro, Universidade Nova de Lisboa, Portugal
Prof.^a Dr.^a Cirila Cervera Delgado, *Universidad de Guanajuato*, México
Prof.^a Dr.^a Cláudia Neves, Universidade Aberta de Portugal
Prof.^a Dr.^a Cláudia Padovesi Fonseca, Universidade de Brasília-DF, Brasil
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos, Universidade Federal da Grande Dourados, Brasil
Dr. Cristo Ernesto Yáñez León – New Jersey Institute of Technology, Newark, NJ, Estados Unidos
Prof. Dr. David García-Martul, *Universidad Rey Juan Carlos de Madrid*, Espanha
Prof.^a Dr.^a Deuzimar Costa Serra, Universidade Estadual do Maranhão, Brasil
Prof.^a Dr.^a Dina Maria Martins Ferreira, Universidade Estadual do Ceará, Brasil
Prof.^a Dr.^a Edith Luévano-Hipólito, *Universidad Autónoma de Nuevo León*, México
Prof.^a Dr.^a Eduarda Maria Rocha Teles de Castro Coelho, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Portugal
Prof. Dr. Eduardo Eugênio Spers, Universidade de São Paulo (USP), Brasil
Prof. Dr. Eloi Martins Senhoras, Universidade Federal de Roraima, Brasil
Prof.^a Dr.^a Elvira Laura Hernández Carballido, *Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*, México

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

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

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

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

Prof. Dr. 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 Alborno, *University of Miami and Miami Dade College*, Estados Unidos

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

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

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

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

Prof. Dr. José Cortez 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 Augusto de Lima Nobre, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Brasil

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

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

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

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

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

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

Prof.^a Dr.^a Maria da Luz Vale Dias – Universidade de Coimbra, Portugal
 Prof.^a Dr.^a Maria do Céu Caetano, Universidade Nova de Lisboa, Portugal
 Prof.^a Dr.^a Maria do Socorro Saraiva Pinheiro, Universidade Federal do Maranhão, Brasil
 Prof.^a Dr.^a M^a Graça Pereira, Universidade do Minho, Portugal
 Prof.^a Dr.^a Maria Gracinda Carvalho Teixeira, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil
 Prof.^a Dr.^a María Guadalupe Vega-López, *Universidad de Guadalajara, México*
 Prof.^a Dr.^a Maria Lúcia Pato, Instituto Politécnico de Viseu, Portugal
 Prof.^a Dr.^a Maritza González Moreno, *Universidad Tecnológica de La Habana, Cuba*
 Prof.^a Dr.^a Mauriceia Silva de Paula Vieira, Universidade Federal de Lavras, Brasil
 Prof. Dr. Melchor Gómez Pérez, Universidad del País 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. Sérgio 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, Espanha

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

CAPÍTULO 12138

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

SOBRE O ORGANIZADOR..... 161

ÍNDICE REMISSIVO162

CAPÍTULO 3

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

Data de submissão: 28/04/2025

Data de aceite: 19/05/2025

Esteban Andrés Zárate

Universidad Juárez
Autónoma de Tabasco
División Académica de
Ciencias Básicas
Cunduacán Tabasco, México
<https://orcid.org/0000-0003-3515-5793>

Mateo Márquez Arias

Universidad Juárez
Autónoma de Tabasco
División Académica de
Ciencias Básicas
Cunduacán Tabasco, México

Israel Benjamín Sánchez Jiménez

Universidad Juárez
Autónoma de Tabasco
División Académica de
Ciencias Básicas
Cunduacán Tabasco, México

Quintiliano Angulo Córdoba

Universidad Juárez
Autónoma de Tabasco
División Académica de
Ciencias Básicas
Cunduacán Tabasco, México
<https://orcid.org/0000-0002-9594-6311>

RESUMEN: El objetivo del presente trabajo es exponer una resolución a la ecuación de onda electromagnética en coordenadas cilíndricas, donde la amplitud de la radiación es dependiente de la distancia radial y el tiempo. Se construye la expresión para la ecuación de onda a partir de las leyes de Maxwell, considerando su propagación en un material homogéneo, lineal e isotrópico. La solución analítica es hallada mediante el método de separación de variables, obteniéndose la forma explícita del campo eléctrico de la radiación. Los resultados se presentan también mediante simulaciones gráficas. El estudio de esta solución se enfoca en los efectos que las propiedades del medio producen en la propagación de radiación, encontrándose que la amplitud del campo obedece a una función de Bessel.

PALABRAS CLAVE: radiación electromagnética; geometría cilíndrica; propagación en materia; atenuación.

WAVE EQUATION RESOLUTION RADIALLY PROPAGATED FOR THE ELECTRIC FIELD IN CYLINDRICAL COORDINATES

ABSTRACT: The objective of this work is to present a solution to the electromagnetic wave equation in cylindrical coordinates, where the radiation amplitude depends on the radial distance and time. The wave equation is constructed from Maxwell's equations, considering propagation in a homogeneous,

linear, and isotropic media. The analytical solution is obtained through the separation of variables method, yielding the explicit form of the electric field of the radiation. The results are also presented through graphical simulations. This study focuses on the effects that the properties of the media have on radiation propagation, finding that the field amplitude obeys a Bessel function.

KEYWORDS: electromagnetic radiation; cylindrical geometry; propagation in matter; attenuation effect.

1 INTRODUCCIÓN

En el estudio de la propagación de ondas electromagnéticas es común su resolución analítica considerando fuentes que emiten frentes de onda planos o esféricos. Para la propagación en el vacío, en el caso de ondas planas, si bien los campos oscilan, la irradiancia de los frentes de onda es constante; para el caso esférico, la amplitud de los campos disminuye conforme la onda se propaga a una razón $1/r$; nuestro interés aquí fue hallar la forma analítica en que la radiación se propaga cuando emerge de una fuente cilíndrica. En particular, determinar el comportamiento de las amplitudes e irradiancias de la radiación que, en esta situación exhibirá frentes de onda de distribución tipo Bessel, que bajo condiciones de homogeneidad, linealidad e isotropía en el medio de propagación serán cilíndricos. Además de la obtención de la solución analítica, se determinó también qué influencia tienen las propiedades como la permitividad ϵ y la permeabilidad μ del medio de propagación, esto formulando una ecuación de onda a partir de las leyes de Maxwell para un medio homogéneo, lineal e isótropo en el que su conductividad no fuese obviada, surgiendo así una ecuación diferencial hiperbólica, que fue resuelta mediante separación de variables. En el análisis de la solución pudo observarse que ϵ y μ producen una disminución de la longitud de onda y la conductividad σ produce una resistencia a la propagación de la onda en el medio.

En esta línea de investigación, Nolasco *et al* (2016) obtuvieron una solución a la ecuación de Helmholtz con un tratamiento numérico proporcionando información sobre haces de Bessel adifraccionales. Zárate *et al* (2019) reportaron un análisis teórico de propagación mediante el método del espectro angular y la producción en forma experimental de patrones de difracción de distribución de irradiancia tipo Bessel de orden cero y de primer orden. Por su parte Mousa (2012) analizó de manera teórica una onda atenuada en una guía de onda de material de tipo LHM confinada en un superconductor, mostrando el comportamiento besseliano de las amplitudes de los campos eléctrico y magnético, algo similar a lo que se mostrará en lo sucesivo. Los autores antes referidos no realizaron un trabajo como el que reportamos nosotros en

este artículo, ya que ellos han considerado propagación sólo en medios no conductores, aquí se ha desarrollado y solucionado la ecuación diferencial vectorial de onda para los campos en medios conductores, y hemos comparado estos resultados con los de una propagación en dieléctricos.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

El sistema físico estudiado se esquematiza en la Figura 1, la fuente luminosa es situada en el origen de coordenadas y posee simetría cilíndrica. La fuente emite ondas electromagnéticas coherentes y monocromáticas. Para el medio de propagación, se hacen las suposiciones iniciales de que posee conductividad σ , densidad de carga libre ρ_ℓ , densidad de carga de polarización ρ_p , una densidad de corriente $\vec{J}_\ell$, puede polarizarse y modelarse con un campo de polarización $\vec{P}$ y una magnetización $\vec{M}$. Así, a partir de las ecuaciones de Maxwell para la materia:

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{D} = \rho_\ell \quad (1)$$

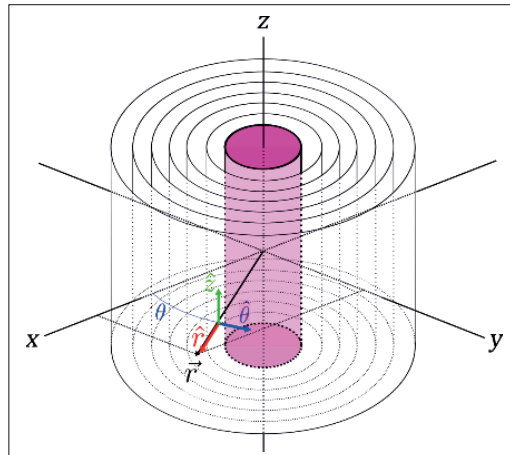
$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0 \quad (2)$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{J}_\ell + \partial_t \vec{D} \quad (3)$$

Aplicando el rotacional en ambos lados de la ley de Faraday (Wangsness, 2001), se obtiene que,

$$\nabla^2 \vec{E} = \frac{1}{\epsilon_o} \vec{\nabla}(\rho_\ell + \rho_p) + \mu_o \partial_t \vec{J}_\ell + \mu_o \epsilon_o \partial_t^2 \vec{E} + \mu_o \partial_t^2 \vec{P} + \mu_o \partial_t (\vec{\nabla} \times \vec{M}) \quad (5)$$

Figura 1. Fuente de luz cilíndrica monocromática emitiendo radiación tal que sus frentes de onda describen cilindros que se expanden en el espacio.



En el electromagnetismo clásico, la ecuación (5) es la expresión más general posible de $\nabla^2 \vec{E}$ para una onda que se propaga en un medio que posee magnetización, polarización y propiedades de densidad de carga tanto continua como discontinua. Debe notarse aquí el efecto a veces poco considerado que una distribución no uniforme de carga produce en el campo. Si el medio considerado contiene carga no uniformemente distribuida, esta distribución no equitativa producirá zonas de campo menos intenso y zonas de mayor intensidad, que darán lugar a un gradiente y laplaciano no nulos del campo eléctrico, cuya formulación matemática está dada en el primer término del lado derecho de la ecuación (5). Si el medio de propagación se considera ahora isotrópico, lineal y homogéneo, poseerá susceptibilidades χ_ϵ y χ_m ocurriendo que $\vec{P} = \chi_\epsilon \epsilon_o \vec{E}$, $\vec{M} = \chi_m \vec{H}$ y $\vec{J}_\ell = \sigma \vec{E}$, con ello se tiene que:

$$\nabla^2 \vec{E} = \frac{1 - \chi_\epsilon}{\epsilon_o} \vec{\nabla} \rho_\ell + (1 + \chi_m) \mu_o \sigma \partial_t \vec{E} + (1 + \chi_m)(1 + \chi_\epsilon) \mu_o \epsilon_o \partial_t^2 \vec{E}. \quad (6)$$

Definiendo $\epsilon = (1 + \chi_\epsilon) \epsilon_o$ como la permitividad eléctrica del medio y $\mu = (1 + \chi_m) \mu_o$ como la permeabilidad magnética del medio, si el medio no contiene cargas libres se obtiene finalmente

$$\nabla^2 \vec{E} = \mu \sigma \partial_t \vec{E} + \mu \epsilon \partial_t^2 \vec{E}. \quad (7)$$

Esta es una ecuación diferencial lineal hiperbólica, que se reconoce como una ecuación diferencial de onda vectorial para $\vec{E}$. En esta ecuación resalta la presencia del término $\mu \sigma \partial_t \vec{E}$, que, en analogía con la mecánica de un oscilador amortiguado, se corresponde con un amortiguamiento del campo, por lo que en la solución a esta ecuación cabría esperar un amortiguamiento similar al del oscilador. Para solucionar la ecuación (7) debe recordarse el operador nabla $\vec{\nabla}$ en coordenadas cilíndricas.

$$\vec{\nabla} = \hat{r} \partial_r + \frac{1}{r} \hat{\phi} \partial_\phi + \hat{z} \partial_z. \quad (8)$$

Si el campo eléctrico es dependiente sólo del tiempo y la coordenada r , éste tiene la forma:

$$\vec{E}(r, t) = E_r(r, t) \hat{r} + E_\phi(r, t) \hat{\phi} + E_z(r, t) \hat{z}. \quad (9)$$

Dada la forma de la ecuación para R_z , ésta se puede llevar a la forma canónica de una ecuación diferencial besseliana (Nolasco, 2017). Al hacer $\rho = kr$

$$\frac{1}{r} \partial_r (r \partial_r \vec{E}) = \mu \sigma \partial_t \vec{E} + \mu \epsilon \partial_t^2 \vec{E}, \quad (10)$$

Lo que lleva a las ecuaciones escalares siguientes para las componentes del campo

$$\frac{1}{r} \partial_r (r \partial_r E_r) = \mu \sigma \partial_t E_r + \mu \epsilon \partial_t^2 E_r \quad (11)$$

$$\frac{1}{r} \partial_r (r \partial_r E_\phi) = \mu \sigma \partial_t E_\phi + \mu \epsilon \partial_t^2 E_\phi \quad (12)$$

$$\frac{1}{r} \partial_r (r \partial_r E_z) = \mu \sigma \partial_t E_z + \mu \epsilon \partial_t^2 E_z. \quad (13)$$

De la ley de Gauss se tiene:

$$\frac{1}{r} \partial_r (r \partial_r E_r) = 0 \quad (14)$$

$$E_r(r, t) = E_r(t). \quad (15)$$

La solución de ecuación (11) bajo las condiciones (14) y (15), lleva a que

$$E_r(t) = \Gamma e^{-(\sigma/\epsilon)t}. \quad (16)$$

Asumimos aquí que $\Gamma = 0$, esto es, que la radiación no posee oscilaciones longitudinales, lo cual es válido en medios infinitos cargados y no cargados (Wangsness, 2001), por lo cual

$$E_r(t) = 0 \quad (17)$$

Ahora, considerando que $E_\phi(r, t) = R_\phi(r) T_\phi(t)$ y que $E_z(r, t) = R_z(r) T_z(t)$, para la resolución de las ecuaciones (12) y (13), surgen las ecuaciones siguientes para R_z y T_z :

$$r R_z'' + R_z' + k^2 r R_z = 0 \quad (18)$$

$$\mu \epsilon T_z'' + \mu \sigma T_z' + k^2 T_z = 0. \quad (19)$$

Resolviendo para $T_z(t)$, obtenemos:

$$T_z(t) = e^{-\frac{\sigma}{2\epsilon}t} \left[C_1 \cos \left(\sqrt{\frac{k^2}{\mu\epsilon} - \frac{\sigma^2}{4\epsilon^2}} t \right) + C_2 \sin \left(\sqrt{\frac{k^2}{\mu\epsilon} - \frac{\sigma^2}{4\epsilon^2}} t \right) \right]. \quad (20)$$

Dada la forma de la ecuación para R_z , ésta se puede llevar a la forma canónica de una ecuación diferencial besseliana (Nolasco, 2017). Al hacer $\rho = kr$

$$\frac{1}{k^2} \rho^2 R'' + \frac{1}{k} \rho R' + \rho^2 R = 0. \quad (21)$$

Por lo cual se puede escribir

$$\rho^2 R_{\rho\rho} + \rho R_\rho + \rho^2 R = 0. \quad (22)$$

La solución general de esta ecuación es

$$R_z(r) = C_3 J_0(kr) + C_4 Y_0(kr). \quad (23)$$

Como la función de Neumann Y_0 es singular en el origen, dicha parte de la solución tiene que ser rechazada en todo problema físico donde el origen es parte del dominio de definición sobre el cual se desea resolver la ecuación de Bessel (Deléphine, 2004). Por lo cual $E_z(r,t) = R_z(r) T_z(t)$ de acuerdo con las soluciones (20), (22) y lo arriba especificado obtiene la forma

$$E_z(r, t) = e^{-\frac{\sigma}{2\epsilon}t} J_0(kr) \left[K_1 \cos\left(\sqrt{\frac{k^2}{\mu\epsilon} - \frac{\sigma^2}{4\epsilon^2}} t\right) + K_2 \sin\left(\sqrt{\frac{k^2}{\mu\epsilon} - \frac{\sigma^2}{4\epsilon^2}} t\right) \right]. \quad (24)$$

Un procedimiento similar conduce a que

$$T_\phi(t) = e^{-\frac{\sigma}{2\epsilon}t} \left[C_5 \cos\left(\sqrt{\frac{k^2}{\mu\epsilon} - \frac{\sigma^2}{4\epsilon^2}} t\right) + C_6 \sin\left(\sqrt{\frac{k^2}{\mu\epsilon} - \frac{\sigma^2}{4\epsilon^2}} t\right) \right] \quad (25)$$

$$R_\phi(r) = C_7 J_0(kr) + C_8 Y_0(kr) \quad (26)$$

$$E_\phi(r, t) = e^{-\frac{\sigma}{2\epsilon}t} J_0(kr) \left[K_3 \cos\left(\sqrt{\frac{k^2}{\mu\epsilon} - \frac{\sigma^2}{4\epsilon^2}} t\right) + K_4 \sin\left(\sqrt{\frac{k^2}{\mu\epsilon} - \frac{\sigma^2}{4\epsilon^2}} t\right) \right]. \quad (27)$$

Ahora, al definir $\omega = \sqrt{\frac{k^2}{\mu\epsilon} - \frac{\sigma^2}{4\epsilon^2}}$ las expresiones de E_z y E_ϕ se reescriben como

$$E_z(r, t) = e^{-\frac{\sigma}{2\epsilon}t} J_0\left(\sqrt{\omega^2 \mu\epsilon + \frac{\sigma^2}{4\epsilon}} r\right) (K_1 \cos\omega t + K_2 \sin\omega t), \quad (28)$$

$$E_\phi(r, t) = e^{-\frac{\sigma}{2\epsilon}t} J_0\left(\sqrt{\omega^2 \mu\epsilon + \frac{\sigma^2}{4\epsilon}} r\right) (K_3 \cos\omega t + K_4 \sin\omega t). \quad (29)$$

Luego, la solución general de la ecuación de onda para el campo eléctrico, en forma vectorial es

$$\vec{E}(r, t) = e^{-\frac{\sigma}{2\epsilon}t} J_0\left(\sqrt{\omega^2 \mu\epsilon + \frac{\sigma^2}{4\epsilon}} r\right) [(K_1 \hat{z} + K_3 \hat{\phi}) \cos\omega t + (K_2 \hat{z} + K_4 \hat{\phi}) \sin\omega t] \quad (30)$$

3 ANÁLISIS

Una vez obtenida la forma general del campo eléctrico, el que la fuente se localice en el origen del sistema de coordenadas implica que la amplitud del campo es máxima en el origen al ser emitida por la fuente y posiblemente disminuya al extenderse en el espacio. Esta solución particular matemáticamente implica un problema de valor inicial: si se imponen condiciones tales que las componentes escalares de $\vec{E}(r, t)$ tengan amplitud máxima en $r = 0, t = 0$, esto es

$$E_z(0,0) = E_{oz}, \frac{\partial E_z}{\partial t}(0,0) = 0, E_\phi(0,0) = E_{o\phi}, \frac{\partial E_\phi}{\partial t}(0,0) = 0. \quad (31)$$

Con lo cual $K_1 = E_{oz}, K_3 = E_{o\phi}, K_2 = K_4 = 0$.

Bajo estas condiciones, y definiendo $\vec{E}_{o\phi z} = E_{o\phi}\hat{\phi} + E_{oz}\hat{z}$, la forma explícita del campo en la ecuación (30) se reduce a las expresiones siguientes:

$$\vec{E}(r, t) = (E_{o\phi}\hat{\phi} + E_{oz}\hat{z})e^{-\frac{\sigma}{2\epsilon}t}J_0\left(\sqrt{\omega^2\mu\epsilon + \frac{\sigma^2}{4\epsilon}}r\right)\cos(\omega t). \quad (32)$$

$$\vec{E}(r, t) = \vec{E}_{o\phi z}e^{-\frac{\sigma}{2\epsilon}t}J_0\left(\sqrt{\omega^2\mu\epsilon + \frac{\sigma^2}{4\epsilon}}r\right)\cos(\omega t) \quad (33)$$

Esta es la descripción buscada de la radiación en su forma analítica. Una vez resuelta la matemática del problema, resta determinar qué tipo de comportamiento físico sigue el campo eléctrico. Para el estudio físico de la solución, a partir de la expresión general para $\vec{E}(r, t)$ si el material fuera dieléctrico $\vec{E}_D(r, t)$ ($\sigma = 0$) se obtiene:

$$\vec{E}_D(r, t) = \vec{E}_{o\phi z}J_0\left(\frac{\omega n}{c}r\right)\cos(\omega t). \quad (34)$$

Y para el campo $\vec{E}_V(r, t)$ en el vacío ($n=1$):

$$\vec{E}_V(r, t) = \vec{E}_{o\phi z}J_0\left(\frac{\omega}{c}r\right)\cos(\omega t), \quad (35)$$

donde se considera que el índice de refracción del medio n y la velocidad de la luz C satisfacen $n = \sqrt{\mu\epsilon}C$. A partir de (33) se obtienen la densidad volumétrica de energía $u(r, t)$ de la radiación y su irradiancia $I(r, t)$.

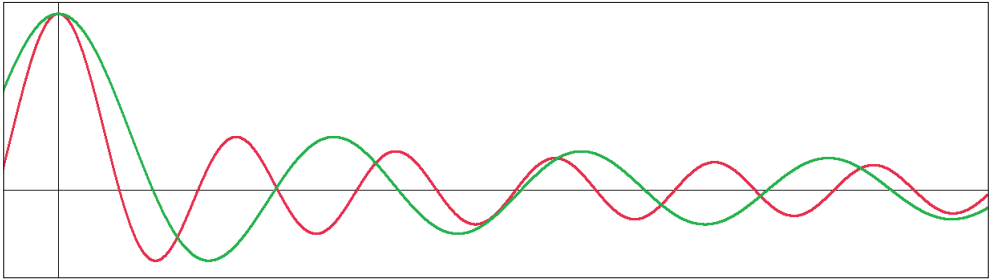
$$u(r, t) = \epsilon E^2 = \epsilon E_{o\phi z}^2 e^{-\frac{\sigma}{\epsilon}t} J_0^2\left(\sqrt{\omega^2\mu\epsilon + \frac{\sigma^2}{4\epsilon}}r\right)\cos^2(\omega t) \quad (36)$$

$$I(r, t) = \frac{c\epsilon}{2} E^2 = \frac{c\epsilon}{2} E_{o\phi z}^2 e^{-\frac{\sigma}{\epsilon}t} J_0^2\left(\sqrt{\omega^2\mu\epsilon + \frac{\sigma^2}{4\epsilon}}r\right)\cos^2(\omega t). \quad (37)$$

4 RESUMEN DE RESULTADOS

Por la forma de la solución particular es visible que la conductividad produce un decaimiento en la amplitud, tanto espacial en el argumento de J_o como temporal en la función exponencial, lo cual concuerda con la hipótesis inicial de que era de esperarse un amortiguamiento similar al de un oscilador armónico amortiguado, y este amortiguamiento temporal desaparece en medios dieléctricos, pero el decaimiento espacial aún persiste. Dicho decaimiento espacial está dado por $J_o(r)$ (tanto en el vacío como en la materia). La conductividad produce además una alteración en la distancia entre frentes de onda del campo (ver Figura 2).

Figura 2. $J_o(r)$ (verde) vs $J_o(nr)$ (rojo). Aquí, $n=1.55$. Para $n>1$, la distancia entre máximos de $J_o(nr)$ disminuye. En la mayoría de los materiales $n>1$, por lo que la propagación en éstos empaqueta más los frentes de onda de la radiación. En cambio, en un material con $n<1$ los máximos de amplitud se alejarían.



Simulaciones gráficas de las ecuaciones (37), (38) y (39) se muestran en la figuras 3 y 4. Los gráficos a), b) y c) muestran la distribución espacial de la magnitud de la amplitud y la irradiancia de una radiación particular a tiempo cero, los gráficos i), ii) y iii) muestran la magnitud de la amplitud y la irradiancia en el espacio (distancia radial) vs el tiempo. Es visible que la radiación es rápidamente absorbida.

Figura 3. Simulaciones de la solución particular a tiempo cero. a) Comportamiento teórico de la amplitud para una fuente de radiación de 632 nm inmersa en agua de mar ($\mu = \mu_o, \epsilon = 80\epsilon_o, \sigma = 5 \text{ Sv}$), La distribución de la irradiancia de esta fuente, con pico en 10 mW/cm^2 es mostrada en b). En c) se muestra la amplitud de la misma fuente en el vacío, allí el decaimiento de la amplitud es mucho más lento.

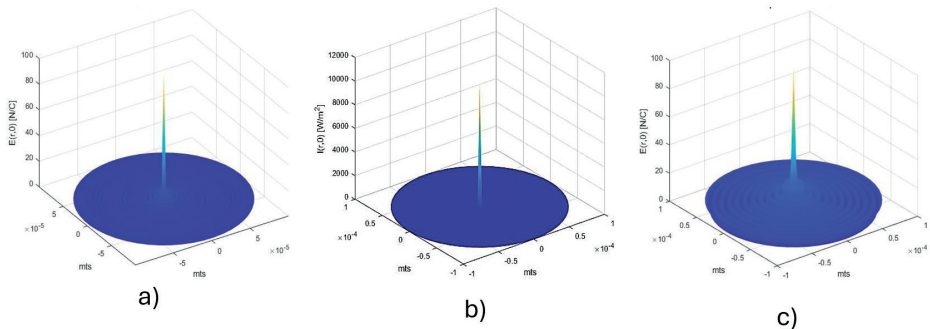
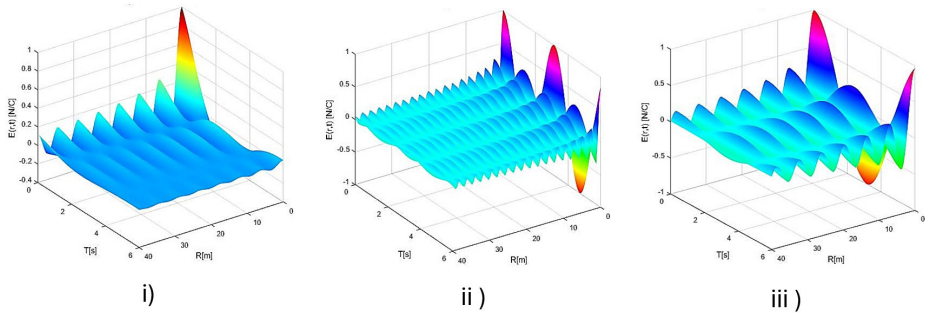


Figura 4. Simulaciones esquemáticas de la solución particular obtenida en R vs T vs E. i) Comportamiento del decaimiento de la amplitud en el tiempo ($\mu = \epsilon = \sigma = E_{\text{ofz}} = 1$). ii) Comportamiento esquemático de la amplitud en el tiempo dentro de un dieléctrico ($\mu = \epsilon = 2, \sigma = 0, E_{\text{ofz}} = 1$). iii) Comportamiento esquemático de la amplitud en el tiempo en el vacío ($\mu = \epsilon = 1, \sigma = 0, E_{\text{ofz}} = 1$). Son visibles el cambio en el empaquetamiento de las ondas y el mayor decaimiento temporal en los conductores.



El decaimiento espacial que persiste aún en el vacío puede explicarse debido a que los frentes de onda, al propagarse en el espacio, poseen una energía que se distribuye sobre la superficie de los frentes, lo cual es consistente con lo obtenido por Mousa (2012). La energía U de las ondas es proporcional a la irradiancia I y al área $2\pi rl$ de los frentes, y la intensidad de cada frente es proporcional al cuadrado de la amplitud A del campo eléctrico; la energía de cada frente es la misma, así que

$$U \propto 2\pi rlI \rightarrow U \propto rA^2 \quad (38)$$

$$\rightarrow A^2 \propto \frac{1}{r} \rightarrow A \propto \frac{1}{\sqrt{r}} \quad (39)$$

Lo que concuerda con Hecht (2000) en la aproximación de $J_o(r)$ para distancias lejanas

$$J_o(r) \simeq \sqrt{\frac{2}{\pi r}} \cos\left(r - \frac{\pi}{4}\right). \quad (40)$$

Los medios dieléctricos, al poseer un índice de refracción $n > 1$ disminuyen la longitud de onda de la radiación emitida, lo que lleva a una atenuación espacial más rápida de la amplitud. Los medios con conductividad $\sigma \neq 0$ dispersan la energía de la radiación debido a la oscilación que ésta induce en los electrones débilmente ligados de estos materiales, que actúan como dipolos (Landau & Lifshitz, 1992), introduciendo con ello el decaimiento exponencial de la amplitud del campo.

5 CONCLUSIONES

Se determinó una expresión general de la ecuación de onda para el campo eléctrico de la radiación en medios materiales, que describe un campo que obedece

al comportamiento de un oscilador amortiguado. Lo más destacable es la rapidez con que la radiación puede ser absorbida, siendo un proceso de duración ínfima en medios conductores y un poco más largo para medios de menor conductividad, con límite en el vacío. Los dieléctricos, aún con conductividad nula, producen un decaimiento del campo de manera espacial, siendo más resistentes a la propagación de las ondas, empaquetándolas aún más debido a la geometría de las superficies de distribución de la densidad de energía. Si se tratara de un dieléctrico con $n < 1$ la atenuación sería más lenta. El campo obtenido muestra un comportamiento ondulatorio espacial distinto a lo que resulta en los casos de propagación plana y esférica, aquí las ondulaciones no siguen un comportamiento sinusoidal, sino *besseliano*.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Deléphine, D. (2004). *Métodos matemáticos III*. Instituto de física de la universidad de Guanajuato.
- Hecht, E. (2000). *Notas de óptica*. España: Addison-Wesley.
- Landau, L., & Lifshitz, E. (1992). *Teoría clásica de los campos*. España: Reverté.
- Mousa, H. M. (2012). Attenuation in a Cylindrical Left Handed Material (LHM) Wave-Guide Structure. *Optics and Photonics Journal*, 2(1), 46-53.
- Nolasco, J. A. (2017). *Familias de campos ondulatorios fundamentales de la ecuación de Helmholtz en sistemas de coordenadas curvilíneas ortogonales*. Instituto nacional de astrofísica, óptica y optoelectrónica.
- Nolasco, J. A., Moheno, G. A., & Cerda, S. C. (2016). Ondas viajeras en coordenadas cilíndricas circulares. *Journal of Basic Sciences*, 2(5), 34-40.
- Wangsness, R. K. (2001). *Campos electromagnéticos*. México: Limusa.
- Zárate, E. A., Córdova, Q. A., Tepach, G. G., & Nolasco, J. A. (2019). Modelo matemático de difracción en región convergente y divergente de una lente esférica. *Revista Mexicana de Física*, 65(3), 299-306.

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

ÍNDICE REMISSIVO

A

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