

VOL III

THE GREAT WORLD OF NANOTECHNOLOGY

Emilio Castro Otero
(Organizador)

 EDITORA
ARTEMIS
2025

VOL III

THE GREAT WORLD OF NANOTECHNOLOGY

Emilio Castro Otero
(Organizador)

 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. Emilio Castro Otero
Imagem da Capa	yourapechkin/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 Albornoz, *University of Miami and Miami Dade College*, Estados Unidos
 Prof. Dr. Jesús Montero Martínez, *Universidad de Castilla - La Mancha*, Espanha
 Prof. Dr. João Manuel Pereira Ramalho Serrano, Universidade de Évora, Portugal
 Prof. Dr. Joaquim Júlio Almeida Júnior, Unifimes - Centro Universitário de Mineiros, Brasil
 Prof. Dr. Jorge Ernesto Bartolucci, *Universidad Nacional Autónoma de México*, México
 Prof. Dr. José Cortez Godínez, Universidad Autónoma de Baja California, México
 Prof. Dr. Juan Carlos Cancino Díaz, Instituto Politécnico Nacional, México
 Prof. Dr. Juan Carlos Mosquera Feijoo, *Universidad Politécnica de Madrid*, Espanha
 Prof. Dr. Juan Diego Parra Valencia, *Instituto Tecnológico Metropolitano de Medellín*, Colômbia
 Prof. Dr. Juan Manuel Sánchez-Yáñez, *Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*, México
 Prof. Dr. Juan Porras Pulido, *Universidad Nacional Autónoma de México*, México
 Prof. Dr. Júlio César Ribeiro, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil
 Prof. Dr. Leinig Antonio Perazolli, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Brasil
 Prof.ª Dr.ª Livia do Carmo, Universidade Federal de Goiás, Brasil
 Prof.ª Dr.ª Luciane Spanhol Bordignon, Universidade de Passo Fundo, Brasil
 Prof. Dr. Luis Fernando González Beltrán, *Universidad Nacional Autónoma de México*, México
 Prof. Dr. Luis Vicente Amador Muñoz, *Universidad Pablo de Olavide*, Espanha
 Prof.ª Dr.ª Macarena Esteban Ibáñez, *Universidad Pablo de Olavide*, Espanha
 Prof. Dr. Manuel Ramiro Rodríguez, *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^ªGraça Pereira, Universidade do Minho, Portugal
 Prof.^ª Dr.^ª Maria Gracinda Carvalho Teixeira, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil
 Prof.^ª Dr.^ª María Guadalupe Vega-López, *Universidad de Guadalajara, México*
 Prof.^ª Dr.^ª Maria Lúcia Pato, Instituto Politécnico de Viseu, Portugal
 Prof.^ª Dr.^ª Maritza González Moreno, *Universidad Tecnológica de La Habana, Cuba*
 Prof.^ª Dr.^ª Maurícea 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)

O86g The Great World of Nanotechnology III / organização de Emilio Castro Otero. – 1. ed. – Curitiba, PR : Editora Artemis, 2025.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Edição bilingue.

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-81701-79-6

DOI 10.37572/EdArt_121225796

1. Nanotecnologia biomédica. 2. Engenharia de tecidos. 3. Nanomateriais – Aplicações. 4. Biosistemas – Inovação tecnológica. 5. Sensores avançados – Desenvolvimento. I. Otero, Emilio Castro.

CDD 620.5

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422



FOREWORD

We are thrilled to present the third installment of ***The Great World of Nanotechnology***, a volume dedicated to exploring the cutting edge of nanotechnology applications, from the fundamental science of materials to their tangible impact on health, industry, and the environment. This book is meticulously structured into four thematic blocks, designed to guide the reader through the latest innovations that seek to solve crucial challenges in modern society.

The first pillar of this volume, ***Fundamentals of Nanomaterial Manufacturing and Characterization***, delves into the critical methodologies for creating high-quality nanostructures. Chapter 1 offers systematic research on the Effects of the Transfer Process on the Structure of Graphene Synthesized by Chemical Vapor Deposition. Complementing this, Chapter 2 examines Polymer Nanofibers via Airbrushing.

In ***Nanomaterials for Surface Engineering and Smart Sensors***, the chapters explore how these nanostructures can be applied in functional devices and material protection. Chapter 3 presents advances in the development of sensors based on graphene functionalized with nanoparticles. Similarly, Chapter 4 addresses the electrodeposition of nanostructured metal coatings.

Nanotechnology in Biomedical and Pharmaceutical Applications brings three chapters focusing on the use of nanotechnology to improve human health. Chapter 5 evaluates the Cytotoxic Effect of Nanoemulsion with Pumpkin Seed Oil on Breast Cancer Cell Lines. In the field of tissue engineering, Chapter 6 describes the development of Alginate/Collagen Structures Enhanced with Conductive Nanoparticles (PEDOT) for the Regeneration of Small-Diameter Blood Vessels. Finally, Chapter 7 discusses the development of an antiseptic gel based on bioactive compounds encapsulated in nanoparticles.

Concluding our exploration, ***Nanotechnological Solutions for Environmental Remediation*** addresses the water pollution crisis. The final chapter describes the Removal of Arsenic from Groundwater Using Recycled Iron Nanoparticles through the development of a low-cost filter that uses iron nanoparticles.

We invite you to immerse yourself in reading *The Great World of Nanotechnology*. Vol. III, where science on the smallest scale translates into large-scale solutions. We sincerely hope that this compilation of advanced research will not only be of utmost interest to you, but also inspire new directions of study and application in this infinitely promising field.

Emilio Castro Otero

PRÓLOGO

É com grande entusiasmo que apresentamos a terceira edição de ***The Great World of Nanotechnology***, um volume dedicado a explorar a vanguarda das aplicações nanotecnológicas, desde a ciência fundamental dos materiais até o seu impacto tangível na saúde, na indústria e no ambiente. Este livro está meticulosamente estruturado em quatro eixos temáticos, concebidos para guiar o leitor através das mais recentes inovações que procuram resolver desafios cruciais na sociedade moderna.

O primeiro eixo deste volume, ***Fundamentos da Fabricação e Caracterização de Nanomateriais***, aprofunda as metodologias críticas para a criação de nanoestruturas de alta qualidade. O Capítulo 1 oferece uma investigação sistemática sobre os Efeitos do Processo de Transferência na Estrutura do Grafeno Sintetizado por Deposição Química de Vapor e o segundo capítulo examina as Nanofibras Poliméricas via Aerografia.

Em seguida, o eixo ***Nanomateriais para Engenharia de Superfícies e Sensores Inteligentes***, explora como essas nanoestruturas podem ser aplicadas em dispositivos funcionais e proteção de materiais. O Capítulo 3 apresenta os avanços no desenvolvimento de Sensores Baseados em Grafeno Funcionalizado com Nanopartículas. Paralelamente, e o Capítulo 4 aborda a Eletrodeposição de Revestimentos Metálicos Nanoestruturados.

O eixo ***Nanotecnologia em Aplicações Biomédicas e Farmacêuticas***, centra-se na utilização da nanotecnologia para melhorar a saúde humana. O Capítulo 5 avalia o Efeito Citotóxico da Nanoemulsão com Óleo de Semente de Abóbora em Linhagens de Células de Cancro da Mama. No campo da engenharia de tecidos, o Capítulo 6 descreve o desenvolvimento de Estruturas de Alginato/Colagénio Melhoradas com Nanopartículas Condutoras (PEDOT) para a regeneração de Vasos Sanguíneos de Pequeno Diâmetro. Finalmente, o Capítulo 7 expõe a Elaboração de um Gel Antisséptico Baseado em Compostos Bioativos Encapsulados em Nanopartículas.

Concluindo a nossa exploração, o eixo ***Soluções Nanotecnológicas para Remédios Ambientais***, aborda a crise da contaminação da água. Este último capítulo descreve a Eliminação de Arsénico das Águas Subterrâneas Usando Nanopartículas de Ferro Reciclado, através do desenvolvimento de um filtro de baixo custo que utiliza nanopartículas de ferro.

Convidamo-lo a mergulhar na leitura de *The Great World of Nanotechnology Vol. III*, onde a ciência na escala mais pequena se traduz em soluções em grande escala. Esperamos sinceramente que esta compilação de pesquisas avançadas não só seja do seu interesse, mas também inspire novos rumos de estudo e aplicação neste campo infinitamente promissor.

Emilio Castro Otero

TABLE OF CONTENTS

FUNDAMENTALS OF NANOMATERIAL MANUFACTURING AND CHARACTERIZATION

CHAPTER 1..... 1

EFFECTS OF THE TRANSFER PROCESS ON THE STRUCTURE OF CVD-SYNTHESIZED GRAPHENE: A RAMAN SPECTROSCOPY STUDY

Rodrigo Segura-del-Río
Fernanda Olivares Salgado
Ricardo Henríquez Correa

 https://doi.org/10.37572/EdArt_1212257961

CHAPTER 2..... 15

NANOFIBRAS POLIMÉRICAS POR FIAÇÃO POR SOPRO EM SOLUÇÃO VIA AEROGRAFIA: UMA REVISÃO DAS PROPRIEDADES, VANTAGENS TECNOLÓGICAS E APLICAÇÕES EMERGENTES

Gabriel da Cruz Dias
Thelma Sley Pacheco Cellet
Mirian Cristina dos Santos
Caroline Silva Danna
Paulo Roberto Orlandi Ruiz
Deuber Lincon Agostini da Silva
Clarissa de Almeida Olivati

 https://doi.org/10.37572/EdArt_1212257962

NANOMATERIALS FOR SURFACE ENGINEERING AND SMART SENSORS

CHAPTER 3..... 34

SENSORES BASADOS EN GRAFENO FUNCIONALIZADO CON PT-SN/TIO₂ PARA DETECCIÓN DE SO₂

Luz María García-Rivera
Juan Manuel Padilla Flores
Octavio Maldonado Saavedra
Erick A. Juarez-Arellano

 https://doi.org/10.37572/EdArt_1212257963

CHAPTER 4..... 50

ELECTRODEPOSICIÓN DE RECUBRIMIENTOS METÁLICOS NANOESTRUCTURADOS

Marcos Bedolla Hernández

Genaro Texcucano Romano

Jorge Bedolla Hernández

Jorge Aguilar Vázquez

Carlos Alberto Mora Santos

Luz Fabiola Sánchez Parra

 https://doi.org/10.37572/EdArt_1212257964

NANOTECHNOLOGY IN BIOMEDICAL AND PHARMACEUTICAL APPLICATIONS

CHAPTER 5..... 60

CYTOTOXIC EFFECT OF PUMPKIN SEED OIL-LOADED NANOEMULSION IN BREAST CANCER CELL LINES

Anelise Pereira Alves

Wanderleya Toledo dos Santos

Daniel Augusto de Andrade

Felipe Kelmer Müller

Kézia Cristine Barbosa Ferreira

Guilherme Diniz Tavares

Fabiano Freire Costa

Paula Rocha Chellini

Ana Cláudia Chagas de Paula

 https://doi.org/10.37572/EdArt_1212257965

CHAPTER 6..... 74

ENHANCED ALGINATE/COLLAGEN SCAFFOLDS WITH CONDUCTIVE POLY (3,4-ETHYLENEDIOXYTHIOPHENE) NANOPARTICLES FOR NEXT-GENERATION SMALL-DIAMETER TISSUE-ENGINEERED BLOOD VESSELS

Emilio Castro

Èlia Bosch-Rué

Sara Estruch-Sotoca

Román A. Pérez

 https://doi.org/10.37572/EdArt_1212257966

CHAPTER 7 86

ELABORATION OF AN ANTISEPTIC GEL BASED ON BIOACTIVE COMPOUNDS OF *ORIGANUM VULGARE* AND *ALOE VERA* ENCAPSULATED IN SiO_2 Y ZNO-SNO_2 NANOPARTICLES FOR CONTROLLED RELEASE

Guadalupe Luna Cedillo
Francisco Javier Tzompantzi Morales
Sandra Luz Hernández-Valladolid
Juan Manuel Padilla Flores

 https://doi.org/10.37572/EdArt_1212257967

NANOTECHNOLOGICAL SOLUTIONS FOR ENVIRONMENTAL REMEDIATION

CHAPTER 8 96

ARSENIC REMOVAL FROM GROUNDWATER USING RECYCLED IRON NANOPARTICLES: DEVELOPMENT AND EVALUATION OF A LOW-COST FILTER FOR RURAL COMMUNITIES

Juan Simón Torres Espada
Yrene Romina Lazcano Cruz

 https://doi.org/10.37572/EdArt_1212257968

ABOUT THE ORGANIZER 106

INDEX 107

CHAPTER 4

ELECTRODEPOSICIÓN DE RECUBRIMIENTOS METÁLICOS NANOESTRUCTURADOS

Data de submissão: 10/11/2025

Data de aceite: 24/11/2025

Carlos Alberto Mora Santos

Doctor en Ciencias de
Ingeniería Mecánica
Instituto Tecnológico de Apizaco
Departamento de Metal- Mecánica
Apizaco, Tlaxcala, México
<https://orcid.org/0000-0002-6050-6578>

Marcos Bedolla Hernández

Doctor en Ingeniería Mecatrónica
Instituto Tecnológico de Apizaco
Departamento de Metal- Mecánica
Apizaco, Tlaxcala, México
<https://orcid.org/0000-0001-9668-2779>

Genaro Texcucano Romano

Maestro en Ingeniería Mecatrónica
Instituto Tecnológico de Apizaco
Departamento de Metal- Mecánica
Apizaco, Tlaxcala, México
<https://orcid.org/0009-0002-2467-0271>

Jorge Bedolla Hernández

Doctor en Ciencias de
Ingeniería Mecánica
Instituto Tecnológico de Apizaco
Departamento de Metal- Mecánica
Apizaco, Tlaxcala, México
<https://orcid.org/0000-0003-3856-6061>

Jorge Aguilar Vázquez

Maestro en Ingeniería Administrativa
Instituto Tecnológico de Apizaco
Departamento de Metal- Mecánica
Apizaco, Tlaxcala, México
<https://orcid.org/0009-0005-5287-7060>

Luz Fabiola Sánchez Parra

Maestra en Docencia y Administración
de Instituciones de Educación Superior
Instituto Tecnológico de Puebla
Departamento de Ciencias
Económico Administrativas
Puebla, Puebla, México

RESUMEN: Se presenta el proceso sugerido para el desarrollo de recubrimientos nanoestructurados de cromo (CrNP's) sobre superficies metálicas mediante la técnica de electrodeposición. Esta propuesta se considera como una alternativa a los procesos convencionales de cromado basados en iones Cr^{4+} y Cr^{6+} ; considerados altamente tóxicos para el medio ambiente y la salud humana. La electrodeposición a partir de cromo Cr^0 y Cr^{3+} en medio acuoso constituye un proceso sustentable y adaptable a superficies, mejorando las propiedades mecánicas y superficiales del sustrato, reduciendo el impacto ambiental. Los recubrimientos se obtuvieron mediante una celda electrolítica conformada por un ánodo de grafito y un cátodo de acero AISI 1020, empleando parámetros de

15.2 V, 0.3 A de corriente directa y un tiempo de deposición de 15 min. Como material de aporte se utilizaron nanopartículas de cromo de forma esférica, en estados Cr^0 y Cr^{3+} , con tamaño promedio de 40 nm y concentraciones de 50 ppm y 100 ppm dispersas en agua desionizada. La solución se sometió a agitación constante de 60 rpm para lograr una suspensión y distribución homogénea de las CrNP's. Los recubrimientos obtenidos fueron caracterizados mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) y espectroscopia (EDX) para la determinación de la formación, crecimiento y la composición elemental. Los resultados muestran la formación de un recubrimiento sobre el sustrato; evidenciando la influencia de la concentración del material de aporte. A 50 ppm se observó un bajo depósito en forma de islas "manchas blancas" sobre la superficie del sustrato, en tanto que, para 100 ppm la morfología cambió significativamente; observándose un depósito homogéneo generado por el crecimiento sostenido de las "islas" sobre la superficie. Lo anterior indica que una mayor concentración de nanopartículas favorece la distribución uniforme del recubrimiento, manteniendo constante los parámetros operativos; conduciendo a la formación de un microrelieve homogéneo sobre la superficie tratada.

PALABRAS CLAVE: recubrimientos nanoestructurados; nanopartículas metálicas; electrodeposición; cromo; morfología.

ELECTRODEPOSITION OF NANOSTRUCTURED METALLIC COATINGS

ABSTRACT: The proposed process for the development of nanostructured chromium (CrNP's) coatings on metallic surfaces by means of the electrodeposition technique is presented. This approach is considered an alternative to conventional chromium plating processes based on Cr^{4+} and Cr^{6+} ions, which are recognized as highly toxic to both the environment and human health. Electrodeposition from Cr^0 and Cr^{3+} chromium species in aqueous media represents a sustainable and surface-adaptable process that enhances the mechanical and surface properties of the substrate while reducing environmental impact. The coatings were obtained using an electrolytic cell consisting of a graphite anode and an AISI 1020 steel cathode, applying a direct current of 15.2 V and 0.3 A for a deposition time of 15 minutes. Spherical chromium nanoparticles (CrNP's), in Cr^0 and Cr^{3+} states, with an average size of approximately 40 nm and concentrations of 50 ppm and 100 ppm dispersed in deionized water, were used as the additive material. The solution was subjected to constant agitation at 60 rpm to ensure a homogeneous suspension and uniform distribution of the CrNP's. The obtained coatings were characterized by scanning electron microscopy (SEM) and energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDX) to determine coating formation, growth behavior, and elemental composition. The results indicate the formation of a coating layer on the substrate, revealing the influence of nanoparticle concentration. At 50 ppm, a low-density deposit with discontinuous "white island" regions was observed on the substrate surface, whereas at 100 ppm the morphology changed significantly, exhibiting a homogeneous coating generated by the sustained growth and coalescence of these islands. These findings suggest that higher nanoparticle concentrations promote a more uniform coating distribution while maintaining constant operational parameters, leading to the formation of a homogeneous micro-relief on the treated surface.

KEYWORDS: nanostructured coatings; metallic nanoparticles; electrodeposition; chromium; morphology.

1. INTRODUCCIÓN

A nivel industrial los materiales metálicos constituyen uno de los cimientos sobre lo que está construido nuestro desarrollo tecnológico. Estos materiales, tienen una vida limitada que depende en gran medida de fenómenos negativos como desgaste, fricción y corrosión (Pletcher, 1981); los cuales, se han posicionado como uno de los enemigos más perseverantes y silenciosos de los materiales metálicos, alterando sus propiedades y provocan la destrucción de la mayor parte de materiales fabricados por el hombre. Desde el enfoque ingenieril superficial, la causa de estos fenómenos se debe a fallas por la disminución de tolerancias, grandes cargas aplicadas y a las emisiones contaminantes. En los países desarrollados, este tipo de afectaciones ha provocado costosos paros industriales (Toyo, 2023), con estimaciones que indican pérdidas económicas derivadas únicamente de la corrosión representando alrededor del 6% del Producto Interno Bruto (PIB) equivalente a un tercio de los recursos destinados al mantenimiento y producción, lo que se traduce a miles de millones de dólares anuales; sin considerar las pérdidas asociadas a los daños ambientales y los riesgos a la salud humana (Bedolla et al., 2025). En el esfuerzo por aminorar estos fenómenos no deseados, ha surgido el interés y la necesidad de implementar alternativas tecnológicas para la protección de superficies metálicas contra efectos de la corrosión, el desgaste y la fricción. En la actualidad, una de las alternativas tecnológicas es la nanotecnología siendo una opción para la elaboración de protecciones y recubrimientos superficiales; aplicados a múltiples campos, como en la industria, en química, medicina, medio ambiente, etc. Diversos nanomateriales han sido empleados para el desarrollo de recubrimientos funcionales, destacando las nanopartículas metálicas por su amplio uso e interés en materiales avanzados. La aplicación de estos recubrimientos superficiales nanoestructurados sobre sustratos metálicos, han mejorado significativamente en las propiedades físico-mecánicas (Texcucano, et al, 2023).

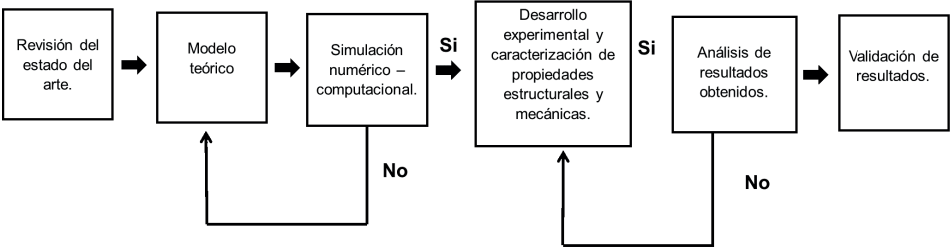
Sin embargo, diversas técnicas de deposición han sido utilizadas para la fabricación de recubrimientos convencionales y nanoestructurados. la electrodeposición es un proceso simple y viable para fabricar una estructura a nanoescala, siempre que las condiciones de parámetros operativos como la densidad de corriente, tiempo de deposición, velocidad de agitación, y en especial la concentración de partículas, contribuyan a una alta cristalización Tey et al. (2021). La nucleación y crecimiento de granos durante la electrodeposición se deriva de procesos de crecimiento de cristales disponibles y de la formación influenciados por el intercambio de carga en la superficie del electrodo y la difusión de iones.

En relación con lo anterior, la incorporación de partículas de cromo, contenidas en una solución acuosa puede lograrse un proceso que no involucre las afectaciones antes mencionadas, disminuyendo accidentes a causa de la preparación del baño electrolítico, una reducción de gases emitidos y la obtención de una capa de metal depositado con espesores a escala nanométrica con propiedades específicas y avanzadas. Por lo cual, la finalidad de este trabajo es el desarrollo de un proceso experimental para la elaboración de recubrimientos nanoestructurados de cromo (CrNP's) sobre superficies metálicas mediante la técnica de electrodeposición para favorecer la obtención de la formación de un microrelieve homogéneo sobre la superficie tratada.

2. MATERIAL Y METODO

La presente investigación se desarrolló con enfoque experimental, orientado a determinar la presencia y morfología de recubrimientos nanoestructurados electrodepositados a partir de nanopartículas de cromo (CrNP's). El procedimiento sugerido se fundamenta en la metodología propuesta por Bedolla et al (2022) y adaptado como se muestra a la figura 1.

Figura 1. Metodología sugerida para el desarrollo de recubrimientos metálicos nanoestructurados.



Como se observa en la figura 1, la metodología consta de seis fases, las primeras tres actividades del desarrollo hacen énfasis a la parte teórica y de la etapa tres a la 6 a la fase experimental.

2.1. DESARROLLO EXPERIMENTAL

Se prepararon dos soluciones base con 50 ppm y 100 ppm, dispersando las CrNP's en 90 ml de agua desionizada. La preparación incluyó un proceso de sonicación durante 10 min para garantizar la homogenización de la suspensión a una temperatura de 23 °C, figura 2.

Figura 2. Baño electrolítico con nanopartículas de cromo CrNP's.



Las probetas de acero AISI 1020, fueron previamente acondicionadas mediante mecanizado de desbaste y pulido, con el fin de obtener un área de 0.0001 m^2 con acabado espejo, ver figura 3. Posteriormente, se realizó un desengrase repetitivo con acetona ($\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$) para eliminar residuos y grasas productos del mecanizado o manipulación, siguiendo el procedimiento descrito por Mahdavi (2015) y evaluadas mediante la prueba de cortina.

El ánodo empleado fue de grafito (C), con un diámetro de 1 cm y longitud de 8 cm, el cual fue limpiado con agua desionizada.

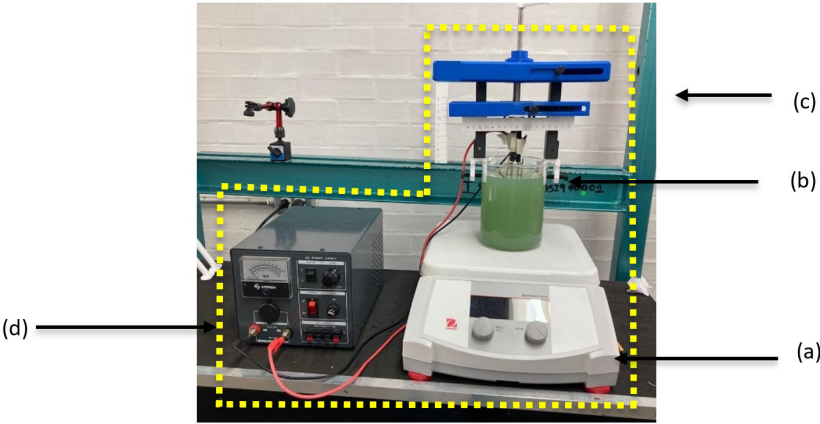
Figura 3. Probetas de acero AISI 1020 mecanizadas y pulidas para pruebas de electrodeposición.



La celda de electrodeposición consistió en un vaso de precipitado (Beaker) donde se conectaron el ánodo (grafito) y el cátodo (AISI 1020) a una fuente de corriente directa (CD). El sistema experimental se monto considerando un agitador magnético con control de velocidad y temperatura (figura a), sobre el cual se colocó el vaso que contiene la solución electrolítica (figura 4b). Los electrodos de trabajo (ánodo y cátodo) se montaron mediante el sistema de sujeción colocándolos en disposición paralela (frente a frente) con una separación de 2 cm (figura 4c). ambos electrodos se conectaron a una fuente regulable de voltaje CD, asignado la terminal positiva para el ánodo y la terminal negativa al cátodo (figura 4d). Posteriormente, los electrodos de trabajo se sumergieron en la solución electrolítica, asegurando el contacto bajo una línea de espejo de la solución.

El agitador magnético se activó para mantener la homogeneidad de la mezcla y posteriormente se encendió la fuente de alimentación para iniciar la electrodeposición.

Figura 4. Banco experimental de electrodeposición y disposición física de componente: (a) fuente de corriente, (b) Beaker con solución electrolítica, (c) porta-electrodos, (d) conexión de ánodo y cátodo.



Una vez preparado el baño electrolítico, las probetas y el banco de pruebas experimental, se procedió al desarrollo de electrodeposición, considerando los siguientes parámetros operativos que se muestran en la Tabla 1 y Tabla 2.

Una vez concluidos los pasos descritos anteriormente, se procedió a realizar la fase experimental de recubrimiento, suministrando el voltaje y la corriente requeridos al baño electrolíticos, conforme a los valores establecidos en las Tablas 1 y 2, así como los tiempos asignados a cada muestra.

Transcurrido el tiempo correspondiente para cada muestra, el proceso de electrodeposición termina y cada muestra fue retirada de la celda electrolítica para su lavado con agua desionizada, con el objetivo de eliminar los residuos del baño electrolítico. Para cada electrodeposición se empleó una nueva solución electrolítica de 90 ml. Como resultado, se obtuvieron 5 probetas de acero AISI 1020, los recubrimientos obtenidos se sometieron a caracterización morfológica y superficial.

Tabla 1. Parámetros para realizar pruebas experimentales para MUESTRAS A, 50 ppm.

Parámetro		Valor
Corriente		0.3 A
Voltaje		15.2 v
Tiempo	Agitación	60 rpm
	MUESTRA A-2	300 seg
	MUESTRA A-3	600 seg
	MUESTRA A-4	900 seg

Tabla 2. Parámetros para realizar pruebas experimentales para MUESTRAS B, 100 ppm.

Parámetro		Valor
Corriente		0.3 A
Voltaje		15.2 v
Tiempo	Agitación	60 rpm
	MUESTRA B-1	300 seg
	MUESTRA B-2	600 seg
	MUESTRA B-3	3600 seg

2.2. CARACTERIZACIÓN ESTRUCTURAL DE MUESTRAS

Los recubrimientos se caracterizaron mediante microscopia electrónico de barrido (SEM) utilizando un microscopio HITACHI S-3000 N, con aumentos que variaron desde 45X hasta 1000X, voltaje de aceleración para los electrones (Hv) de 20 Kv y una distancia de trabajo (WD) de 15 mm a una escala de 600 μm. Mediante esta técnica se determinó la morfología, perfil de distribución y estructura de los depósitos. Para la observación de la composición elemental se utilizó Espectroscopia de Rayos X Dispersados (EDS), mediante un difractómetro BRUKER INCAx- sight, con una radiación CuKα, λ= 0.154 nm y un intervalo 2θ de 4 a 90° para el barrido.

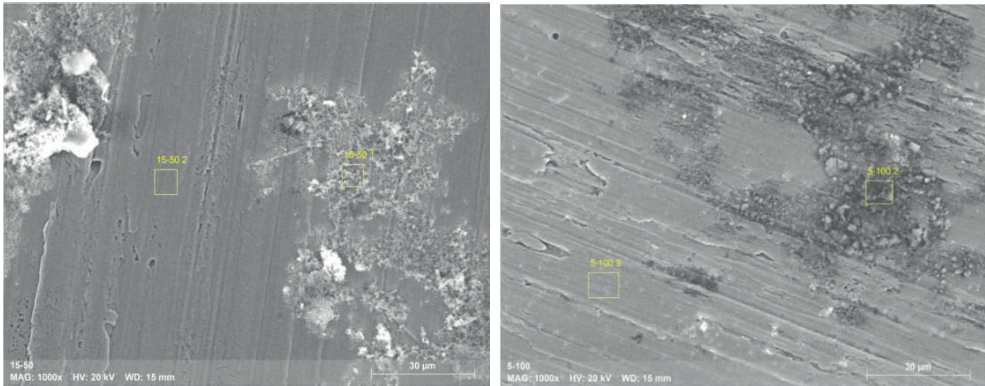
3. RESULTADOS

El procesamiento y evaluación de los datos experimentales correspondientes a las muestras analizadas, con el fin de determinar el efecto de los parámetros de electrodeposición en la formación y crecimiento del nanorecubrimiento.

3.1. FORMACIÓN Y CRECIMIENTO DEL NANORECUBRIMIENTO

De acuerdo con la figura 5, la muestra A-4 correspondiente a una concentración de 50 ppm y un tiempo de deposición de 900 segundos, presenta en la micrografía un bajo deposito caracterizado por la aparición de “manchas blancas”, visibles en la parte derecha y en la parte superior izquierda de la figura 5a. En contraste, la morfología obtenida en la muestra B-1, figura 5b difiere del depósito de la muestra A-4. Este cambio atribuye al incremento en la concentración del material de aporte a 100 ppm y a la reducción del tiempo de deposición a 300 seg. Observando un depósito no homogéneo, con formación de nódulos localizados sobre sitios de adsorción más estables de la superficie de hierro (Fe).

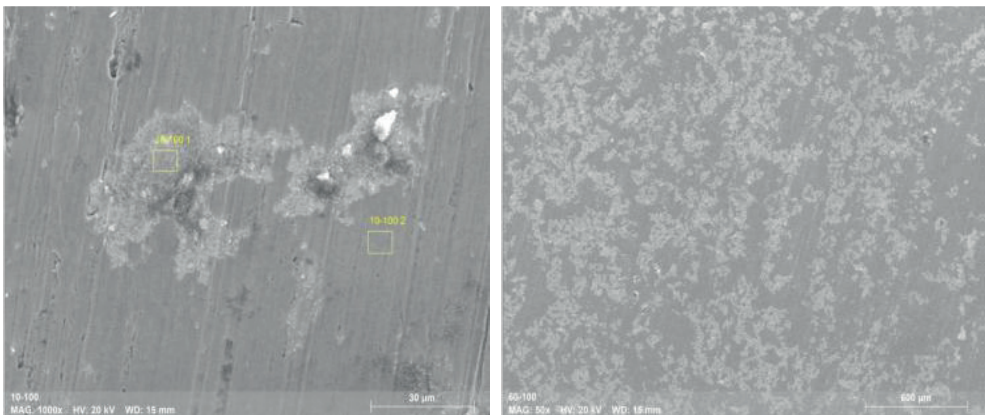
Figura 5. Micrografía de la Muestra A-4 y Muestra B-1.



Respecto a la micrografía mostrada en la figura 6, se aprecia una comparación en el tamaño y distribución de las muestras analizadas. En la muestra B-2 se observa una ocupación más dispersa sobre una misma área, en contraste con la muestra B-3, cuya superficie presenta una morfología más definida. Esta diferencia se atribuye a la escala de observación utilizada (600 µm) para ambas muestras. En la figura 3a se observa un depósito de baja densidad, aun cuando se incrementó la concentración de CrNP's y el tiempo de deposición a 600 segundos. No obstante, se distingue un cambio en la morfología del recubrimiento de la muestra B-3 en comparación con las muestras A-1, B-1 y B-2.

Por otro lado, la figura 6b muestra la micrografía correspondiente a una concentración de 100 ppm de CrNP's y un tiempo de deposición de 3600 segundos. En esta se observa un depósito más denso y homogéneo, figura 6b, Donde la morfología presenta "islas de crecimiento" y una distribución más definida de las nanopartículas, indicando un proceso de nucleación y crecimiento más estable en la superficie.

Figura 6. (a) Muestra a concentración 50 ppm y (b) Muestra a concentración 100 ppm.



3.2. CARACTERIZACIÓN DE COMPOSICIÓN ELEMENTAL

De acuerdo, al análisis químico superficial (EDX), las muestras A-4 y B-3 fueron seleccionadas como las más representativas. Las figuras 7 y 8 muestran los microanálisis correspondientes a cada una.

Figura. 7 microanálisis de la Muestra A-4.

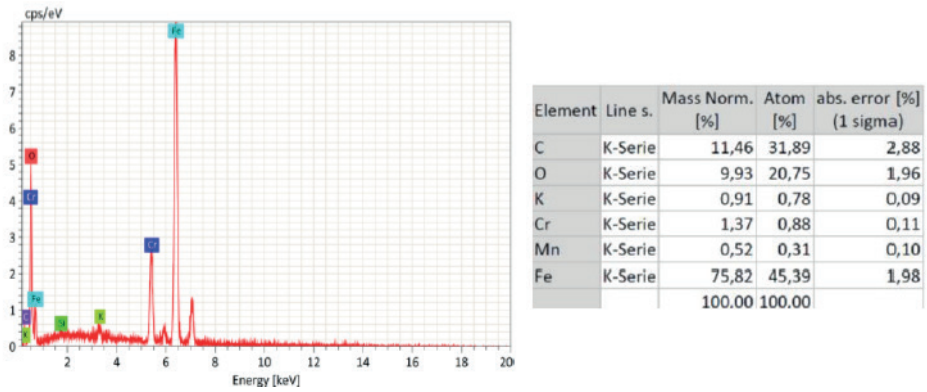
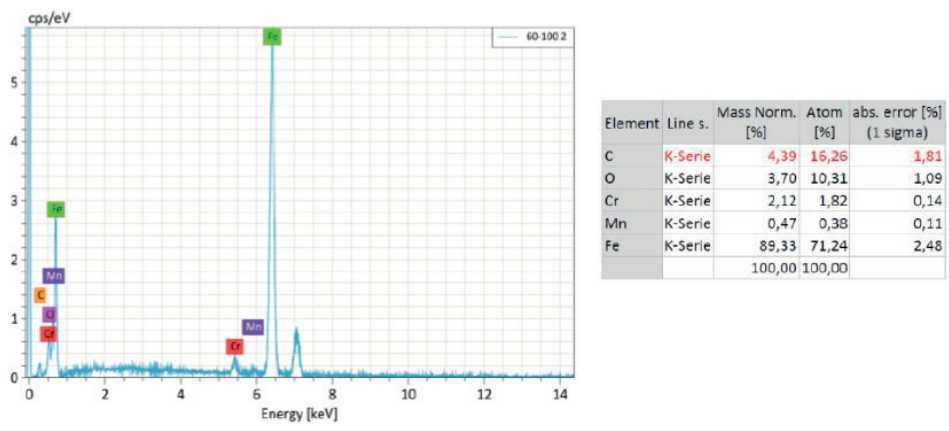


Figura. 8 microanálisis de la Muestra B-3.



De acuerdo con la evaluación de la composición elemental y el porcentaje de material de aporte (CrNP's), la micrografía de la muestra A-4 evidencia la presencia de elementos característicos del sustrato utilizado. Se detectó un contenido de cromo del 1.37 %, atribuible a la incorporación de CrNP's desde la solución electrolítica. Asimismo, se observó la presencia de oxígeno (O), posiblemente en forma de óxido de cromo (Cr₂O₃) reportado por Palomera (2008).

En el microanálisis correspondiente a la muestra B-3 se identificó una composición elemental más localizada, con picos de mayor intensidad y una distribución heterogénea. El comportamiento se asocia al incremento en la concentración de CrNP's, lo que

favorece un mayor depósito del recubrimiento, alcanzando un 2.12 % de cromo sobre la superficie. De igual manera, se detectó oxígeno, el cual podría estar presente como óxido de cromo. En ambos casos se observan los elementos característicos del sustrato metálico, evidenciando la relación existente entre la concentración del material de aporte, el tiempo de deposición y la cantidad de cromo incorporado en el recubrimiento.

4. CONCLUSIONES

De acuerdo con lo anterior, la influencia de los parámetros operativos influye en la nucleación y crecimiento del recubrimiento; en el caso específico de la concentración del material de aporte se observó que, a bajas concentraciones, el proceso de nucleación es limitada, obteniendo depósitos caracterizado por la aparición de “manchas blancas” sobre la superficie del sustrato, reflejando un crecimiento restringido. Sin embargo, al incrementar la concentración se observa un crecimiento sostenido en forma de “islas de crecimiento”, que favorecen la formación de un microrelieve con apariencia homogénea; lo cual permite inferir que la deposición se inicia en las zonas energéticamente más estables localizadas sobre el sustrato, favoreciendo la adherencia del depósito.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bedolla Hernández, M., Sánchez Parra, L. F., Díaz Domínguez, J., & Texcucano Romano, G. (2025). *Estudio experimental del efecto de la agitación mecánica de la solución electrolítica en la formación de recubrimientos nanoestructurados*. En *Artículos del Congreso Internacional de Investigación Academia Journals Chetumal 2025* (pp. XX-XX). Academia Journals. Chetumal, Quintana Roo, México. © Academia Journals 2025.

Bedolla-Hernández, J., Schabes-Retchkiman, P. S., & Vega-Lebrún, C. A. (2022). *Electrodeposition mechanism of chromium nanoparticle coatings: Modeling and experimental validation*. *Chemical Engineering Science*, 252, 117291.

Mahdavi, S., & Allahkaram, S. R. (2015). *Investigation of tribological behavior of electrodeposited Cr, Co-Cr and Co-Cr/TiO₂ nanocomposite coatings*. *World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Chemical, Molecular, Nuclear, Materials and Metallurgical Engineering*, 9(7), 747-751.

Pletcher, D. (1981). *Industrial electrochemistry*. New York: Chapman & Hall.

Palomera Duarte, W. R. (2008). *Estudio de la reducción de soluciones de cromo hexavalente a cromo trivalente en un medio ácido* [Tesis de licenciatura, Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica (CIDETEQ)]. CIDETEQ.

Tey, E., Z. Zainal, L. K. Pah y I. Ismail. "Effect of Mechanical Agitation on Cr-Al₂O₃ Nanocomposite Coatings Fabricated from Trivalent Chromium Electrodeposition," *Solid State Phenomena*, Vol. 317, Trans Tech Publications, Ltd. 2021. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/ssp.317.506>.

Texcucano, G., Bedolla, M., Bedolla, J., Sánchez, E., Colín, F., Aguilar, J., & Rosano-Ortega, G. (2023, noviembre 8-10). *Efectos de la concentración del material de aporte en la formación y crecimiento de recubrimientos nanoestructurados con cromo*. En *SOMI XXXVII Congreso de Instrumentación*. Bogotá, Colombia.

Toyo, M. (2023). *La corrosión: El enemigo invisible de la industria*. INSPENET. Recuperado el 15 de mayo de 2025, de <https://www.inspenet.com>

ABOUT THE ORGANIZER

Emilio Castro Otero é professor da área de Bioengenharia na *Universitat Internacional de Catalunya*, Barcelona, Espanha. Pesquisador com ampla trajetória científica nas áreas de biomateriais, nanotecnologia, química física de polímeros e sistemas nanoestruturados aplicados à medicina regenerativa e à liberação controlada de fármacos. Sua produção abrange estudos fundamentais sobre auto-organização molecular, interações entre copolímeros e surfactantes, estabilidade proteica e desenvolvimento de nanopartículas e hidrogéis inteligentes, contribuindo de maneira significativa para a compreensão dos mecanismos físico-químicos que governam materiais avançados e sua aplicabilidade biomédica. Seu trabalho mais recente, publicado em *Acta Biomaterialia* (2023), aborda o papel angiogênico e imunomodulador de íons nas fases iniciais da regeneração óssea, consolidando sua atuação no campo dos biomateriais bioativos. Ao longo de sua carreira, publicou artigos de impacto em periódicos como *Langmuir*, *Biomacromolecules*, *Journal of Biomedical Nanotechnology*, *Macromolecular Bioscience*, *Journal of Physical Chemistry B*, *Chemical Physics* e *Journal of Colloid and Interface Science*, além de contribuir com capítulo de livro na área de nanomedicina, ampliando sua presença internacional na literatura científica.

Entre suas contribuições relevantes, destacam-se estudos sobre auto-organização de elastina recombinante e copolímeros responsivos à temperatura, síntese e caracterização de nanopartículas funcionalizadas, incluindo magnetita pegulada e nanocápsulas multifuncionais, e sistemas poliméricos capazes de encapsular e liberar fármacos de forma controlada, com foco em aplicações oncológicas e terapêuticas avançadas. Sua pesquisa também inclui extensas investigações termodinâmicas envolvendo surfactantes, copolímeros e sistemas micelares complexos, bem como análises detalhadas de interações entre proteínas e fármacos anfífilicos, contribuindo para o entendimento de processos de dobramento, estabilidade e agregação proteica. Com forte perfil interdisciplinar, o pesquisador tem colaborado com grupos internacionais de renome em bioengenharia, físico-química de materiais, nanotecnologia e biotecnologia aplicada, contribuindo para o desenvolvimento de estratégias inovadoras em engenharia de tecidos, medicina regenerativa e materiais biomiméticos.

Ao longo de quase duas décadas de produção científica contínua, Emilio Castro Otero consolidou uma carreira marcada pela investigação rigorosa, inovação metodológica e abordagem integrada da ciência dos materiais, oferecendo contribuições relevantes tanto para o avanço do conhecimento fundamental quanto para o desenvolvimento de soluções tecnológicas com potencial translacional na área biomédica.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7491-4169>

INDEX

A

Adsorption 13, 80, 96, 97, 98, 100, 101, 102, 103, 104, 105

Aerografia 15, 16, 17, 18, 21, 22, 23, 25, 26, 27

Antiseptics 86, 87

Arsenic 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105

B

Bactericidal 86, 87

Blood vessel 75, 84

C

Chemical vapor deposition 1, 14

Conductive hydrogel 75

Cromo 50, 51, 53, 54, 58, 59

Cucurbita moschata 60, 61, 62, 63, 68, 70, 71, 72, 73

E

Electrodeposición 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56

Emulsions 61, 63, 64, 73

F

Fiação por Sopro de Solução 16, 22, 24, 30

G

Graphene 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 27, 31, 34, 35

Graphene transfer 1, 4, 9

Groundwater 96, 97, 98, 99, 105

I

Inflammatory breast neoplasms 61

Iron nanoparticles 96, 100, 101, 104, 105

Iron oxide 96, 97, 100, 101, 102, 104, 105

L

Low-cost filter 96

M

Morfología 22, 24, 33, 47, 51, 53, 56, 57

N

Nanocompuesto 34, 36, 37, 38, 43, 47

Nanofibras 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 24, 25, 26, 27, 30, 32

Nanoparticles 32, 35, 51, 62, 69, 72, 74, 75, 77, 78, 80, 81, 82, 83, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 96, 97, 100, 101, 102, 103, 104, 105

Nanopartículas de óxidos metálicos 34

Nanopartículas metálicas 51, 52

O

Óxido de grafeno 34, 36, 39, 40, 48, 49

P

PEDOT nanoparticles 74, 75, 77, 78, 81, 82, 83

Propiedades poliméricas 16

R

Raman spectroscopy 1, 5, 11, 13, 14, 35

Recubrimientos nanoestructurados 50, 51, 53, 59

S

Sensores de gas 34, 36

Smooth muscle cells 74, 75, 82, 84

T

Toxicity tests 61

Tratamento de água 15, 16, 17, 18, 25, 26

V

Vascular regeneration 74, 75, 83

Virucidal and bioactive compounds 86

