

# Estudos em Biociências e Biotecnologia:

Desafios, Avanços  
e Possibilidades

Manuel Simões  
(organizador)

VOL V

 EDITORA  
ARTEMIS  
2025

# Estudos em Biociências e Biotecnologia:

Desafios, Avanços  
e Possibilidades

Manuel Simões  
(organizador)

VOL V

 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. Manuel Simões                                            |
| <b>Imagem da Capa</b>    | Vivilweb/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.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 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 Maurícea 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. 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)**

E82 Estudos em biociências e biotecnologia [livro eletrônico] : desafios, avanços e possibilidades V / Organizador Manuel Simões. – Curitiba, PR: Artemis, 2025.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

Edição bilíngue

ISBN 978-65-81701-73-4

DOI 10.37572/EdArt\_081225734

1. Ciências biológicas. 2. Biotecnologia. 3. Biomedicina.  
I. Simões, Manuel.

CDD 574

**Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422**



## PRÓLOGO

O volume V de **Estudos em Biociências e Biotecnologia: Desafios, Avanços e Possibilidades** reúne contribuições que refletem a riqueza, a complexidade e a interdisciplinaridade que caracterizam o campo contemporâneo das biociências. Os oito capítulos que compõem esta edição foram organizados em três eixos amplos, estruturados de forma a destacar conceitos, convergências metodológicas e interfaces entre pesquisa básica, aplicações tecnológicas e a estratégia e ética em ciências da saúde e na investigação.

O **primeiro eixo, Biotecnologia, Bioativos e Ciências Biológicas Aplicadas**, concentra estudos que exploram fenômenos essenciais da vida em níveis molecular, celular e fisiológico. Os capítulos analisam desde interações entre peptídeos e bicamadas lipídicas aplicadas ao desenvolvimento de nanopartículas, até o potencial terapêutico de espécies vegetais amplamente utilizadas em medicina tradicional, nomeadamente a planta *Salvia purpurea*. A ecofisiologia também se faz presente, com investigações sobre o impacto da temperatura no crescimento e metabolismo energético de organismos aquáticos, fundamentais para manejo sustentável e produção controlada. Assim, este bloco articula biotecnologia, bioativos e modelos experimentais, oferecendo uma visão integrada das bases e das possibilidades da investigação biomolecular e biotecnológica.

O **segundo eixo, Biotecnologia Ambiental, Sustentabilidade e Profissões da Saúde**, reúne trabalhos voltados à aplicação direta das biociências na resposta a desafios ambientais e tecnológicos. Os dois capítulos apresentam soluções inovadoras de biorremediação por meio do uso de biomassa vegetal, demonstrando a eficiência de resíduos agroindustriais – como bagaço de cana-de-açúcar e cáscara de amendoim – na remoção de contaminantes tóxicos e recalcitrantes. Tais estudos reforçam a relevância da biotecnologia ambiental para o desenvolvimento sustentável e para a mitigação de impactos da ação antropogênica.

No terceiro eixo, **Dimensões Éticas e Profissionais da Ciência e da Saúde**, destacam-se reflexões sobre a crescente complexidade dos ensaios clínicos e sobre o papel estratégico do coordenador na interface entre pesquisa, ética e regulamentação. Complementa o eixo uma análise aprofundada dos limites, desafios e inovações éticas na prática da enfermagem, ressaltando a centralidade da conduta profissional e da responsabilidade humana no cuidado em saúde. Este eixo se completa com a reflexão sobre o legado científico de Rosalind Franklin, no pioneirismo na cristalografia de raios X, cuja contribuição foi decisiva para a elucidação da estrutura do DNA. O seu trabalho, apesar de não devidamente reconhecido, mudou o curso da biologia molecular, suscitando atualmente debates sobre o reconhecimento, a ética e a equidade na ciência.

Ao articular avanços moleculares, aplicações (bio)tecnológicas, reflexões históricas e práticas profissionais, este volume reafirma a vocação das biociências e da biotecnologia como campos em constante evolução, cuja produção científica dialoga tanto com os fundamentos da vida quanto com os grandes desafios sociais e ambientais do nosso tempo. Esperamos que a leitura inspire novas investigações, fortaleça perspectivas interdisciplinares e contribua para a construção de soluções inovadoras que ampliem as fronteiras do conhecimento e de suas aplicações.

Desejo a todos uma excelente leitura!

Manuel Simões

SUMÁRIO

BIOTECNOLOGIA, BIOATIVOS E CIÊNCIAS BIOLÓGICAS APLICADAS

**CAPÍTULO 1..... 1**

INTERACCIÓN DEL PÉPTIDO MELITINA CON BICAPAS LIPÍDICAS: EFECTOS EN LA PERMEABILIDAD Y APLICACIÓN CON NANOPARTÍCULAS POLIMÉRICAS

Azucena González-Horta

 [https://doi.org/10.37572/EdArt\\_0812257341](https://doi.org/10.37572/EdArt_0812257341)

**CAPÍTULO 2..... 16**

ETNOFARMACOLOGÍA DE *Salvia purpurea* L.

Gabriela Ávila Villarreal

Brisia Marlen Ortiz Vargas

Guadalupe Yáñez Ibarra

Martha Edith Cancino Marentes

Yoshajandith Aguirre Vidal

 [https://doi.org/10.37572/EdArt\\_0812257342](https://doi.org/10.37572/EdArt_0812257342)

**CAPÍTULO 3..... 29**

EFFECT OF TEMPERATURE ON THE GROWTH, BIOMASS PRODUCTION AND ENERGY METABOLISM OF *Poecilia reticulata* (PETERS, 1860)

José Román Latournerié Cervera

Alma Rosa Estrada-Ortega

 [https://doi.org/10.37572/EdArt\\_0812257343](https://doi.org/10.37572/EdArt_0812257343)

BIOTECNOLOGIA AMBIENTAL E SUSTENTABILIDADE

**CAPÍTULO 4..... 36**

REMOCIÓN DE CROMO (VI) EN SOLUCIÓN ACUOSA POR LA BIOMASA DEL BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum*)

Alejandra C. Hernández Terán

Daniela C. Aranda González

Adriana Rodríguez Pérez

Juan Fernando Cárdenas González

Víctor Manuel Martínez Juárez

Ismael Acosta Rodríguez

 [https://doi.org/10.37572/EdArt\\_0812257344](https://doi.org/10.37572/EdArt_0812257344)

**CAPÍTULO 5.....47**

ELIMINACIÓN DE CROMO (VI) DE AGUAS CONTAMINADAS POR LA BIOMASA DE LA CÁSCARA DE CACAHUATE (*Arachys hypogaea*)

Adriana Rodríguez Pérez

Juan Fernando Cárdenas González

Víctor Manuel Martínez Juárez

Dalila del Socorro Contreras Briones

Claudia M. Martínez Rodríguez

Ismael Acosta Rodríguez

 [https://doi.org/10.37572/EdArt\\_0812257345](https://doi.org/10.37572/EdArt_0812257345)

**DIMENSÕES ÉTICAS E PROFISSIONAIS DA CIÊNCIA E DA SAÚDE**

**CAPÍTULO 6..... 54**

EL PAPEL ESTRATEGICO DEL COORDINADOR EN LOS ENSAYOS CLÍNICOS

Pilar de la Torre Flórez

 [https://doi.org/10.37572/EdArt\\_0812257346](https://doi.org/10.37572/EdArt_0812257346)

**CAPÍTULO 7..... 64**

ÉTICA EM ENFERMAGEM: LIMITES, DESAFIOS E INOVAÇÃO

Isabel Maria Ribeiro Fernandes

Hélène Ferreira Malta

Maria Hermínia Nunes Barbosa

Paula Cristina do Vale Lopes Pissarra

Paulo Jorge Lopes Matos

António Manuel Almeida Tavares Sequeira

Maria João Almeida Nunes

 [https://doi.org/10.37572/EdArt\\_0812257347](https://doi.org/10.37572/EdArt_0812257347)

**CAPÍTULO 8.....77**

ROSALIND ELSIE FRANKLIN. UNA CIENTÍFICA RECONOCIDA TARDÍAMENTE

Donají López Torres

Edith Cortés Barberena

 [https://doi.org/10.37572/EdArt\\_0812257348](https://doi.org/10.37572/EdArt_0812257348)

**SOBRE O ORGANIZADOR.....92**

**ÍNDICE REMISSIVO ..... 93**

# CAPÍTULO 1

## INTERACCIÓN DEL PÉPTIDO MELITINA CON BICAPAS LIPÍDICAS: EFECTOS EN LA PERMEABILIDAD Y APLICACIÓN CON NANOPARTÍCULAS POLIMÉRICAS

*Data de submissão: 08/11/2025*

*Data de aceite: 27/11/2025*

**Azucena González-Horta**

Facultad de Ciencias Biológicas  
Laboratorio de Ciencias Genómicas  
Universidad Autónoma de Nuevo León  
Pedro de Alba s/n Cd. Universitaria  
San Nicolás de los Garza, N.L. 66455  
México  
<https://orcid.org/0000-0002-8222-2111>

**RESUMEN:** La encapsulación de ingredientes activos en nanopartículas coloidales tiene un enorme potencial para la administración de compuestos. Recientemente se ha implementado la encapsulación aplicada a activos naturales para brindarles mayor estabilidad y biodisponibilidad. En el presente trabajo se evaluó el efecto que tiene la melitina, un péptido presente en el veneno de las abejas, al ser incorporado en nanopartículas de PLGA sobre bicapas fosfolipídicas ya que, aunque se ha reportado el potencial terapéutico de este péptido, su aplicación es limitada debido a la baja especificidad que presenta y la hemólisis que origina. Los resultados demuestran que al incorporar la melitina de forma tetramérica

en nanopartículas de PLGA se logra reducir el daño a las bicapas fosfolipídicas en un 20%.

**PALABRAS-CLAVE:** encapsulación de ingredientes activos; nanopartículas de PLGA; melitina tetramérica; bicapas fosfolipídicas; estabilidad y biodisponibilidad.

### INTERACTION OF THE MELITTIN PEPTIDE WITH LIPID BILAYERS: EFFECTS ON PERMEABILITY AND APPLICATION WITH POLYMERIC NANOPARTICLES

**ABSTRACT:** The encapsulation of active ingredients in colloidal nanoparticles has enormous potential for the controlled delivery of bioactive compounds. Recently, encapsulation strategies applied to natural bioactives have been implemented to provide greater stability and bioavailability. In this study, we evaluated the effect of melittin—a peptide present in bee venom—when incorporated into PLGA nanoparticles on phospholipid bilayers. Although the therapeutic potential of this peptide has been reported, its clinical application remains limited due to its low specificity and hemolytic activity. Our results show that the incorporation of tetrameric melittin into PLGA nanoparticles reduces damage to phospholipid bilayers by approximately 20%.

**KEYWORDS:** encapsulation of active ingredients; PLGA nanoparticles; tetrameric melittin; phospholipid bilayers; stability and bioavailability.

# 1. INTRODUCCIÓN

La encapsulación de ingredientes activos en nanopartículas coloidales tiene un enorme potencial para la administración de medicamentos en la industria farmacéutica y cosmética. Consiste en atrapar un fármaco / compuesto dentro de un material portador, con el objetivo de mejorar algunas características fisicoquímicas de la sustancia encapsulada mientras se obtiene un suministro del activo más eficiente y controlado. Hasta el momento, se han diseñado y desarrollado diversos sistemas de administración que incluyen liposomas, dendrímeros, polímeros y portadores de fármacos particulados incluyendo nanopartículas poliméricas, nanopartículas sólidas y nanotubos (Tabla1) (Wen *et al*; 2015).

Tabla 1.- Características de los diferentes tipos de nanoportadores utilizados como sistemas de liberación.

| Tipos de nanoportadores         | Características                                                                                                                                                                                                                                        |
|---------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Liposomas</b>                | Vesículas esféricas compuestas de fosfolípidos y esteroides, aumentan la solubilidad de los medicamentos y mejoran sus propiedades farmacocinéticas, sin embargo, debido a su tamaño pueden activar la respuesta inmune.                               |
| <b>Nanotubos de carbono</b>     | Partículas con forma cilíndrica nanoestructurada, similar a las láminas enrolladas de anillos de grafeno, son muy dinámicos y se usan potencialmente en el sistema de administración de fármacos, se les ha demostrado alta toxicidad                  |
| <b>Micelas</b>                  | Partículas coloidales que tienen un tamaño ajustable y funcionalidad superficial alta monodispersidad y excelente estabilidad, observándose en ellas citotoxicidad ocasional y necesidad de modificaciones superficiales                               |
| <b>Dendrímeros</b>              | Estructuras ramificadas de tamaño nanométrico con uniformidad en el tamaño, buena biocompatibilidad y parámetros farmacocinéticos, sin embargo, se ha demostrado que tienen una muy compleja y costosa síntesis                                        |
| <b>Nanopartículas metálicas</b> | Partículas formadas de material inorgánico con uniformidad en el tamaño, forma y longitud una ajustada farmacocinética y biodistribución, así como mayor área de superficie reportándose en estas elevada toxicidad.                                   |
| <b>Quantum dots</b>             | son nanomateriales inorgánicos, caracterizados como nanocristales semiconductores coloidales, la principal desventaja es que no pueden difundirse a través de las membranas celulares por lo que el proceso de entrega puede ser realmente peligroso   |
| <b>Ciclodextrinas</b>           | Son materiales derivados naturales que tienen forma de cono, con caras hidrofílicas primarias y secundaria y una cavidad hidrófoba. Sin embargo, posee baja solubilidad en agua lo que dificulta su aplicación                                         |
| <b>Polímeros</b>                | Las nanopartículas poliméricas se preparan a partir de productos naturales o sintéticos, son biodegradables y biocompatibles y se funcionalizan fácilmente con ligandos, aunque su uso podría ser difícil de escalar ha sido una alternativa preferida |

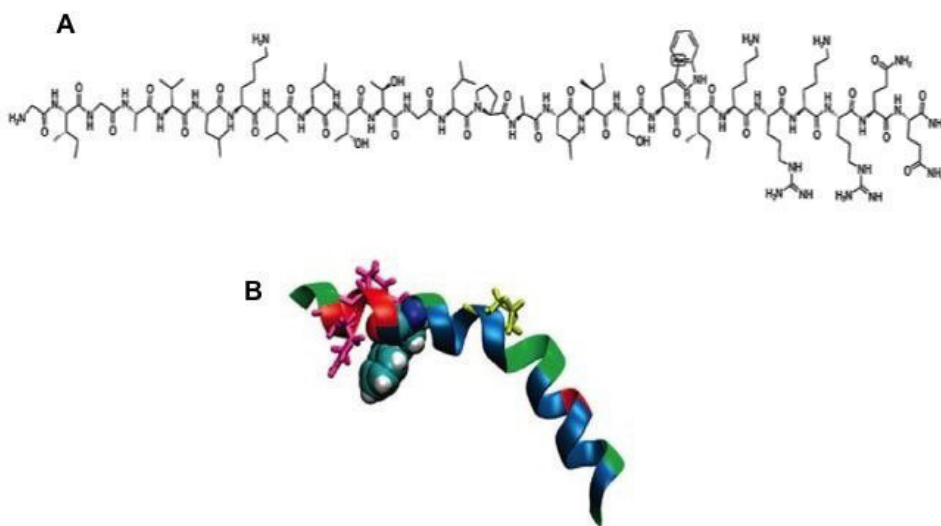
Adaptado de: (Kahraman *et al*; 2017).

El Ácido polilactico-co-glicólico (PLGA) es uno de los nanosistemas biodegradables más exitosamente utilizados para el desarrollo de nanomedicinas porque se somete a hidrólisis en el cuerpo para producir los monómeros de metabolitos biodegradables, ácido láctico y ácido glicólico por lo que existe una toxicidad sistémica mínima asociada con el uso de PLGA para la administración de fármacos o aplicaciones de biomateriales (Reis *et al*; 2006).

La melitina, presente en el veneno de las abejas, consiste principalmente en un péptido de 26 aminoácidos sin puentes disulfuro en el que la parte N-terminal de la molécula (residuos 1-20) es predominantemente hidrófoba, mientras que la C-terminal (residuos 21-26) es hidrófila y muy básica; tiene 2847.5 Da de peso molecular, su secuencia aminoacídica es:

Gly-Ile-Gly-Ala-Val-Leu-Lys-Val-Leu-Thr-Thr-Gly-Leu-Pro-Ala-Leu-Ile-Ser-Trp-Ile-Lys-Arg- Lys-Arg-Gln-Gln (Terwilliger, Weissman, & Eisenberg, 1982) (Fig 1). La melitina, como otros péptidos y proteínas de unión a membrana, es predominantemente hidrófoba. Sin embargo, el péptido tiene una carga neta de +6 a pH fisiológico, cuatro de los cuales están en un tramo en la región terminal C (Lys-Arg-Lys-Arg) y los dos restantes en la región terminal N, Lys- 7 y el grupo N-terminal (Gly-1).

Figura 1. Estructura de la melitina. (A) Secuencia de aminoácidos (B) Estructura secundaria de la melitina en azul se muestra el triptófano, en amarillo la prolina y en rosa los aminoácidos básicos lisina y arginina.



Aunque la melitina tiene una alta proporción de aminoácidos no polares, es altamente soluble en agua. A baja concentración, la melitina es monomérica y adopta esencialmente una conformación aleatoria en solución acuosa. Sin embargo, se ha

observado que adopta una conformación alfa- helicoidal y se agrega en tetrámeros dependiendo de varios factores como el incremento en la concentración de sal, alta concentración de melitina e incremento en el pH. (Liao *et al.*, 2015) los cuatro monómeros de melitina en el tetrámero tienen una conformación casi idéntica, cada cadena de melitina está compuesta por dos segmentos  $\alpha$ - helicoidales los cuales finalmente toman la forma de una horquilla (Pino, 2018).

Cuando se acumulan varios péptidos de melitina formando agregados tetraméricos en la membrana celular, el empaquetamiento de fosfolípidos es gravemente interrumpido, lo que conduce a la lisis de membranas tanto naturales como sintéticas (Pino, 2018). La melitina desencadena la lisis de una amplia gama de membranas plasmáticas y aunque la melitina es el péptido del veneno de abeja más estudiado es un péptido citolítico con baja especificidad que ataca todo tipo de membranas, lo que ocasiona que su aplicación aún se vea limitada. La melitina es un candidato muy atractivo para la quimioterapia del cáncer porque las células cancerosas son menos propensas a desarrollar resistencia contra las moléculas capaces de formar poros en una membrana. La combinación de un fármaco quimioterapéutico junto con la melitina podría tener un efecto sinérgico reduciendo de este modo la dosis terapéutica requerida de cualquiera de los dos (Pan *et al.*, 2011) aunque la posible aplicación de la melitina como agente quimioterapéutico contra el cáncer ha sido ampliamente reconocida, la rápida degradación del péptido en la sangre y su baja especificidad lítica celular plantean desafíos significantes. Hasta la fecha se ha demostrado que la melitina es tóxica para las células del sistema hematopoyético incluyendo linfocitos y eritrocitos y su toxicidad también se ha observado en células intestinales (Y. J. Lee *et al.*; 2007). Es por ello que en el presente trabajo se abordó el desarrollo de una formulación de nanopartículas de PLGA (ácido poliláctico co-glicólico) que incorpora melitina en su conformación tetramérica, con el fin de disminuir su actividad lítica.

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1. PREPARACIÓN DE MELITINA TETRAMÉRICA

La melitina tetramérica se preparó colocando 1mg de melitina en 1 mL de buffer Hepes 20mM NaCl 250mM pH 7.4. Para mantener la conformación monomérica, el péptido se disolvió en 1mL de buffer Hepes 20mM pH 7.4 en ausencia de NaCl.

## 2.2. PREPARACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE MELITINA

Para la preparación de las formulaciones de nanopartículas poliméricas se siguió el método de doble emulsión evaporación. Se preparo un reactor que contenía 1.5mL de una solución orgánica de acetato de etilo con 20mg de PGLA (75:25) ácido poliL-lactico- co- glicólico (sigma-aldrich chemical Ltd, Alemania M.W 24,000-38,000) y 20 mg de Lutrol 68 Mp (Poloxamer 188, BASF). A la mezcla anterior se le adicionó una solución acuosa de cloruro de magnesio al 3% p/p se agitó para formar una emulsión mediante agitación con ultrasonidos durante 90 s (Branson Ultrasonics Corp, Danbury, CT, USA). A la emulsión formada se le adicionaron 5ml de agua bidestilada y se favoreció la formación de una emulsión múltiple mediante una segunda agitación de 90 s con ultrasonido. La formación de las nanopartículas se consiguió mediante la evaporación del disolvente a presión reducida con un rotavapor (Heidolph instruments, Alemania). Una vez formadas las nanopartículas se colocó un reactor sobre una placa de agitación conteniendo la formulación y a la misma se le adicionaron 200µg de melitina en solución.

## 2.3. EVALUACIÓN DE LA ESTRUCTURA SECUNDARIA DE LA MELITINA

Para evaluar la estructura secundaria de la melitina, se registraron los espectros de dicroísmo circular empleando un espectropolarímetro J-1100 (Jasco, Easton, MD) equipado para mantener la temperatura constante a 25°C con un Koolance Peltier. Todos los espectros se registraron en el ultravioleta lejano (190-240nm) a una velocidad de 50nm/min, obteniendo el promedio de 5 espectros con una sensibilidad de 50mdeg. Todos los espectros se corrigieron restando los blancos correspondientes. Las mediciones se realizaron en una celda de 0.1cm con soluciones de melitina a [70mM] o bien de suspensiones de nanopartículas conteniendo 100mg de péptido por mL. Las muestras se equilibraron en buffer Hepes 5mM pH 7.4 El contenido helicoidal de las muestras se asumió era directamente proporcional a la elipticidad promedio por residuo (MRE) a 222nm  $[\Theta]^{222}$ . El contenido alfa-helicoidal se calculó usando la fórmula:

$$\max[\Theta]^{222} = -40,000 \times [1-2.5/h] + 100 \times T)$$

donde h es el número de residuos y T es la temperatura en °C (Jamاسبi *et al.* 2014; Scholtz *et al.* 1991).

El porcentaje de helicidad se calculó después como  $100 \times [\Theta]^{222} / \max[\Theta]^{222}$

## 2.4. CUANTIFICACIÓN DE LA MELITINA PRESENTE EN LA SUPERFICIE DE LAS NANOPARTÍCULAS

La determinación del contenido de melitina en la superficie de las nanopartículas se realizó mediante el método de Bradford y por espectroscopía de fluorescencia. Para ello, la suspensión de nanopartículas recién preparadas se centrifugó a 13,000 rpm durante 3 hr (Ultracentrífuga Beckman Coulter, Brea CA), se tomó 1 mL del sobrenadante y se cuantificó la cantidad de melitina presente por el método de Bradford. Para la cuantificación por espectroscopía de fluorescencia se tomó una alícuota del sobrenadante y del precipitado y se midió la fluorescencia emitida por el triptófano empleando una longitud de onda de excitación de 280 nm. La fluorescencia máxima obtenida se interpoló en una recta patrón realizada a partir de una solución estándar de melitina de concentración conocida.

## 2.5. CARACTERIZACIÓN DE LAS FORMULACIONES DE NANOPARTÍCULAS DE MELITINA

Las formulaciones de nanopartículas se caracterizaron mediante la evaluación del tamaño promedio de partícula y la homogeneidad de tamaño (índice de polidispersidad, PDI) por espectroscopia de correlación fotonica Zetasizer Nano ZS90 (Malvern Instruments, R.U.) a partir de una alícuota de cada lote diluida en agua Milli-Q.

## 2.6. PREPARACIÓN DE VESÍCULAS UNILAMELARES GRANDES (LUVS)

Para obtener suspensiones de LUVs de tamaño definido, se prepararon suspensiones de vesículas multilamelares por el método de evaporación-hidratación y posteriormente se pasaron 10 veces a través de un mini-extrusor de alta presión (Avanti Polar Lipids, Alabaster, AL, USA) equipado con una membrana de policarbonato con tamaño de poro de 100 nm y termostatzado a la misma temperatura a la que se hidrataron los lípidos, obteniendo de esta forma una suspensión homogénea de vesículas lipídicas de unos 100nm de tamaño promedio.

## 2.7. CUANTIFICACIÓN DE FOSFOLÍPIDOS

La cantidad de fosfolípido se determinó mediante valoración de fósforo según el método descrito por Rouser y colaboradores (1966) para lo cual se secaron las muestras a analizar bajo flujo de nitrógeno para posteriormente añadir ácido perclórico al 70% (0.45 mL) e incubarlas en baño de arena a 250-260°C durante 30 minutos con el fin de conseguir la mineralización del fósforo. Transcurrido este tiempo, se dejaron enfriar los

tubos y se añadieron 0.5mK de molibdato amónico (2.5% p/v), 0.5mL de ácido ascórbico (10% p/v) y 3.5 mL de agua bidestilada por muestra, incubándose éstas durante 7 minutos en baño de agua hirviendo. La reacción cromogénica se detuvo colocando los tubos en hielo, midiéndose la absorbancia a 820 nm del producto coloreado que se forma en presencia de fósforo, en un espectrofotómetro Génesis 10 Thermo-scientific. Para conocer la cantidad de fosfolípidos en cada muestra, la absorbancia obtenida se interpolará en una recta patrón realizada a partir de una solución estándar de concentración conocida de fosfato inorgánico ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$  0.05mg/mL).

## 2.8. ENSAYOS DE LIBERACIÓN DE CONTENIDOS ACUOSOS

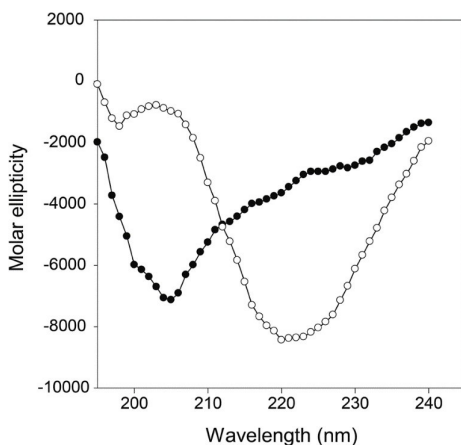
La capacidad del sistema nanoparticulado conteniendo melitina para provocar la pérdida de contenidos acuosos de vesículas fosfolípídicas de diferente composición se valoró mediante el método ANTS/DPX descrito por Ellens y colaboradores en 1985. Las vesículas de fosfolípido se prepararon mediante extrusión en HEPES 50 mM, pH 7 con NaCl 30 mM, ANTS 12.5 mM y DPX 45 mM. Una vez preparadas se pasaron a través de una columna Sephadex G-75 y se eluyeron con buffer HEPES 50 mM pH 7, NaCl 150 mM. El proceso cromatográfico se siguió midiendo la absorbancia de las fracciones a 259 nm y 353 nm, longitudes de onda de los máximos de absorción del desactivador y fluoróforo DPX y ANTS respectivamente. Las fracciones correspondientes a las vesículas con sonda y desactivador coencapsulados se recogieron y reunieron para determinar su concentración mediante el método de Rouser. El ensayo de liberación de contenidos se inició disponiendo 500  $\mu\text{L}$  de la suspensión de vesículas conteniendo ANTS/DPX, a una concentración final de fosfolípido de 75  $\mu\text{M}$  en la cubeta del espectrofluorímetro, termostatzada a 25 °C. Para iniciar el ensayo se inyectaron alícuotas de entre 10 y 50  $\mu\text{L}$  para obtener las cantidades de péptido requeridas (1.8, 2.5, 7, 10.7, 14  $\mu\text{M}$ ) en la celda de fluorescencia. La liberación del contenido de las vesículas del ANTS se siguió monitorizando la emisión de fluorescencia del ANTS a 536 nm, utilizando una longitud de onda de excitación de 353 nm. La liberación del contenido de las vesículas va acompañada de un incremento en la intensidad de fluorescencia del ANTS, consecuencia de la reducción por dilución del efecto desactivador del DPX. El experimento se finalizará con la adición de una alícuota de Triton X-100 (0.5% concentración final) que proporciona la fluorescencia correspondiente al 100% de liberación como referencia.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. PREPARACIÓN DEL AGREGADO TETRAMÉRICO DE MELITINA

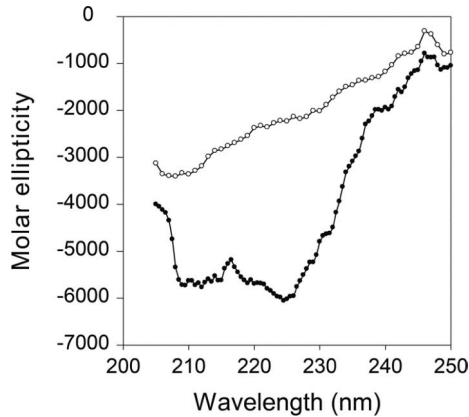
La melitina es una molécula que en solución presenta una conformación aleatoria mientras que, al unirse el monómero a membranas se incrementa drásticamente su contenido alfa- helicoidal (Vogel y Jähnig, 1986). Para corroborar la presencia de la conformación tetramérica del péptido bajo las condiciones empleadas en este trabajo, se analizó por dicroísmo circular su estructura secundaria. En la figura 2 puede observarse que la melitina monomérica presenta un mínimo ~205nm representativo de una conformación aleatoria mientras que, la melitina tetramérica presentó un pico de elipticidad negativo centrado en los 222nm característico de una conformación alfa-helicoidal originada por la auto asociación del péptido. Para corroborar que la conformación tetramérica de la melitina se mantenía una vez incorporado el péptido a las nanopartículas, se realizaron los espectros de dicroísmo circular en el UV-lejano y además se siguió la intensidad de fluorescencia del Trp<sup>19</sup> de la melitina.

Figura 2. Espectros de dicroísmo circular en el UV-lejano para la melitina monomérica (○) y tetramérica (●).



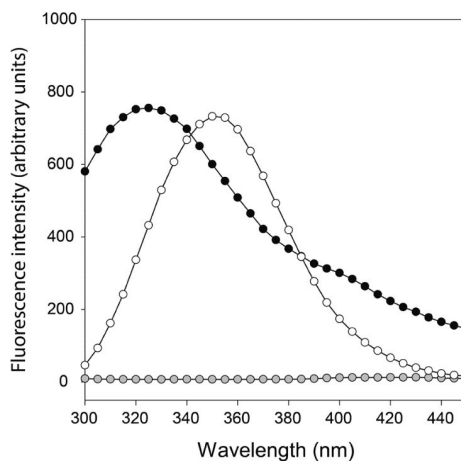
En la figura 3 se muestra el espectro de la melitina tetramérica una vez incorporada a las nanopartículas de PLGA y, como puede observarse, las nanopartículas solas no presentan un pico característico de estructura secundaria mientras que el espectro del sistema nano- melitina refleja una conformación alfa-helicoidal al presentar un pico negativo a 222nm. El contenido helicoidal de la melitina presente en las nanopartículas resultó de un 40%, similar a lo reportado para la melitina tetramérica a una concentración de péptido de 0.5mM (Huang *et al.*, 2013) sugiriendo que la formación del tetrámero permanece estable después de la incorporación del péptido a la nanopartícula.

Figura 3. Espectros de dicroísmo circular en el UV-lejano de la suspensión de nanopartículas de PLGA en ausencia (O) o presencia de melitina tetramérica (●).



Al realizar el seguimiento del Trp<sup>19</sup> por espectroscopía de fluorescencia (Fig. 4) pudo observarse que el espectro de las nanopartículas cargadas con melitina presenta un desplazamiento hacia el azul, es decir un cambio en la intensidad de fluorescencia de 351nm a 331nm, si se compara con el espectro de la melitina en solución, estas diferencias en las propiedades de fluorescencia son indicativas de un cambio en el entorno de los residuos aromáticos, es decir que el residuo de Trp de la posición 19 se encuentra menos expuesto al agua cuando está en las nanopartículas que cuando se encuentra en la melitina monomérica confirmándose nuevamente la presencia del tetrámero de melitina en las nanopartículas.

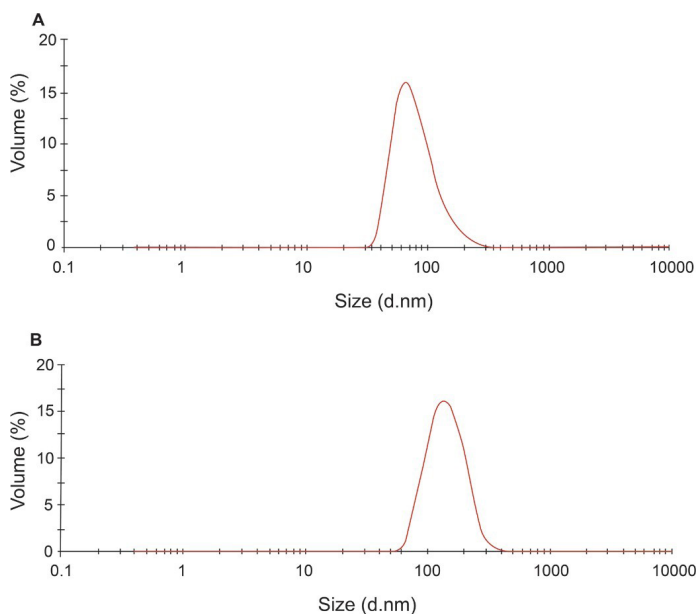
Figura 4. Espectros de emisión de fluorescencia de las nanopartículas de PLGA cargadas con melitina. Se muestran los espectros correspondientes a la emisión de fluorescencia intrínseca del residuo de triptófano de la melitina en solución (O), del sistema nano-melitina (●) y de las nanopartículas de PLGA (●). La longitud de onda de excitación fue de 280nm y la concentración de péptido de 20 mg/mL.



### 3.2. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE NP CARGADAS CON MELITINA

La figura 5 muestra el tamaño promedio de las formulaciones de nanopartículas poliméricas biodegradables preparadas para la realización de este trabajo con y sin melitina. En la figura 5A puede observarse que el diámetro promedio obtenido para las nanopartículas oscila entre los  $85\text{nm} \pm 20\text{nm}$  ( $n=3$ ) con un índice de polidispersidad  $\text{PDI} < 0.1$ , lo que indica que la homogeneidad de tamaño es elevada y que se cuenta con un sistema mono-disperso típico. La adsorción de melitina en la superficie de las nanopartículas produjo un incremento en su tamaño, con valores de diámetro promedio de  $110 \pm 20\text{nm}$  ( $n=3$ ) y un  $\text{PDI} < 0.1$  (Fig 5B) originado probablemente por la interacción electrostática entre los residuos básicos presentes en la secuencia peptídica ( $\text{I}^{20}$ - $\text{K}^{21}$ - $\text{R}^{22}$ - $\text{K}^{33}$ - $\text{R}^{24}$ - $\text{Q}^{25}$ ) y el grupo polar del lutrol de las nanopartículas (Cui *et al.*, 2005).

Figura 5. Tamaño promedio de las nanopartículas de PLGA en ausencia (A) y presencia de melitina (B).



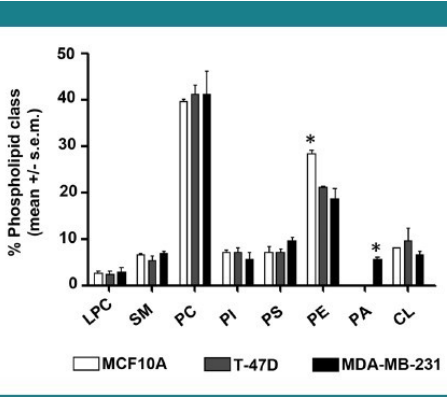
Para cuantificar la melitina encapsulada se empleó la ecuación  $y=49.036x+1.17$  de la curva de calibración realizada para tal efecto, resultando un porcentaje de eficiencia de encapsulación del 85%.

### 3.3. EVALUACIÓN DE LA INTERACCIÓN Y PERMEABILIDAD ORIGINADA POR EL SISTEMA NP-MELITINA CON MODELOS DE MEMBRANA

Para poder evaluar la capacidad lítica de las nanopartículas cargadas con melitina, se prepararon liposomas de distintas especies fosfolipídicas conteniendo

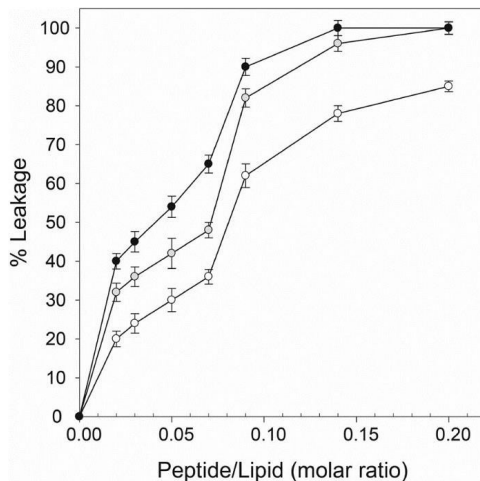
ANTS como fluoróforo y DPX como quenchedor. Los fosfolípidos empleados para la preparación de cada uno de los liposomas utilizados en este trabajo se basan en el estudio realizado por Dória y colaboradores (2013), sobre las alteraciones presentadas en el perfil fosfolipídico de células de epitelio mamario (MCF10A) y células de cáncer de mama (T-47D y MDA-MB-23) (Figura 6). Por lo que para simular las membranas de las células de epitelio mamario sano se empleó la mezcla PC/PE/PS (50:40:10 p/p) y para semejar las membranas de las células de cáncer de mama se utilizó la mezcla PC/PE/PS/PA (50:25:15:10 p/p). Estos liposomas permiten tener un sistema modelo bien definido, permitiendo identificar las especies lipídicas y las propiedades de membrana que influyen en la unión entre el sistema nanomelitina y los lípidos. Como lípido representativo de membranas celulares se emplearon liposomas compuestos en su totalidad por PC. La capacidad lítica del sistema nanomelitina se evaluó empleando el método de liberación de sondas, el cual consiste en medir el aumento en la intensidad de fluorescencia que resulta de la fuga y separación de la sonda ANTS y el apagador DPX que se encuentran en el interior de los liposomas.

Figura 6. Abundancia relativa de fosfolípidos en células epiteliales mamarias humanas y líneas celulares de cáncer de mama. Tomado de Dória y colaboradores (2013).



En la figura 7 se resumen las propiedades líticas del sistema nano-melitina, en ella puede observarse que la incorporación de la melitina tetramérica en las nanopartículas de PLGA no altera la capacidad lítica de este péptido en ninguna de las composiciones lipídicas analizadas. El sistema nano-melitina fue capaz de permeabilizar el 50% de los liposomas de PC a una concentración entorno 2 mM, resultando más efectivo para inducir la perturbación de los liposomas que semejabán la membrana de células cancerosas y sanas, con una concentración de 1.2 mM y 1.8 mM respectivamente, indicando la importancia de las interacciones electrostáticas en este rompimiento.

Figura 7. Efecto de la relación péptido/lípido en la liberación de contenidos acuosos desde vesículas de PC (○) PC/PE/PS (50:40:10 p/p) (●) y PC/PE/PS/PA (50:25:15:10 p/p) (●) originados por el sistema nano-melitina. La concentración de péptido probada fue de 0.6, 0.8, 1.2, 1.8, 2.4, 3.6 y 4.8 mM y la concentración final de lípido fue de 75mM. El porcentaje de liberación de contenidos se calculó considerando como el 100%, la fluorescencia resultante después de la adición de Triton X-100 (0.5% v/v) a los liposomas.



#### 4. DISCUSION

La melitina es un péptido anfipático catiónico de 26 aminoácidos que cuando se encuentra en solución adquiere una estructura aleatoria. Este péptido deriva del veneno de las abejas y tiene una variedad de propiedades farmacéuticas entre las que destacan efectos biológicos como antiviral, antibacteriano, antifúngico, antiparasitario y antitumoral. Se propuso que la melitina actúa como un compuesto citolítico no selectivo, es decir; el péptido interrumpe física y químicamente membranas celulares causando lisis celular por lo que fue considerado un candidato atractivo para la quimioterapia contra el cáncer. (Wu *et al.*, 2018). La literatura actual disponible que involucra estudios *in vitro* e *in vivo* sugiere que la melitina afecta la transducción de señales y las vías reguladoras que conducen a múltiples mecanismos de muerte por cáncer, incluida la inhibición de la proliferación, la inducción de apoptosis, la inhibición de la angiogénesis, la detención del ciclo celular y la inhibición de la motilidad del cáncer, la migración, metástasis e invasión. (Rady *et al.*; 2017). Sin embargo, la aplicación de melitina en el cáncer ha tenido un éxito limitado debido a varios problemas que incluyen toxicidad, baja especificidad, degradación, entrega sistémica ineficiente, biodisponibilidad limitada y principalmente alta hemólisis. Para sortear el problema con el uso del péptido para la terapia contra el cáncer, se han utilizado estrategias para mejorar estas desfavorables características estudiando la relación estructura-actividad con la finalidad de disminuir su actividad hemolítica

utilizando estrategias como fusión o hibridación molecular, semisíntesis química, inserción o eliminación de aminoácidos y apoyándose en el uso de la nanotecnología como sistema de transporte. Las estrategias se enfocan principalmente en el segmento hidrofóbico N-terminal, residuos 1- 20, que confieren al péptido la capacidad de unión a membranas. En este trabajo se utilizó la estrategia de favorecer un cambio estructural en el péptido y posteriormente incorporarlo en nanopartículas poliméricas. Dado que está bien descrito por Miura (2015) que la concentración creciente de péptido o NaCl favorecen la formación del tetrámero de melitina y que la formación del tetrámero podría ayudar a disminuir la actividad hemolítica del péptido se decidió evaluar si esta estrategia resulta factible. Los resultados obtenidos demuestran que bajo las condiciones experimentales empleadas se logra formar el tetrámero de melitina y que esta conformación estructural se mantiene incluso después de incorporarlo a las nanopartículas de PLGA , presentando una estructura principalmente alfa-helicioidal (40%) aún en ausencia de moléculas lipídicas, lo que concuerda con lo reportado por otros autores (Huang *et al.*, 2013).

La disrupción de la membrana por el sistema nanomelitina se caracterizó usando un ensayo de liberación de contenidos acuosos como se describe en materiales y métodos. Los resultados demostraron que la incorporación de melitina en las nanopartículas de PLGA no altera la capacidad citolítica de este péptido en ninguna de las vesículas de fosfolípidos analizadas (simulación del epitelio mamario sano, canceroso, eritrocitario). El sistema nanomelitina pudo irrumpir el 50% de los liposomas que simulan la membrana eritrocitaria (PC) a concentraciones de alrededor de 2mM, observándose que el sistema fue más efectivo induciendo permeabilidad en los liposomas que simulaban membranas de tejido mamario tanto sano (PC/PE/PS (50:40:10 p/p)) como cancerígeno (PC/PE/PS/PA (50:25:15:10 p/p), aproximadamente 1.2 mM y 1.8 mM, respectivamente. Así pues, los resultados demuestran que existe cierta protección en el daño inducido a las membranas al tener al péptido en su conformación tetramérica lo cual posiblemente se deba a que al ser incorporado en las nanopartículas de PLGA se forme un parche hidrofóbico lo que reduce la actividad lítica en los lípidos zwitteriónicos mientras que conserva su actividad citotóxica frente a las membranas aniónicas. Estos resultados concuerdan con las observaciones hechas por Pandey y col. (2010), quienes reportan que lograron aumentar la selectividad celular realizando también una modificación estructural en el péptido usando una mutación Leu9Ala, la cual presentó una reducción significativa de la actividad hemolítica, al mismo tiempo que mostraba actividad antibacteriana contra las bacterias Grampositivas y negativas (Pandey *et al.* 2010). Es importante tener en cuenta que la actividad lítica de nuestro sistema nanomelitina es más citotóxica que otros

sistemas de nanopartículas de melitina reportados. Huang y col. (2013) diseñaron un péptido citolítico híbrido,  $\alpha$ -melitina, en el que el extremo N terminal de melitina está unido al extremo C terminal de un péptido  $\alpha$ -helicoidal anfipático a través de un conector GSG. Estas nanopartículas de melitina indujeron una liberación mínima de hemoglobina a una concentración de 50 mM mientras que la citotoxicidad en las células tumorales se alcanzó a 12 mM. Esto representa una tolerancia de aproximadamente 10 veces más que nuestro sistema para la simulación de membranas eritrocitarias y alrededor de 2 veces más para membranas que contienen fosfolípidos aniónicos tomando en cuenta la concentración máxima probada en este estudio (4.8mM). Soman y col. (2009) observaron una acción más protectora contra la hemólisis de glóbulos rojos con el uso de nanopartículas de perfluorocarbono recubierto con lípidos incorporando melitina; informan que incluso una concentración de nanopartículas de melitina 25 mM solo provocó 10% de hemólisis.

## 5. CONCLUSIÓN

Está claro que para reducir la actividad hemolítica de melitina es necesario proteger su segmento N-terminal hidrófobo a través de cambios estructurales o alterar la secuencia aminoacídica de este péptido mediante la conjugación con otras moléculas hidrofóbicas. En este sentido, nuestros resultados demostraron que, es posible favorecer selectivamente la agregación de melitina y preservar la estructura tetramérica del péptido en forma activa una vez incorporada a las nanopartículas. Sin embargo, es necesario mejorar esta formulación para reducir aún más la actividad lítica de melitina en las membranas modelo.

## REFERENCIAS

- Cui F., Cun D., Tao A., Yang M., Shi K., Zhao M., Guan Y. (2005). Preparation and characterization of melittin-loaded poly (DL-lactic acid) or poly (DL-lactic-co-glycolic acid) micro- spheres made by the double emulsion method. *J. Con. Rel.* 107, 310–319 <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2005.07.001>
- Doria M. L., Cotrim C.Z., Simoes C., Macedo P.D., Dominguez R., Helguero L. A. (2013). Lipidomic analysis of phospholipids from human mammary epithelial and breast cancer cell line. *J. Cell. Physiol.* 228, 457–468 <https://doi.org/10.1002/jcp.24152>
- Huang C., Jin H., Qian Y, Qi S., Luo H., Luo Q., Zhang Z. (2013). Hybrid melittin cytolytic peptide-driven ultrasmall lipid nanoparticles block melanoma growth in vivo. *ACS Nano* 7, 5791–5800 <https://doi.org/10.1021/nn400683s>
- Jamasbi E., Batinovic S., Sharples R., Sani M. A., Robins-Bowne R. M., Wade J. D., Sparovic F., Hossain M. A. (2014). Melittin peptides exhibit different activity on different cells and model membranes. *Amino Acids* 46, 2759–2766.

Liao C., Myvizhi E., Zhao J., Slimovitch J., Schneebeli S., Shelley M., Shelley J., Li J. (2015) Melittin aggregation in aqueous solutions: insight from molecular dynamics simulation. *J. Phys. Chem. B* **119**, 10390–10398 <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.5b03254>

Liu S., Yu M., He Y., Xiao L., Wang F., Song C., Ling C., Xu Z. (2008). Melittin prevents liver cancer cell metastasis through inhibition of the Rac1-dependent pathway. *Hepatology* **47**, 1964–1973 <https://doi.org/10.1002/hep.22240>

Pan H., Soman N. R., Sclesringer P. H., Lanza G. M., Wickline S. A. (2011). Cytolytic peptide nanoparticles (NanoBees) for cancer therapy. *Wiley Interdiscip. Rev. Nanomed. Nanobiotechnol.* **3**, 318–327 <https://doi.org/10.1002/wnan.126>

Pandey B. K., Ahmad A., Asthana N., Azmi S., Srivastava R. M., Srivastava S., Verma R., Vishwakarma A. L., Ghosh J. K. (2010): Cell-Selective lysis by novel analogues of melittin against human red blood cells and *Escherichia coli*. *Biochemistry* **49**, 7920–7929 <https://doi.org/10.1021/bi100729m>

Raghuraman H., Ganguly S., Chattopadhyay A. (2006): Effect of ionic strength on the organization and dynamics and membrane-bound melittin. *Biophys. Chem.* **124**, 115–124 <https://doi.org/10.1016/j.bpc.2006.06.011>

Takahashi T., Nomura F., Yokoyama Y., Tanaka-Takaguchi Y., Homma M., Takaguchi K. (2013): Multiple membrane interactions and versatile vesicle deformations elicited by melittin. *Toxins* **5**, 637–664 <https://doi.org/10.3390/toxins5040637>

Van den Bogaart G., Velasquez Guzman J., Mika J. T., Poolman B. (2008): On the mechanism of pore formation by melittin. *J. Biol. Chem.* **283**, 33854–33858 <https://doi.org/10.1074/jbc.M805171200>

## CAPÍTULO 2

### ETNOFARMACOLOGÍA DE *Salvia purpurea* L.

Data de submissão: 14/11/2025

Data de aceite: 28/11/2025

**Martha Edith Cancino Marentes**

Unidad Académica de Medicina Humana

Universidad Autónoma de Nayarit

Tepic, Nayarit, México

<https://orcid.org/0000-0002-2659-7226>

**Gabriela Ávila Villarreal**

Unidad Especializada en I+D+i en

Calidad de Alimentos y

Productos Naturales

Centro Nayarita de Innovación y

Transferencia de Tecnología

Universidad Autónoma de Nayarit

Tepic, Nayarit, México

<https://orcid.org/0000-0001-5241-5732>

**Yoshajandith Aguirre Vidal**

Red de Estudios Moleculares Avanzados

Campus III, Instituto de

Ecología A.C. (INECOL)

Xalapa, 91073 Veracruz, México

<https://orcid.org/0000-0003-0343-1909>

**Brisia Marlen Ortiz Vargas**

Unidad Especializada en I+D+i en

Calidad de Alimentos y

Productos Naturales

Centro Nayarita de Innovación y

Transferencia de Tecnología

Universidad Autónoma de Nayarit

Tepic, Nayarit, México

<https://orcid.org/0009-0003-4474-7819>

**Guadalupe Yáñez Ibarra**

Secretaría de Investigación y Posgrado

Unidad Especializada en I+D+i en

Calidad de Alimentos y

Productos Naturales

Centro Nayarita de Innovación y

Transferencia de Tecnología

Universidad Autónoma de Nayarit

Tepic, Nayarit, México

<https://orcid.org/0000-0002-6801-9379>

**RESUMEN:** La Medicina Tradicional (MT) en México está conformada por el empleo de alrededor de 3,300 especies botánicas con distintos usos terapéuticos. En ese sentido, se han reconocido los remedios y medicamentos herbolarios en la legislación nacional, así como la publicación de la Farmacopea Herbolaria de los Estados Unidos Mexicanos (FHEUM) en la búsqueda de regular su uso. Sin embargo, es evidente la falta de estudios de inocuidad y seguridad de plantas medicinales que compromete la salud de los usuarios. El género *Salvia* se destaca por sus propiedades curativas, cuenta con aproximadamente 134 especies estudiadas. *Salvia purpurea* es una especie de importancia etnobotánica en el sur y centro de México y en América central. *Salvia purpurea* comúnmente es llamada moradita, mirto de campo y santomexochitl. Su uso tradicional radica en baños posparto, dolores

comunes, dolor de muelas, hemorragias nasales y diarrea. La investigación científica le atribuye a esta especie propiedades antinociceptivas, antiinflamatorias, analgésicas, antibacterianas y estimulantes de la hematopoyesis, las cuales se han relacionado con la presencia de compuestos tipo terpeno y fenólico. Aunque se ha reportado que especies del género *Salvia* tienen propiedades neuroprotectoras, aún no existen reportes científicos que respalden la efectividad de *S. purpurea* en enfermedades neurodegenerativas. En la literatura científica su composición fitoquímica incluye compuestos terpeno, flavonoides y ácidos fenólicos.

**PALABRAS CLAVE:** inflamación; plantas medicinales; *Salvia purpurea*; medicina tradicional; etnofarmacología.

## ETHNOPHARMACOLOGY OF *Salvia purpurea* L.

**ABSTRACT:** Traditional Medicine (TM) in Mexico incorporates the therapeutic use of more than 3,300 botanical species, many of which are regulated under national legislation through the Herbal Pharmacopoeia of the United Mexican States (FHEUM). Despite this regulatory framework, the limited availability of robust safety and toxicity assessments for medicinal plants continues to represent a potential public health risk. Within this context, the genus *Salvia* stands out for its broad spectrum of bioactive properties, with approximately 134 species scientifically investigated. *Salvia purpurea*, an ethnobotanically significant species distributed across southern and central Mexico and Central America, is traditionally used in postpartum care and for the treatment of pain, toothache, nosebleeds, and diarrhea. Pharmacological studies have attributed antinociceptive, anti-inflammatory, analgesic, antibacterial, and hematopoiesis-stimulating activities to this species, primarily associated with its terpenoid and phenolic constituents. Although several *Salvia* species have demonstrated neuroprotective potential, no studies to date have validated the efficacy of *S. purpurea* in neurodegenerative disorders. Reported phytochemical profiles reveal the presence of terpenoids, flavonoids, and phenolic acids, underscoring the need for further investigation into its therapeutic potential and safety profile.

**KEYWORDS:** inflammation; ethnomedicine; *salvia purpurea*; traditional medicine; medicinal plant.

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. MEDICINA TRADICIONAL Y SU REGULACIÓN EN MÉXICO

La Organización Mundial de la Salud (OMS) define a la Medicina Tradicional como: La suma de los conocimientos, habilidades y prácticas basadas en las teorías, creencias y experiencias indígenas de diferentes culturas, explicables o no, que se utilizan en el mantenimiento de la salud y la prevención, el diagnóstico, la mejora o el tratamiento de enfermedades físicas y mentales [1].

En la Medicina Tradicional Mexicana (MTM) se estima que existen 3,300 especies botánicas destinadas al tratamiento de padecimientos gastrointestinales, óseo-musculares, dérmicos, renales, respiratorios, ginecológico-obstétricos, hepáticos,

metabólicos, odontálgicos, hemáticos, de envenenamiento y culturales. Las formas de uso de estas especies botánicas radican en lavado vaginal, baños, inhalación, enjuague bucal, bebido y local [2]. Actualmente, la regulación de la MTM está a cargo de la Secretaría de Salud a través de la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS), en donde se cuenta con una serie de documentos regulatorios como: Normas Oficiales Mexicanas y la Farmacopea Herbolaria de los Estados Unidos Mexicanos. Adicionalmente, en el año 1997 fue añadida la figura regulatoria de medicamento herbolario en la Ley General de Salud y un año después se estableció la definición de remedio herbolario en el Reglamento de Insumos para la Salud [2].

Algunas plantas medicinales que se han incluido en remedio o medicamento herbolario autorizadas por COFEPRIS son: toronjil (*Agastache mexicana*), nopal (*Opuntia ficus indica*), tronadora (*Tecoma stans*), valeriana (*Valeriana officinalis*), goma guar (*Cyamopsis tetragonoloba*), entre otras [2].

## 1.2. PLANTAS MEDICINALES

Una planta medicinal, es aquella que contiene compuestos con un efecto terapéutico, los cuales pueden ser la base para el diseño y síntesis de medicamentos [3]. De manera tradicional, las plantas medicinales se usan en distintas presentaciones, en donde por lo general, se utilizan las hojas y en menor medida flores, tallos, raíces o la planta completa [4].

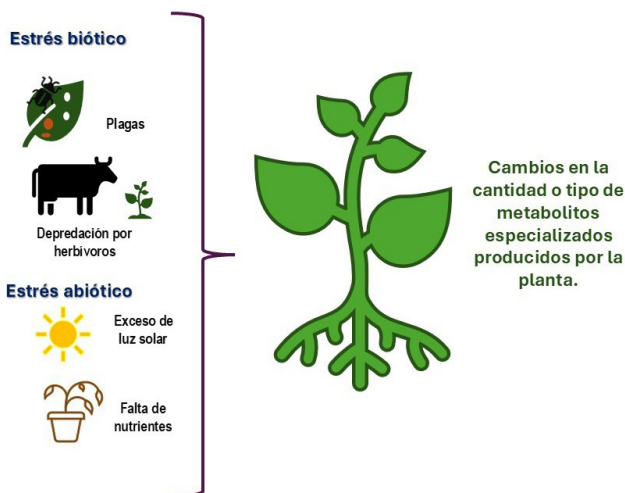
La fitoterapia es utilizada desde tiempos remotos, con base en el conocimiento medicinal de los pueblos originarios y en su bajo costo [5]. También existe la creencia de su inocuidad y seguridad por ser productos naturales. Sin embargo, se ha demostrado que el uso de plantas medicinales puede generar efectos no deseados y que comprometen la salud del usuario, ya sean intoxicaciones a consecuencia de una identificación errónea de la planta o contaminación por un agente externo. Adicionalmente, se pueden generar reacciones adversas al tener una interacción entre los compuestos que contiene las plantas y medicamentos, alimentos u otras plantas medicinales [6]. El metabolismo primario de las plantas produce precursores de biosíntesis de los metabolitos especializados (antes llamados metabolitos secundarios) derivados de la ruta del ácido mevalónico, la vía del ácido shikímico o del malonato/acetato. Los metabolitos especializados provienen de reacciones químicas como la hidroxilación, metilación, epoxidación, entre otras, en la estructura base del grupo confiriendo una mejor adaptación y respuesta [7].

Los metabolitos especializados son compuestos de bajo peso molecular y de gran importancia en los procesos de adaptación de las plantas ante factores de

depredación por herbívoros, ataque por microorganismos, protección del exceso de luz solar, competencia por suelo y nutrientes. Además de brindar un perfil metabólico en la especie, un marcador taxonómico de familias y géneros vegetales [7]. Los metabolitos secundarios se clasifican en tres grupos principales: terpenoides, compuestos fenólicos y compuestos nitrogenados o alcaloides [8].

Las plantas en condiciones de estrés biótico y abiótico producen respuestas de defensa que puede incluir la modificación de sus estructuras anatómicas y cambios en la producción de metabolitos secundarios (Figura 1). El estrés biótico es generado por plagas como insectos y la depredación por herbívoros, mientras que el estrés abiótico puede deberse a exceso de luz solar, características del suelo y deficiencia de nutrientes [7]. Estos factores provocan cambios en la producción de compuestos especializados (terpenos, compuestos fenólicos y compuestos nitrogenados) como defensa para la planta [8].

Figura 1. Metabolitos especializados de las plantas. Factores bióticos y abióticos que generan estrés en las plantas, y su relación con la producción de metabolitos secundarios o especializados.



## 2. GÉNERO SALVIA

De acuerdo con la clasificación de Bentham (1876), el género *Salvia* se divide en 4 subgéneros: *Calosphace*, *Leonia*, *Salvia* y *Sclarea* [9]. Este posee de 900 a 1000 especies en todo el mundo, siendo uno de los más diversos [9-12], sin embargo, solo 134 especies han sido estudiadas [12]. El nombre *salvia* deriva del latín *salvare* que significa “curar o ser salvado” adjudicado por sus propiedades terapéuticas [9,12,13].

Las especies se caracterizan por ser hierbas anuales y perennes, o arbustos trepadores [9]. Se encuentran en climas templados y tropicales [9,12] y se caracterizan por flores coloridas que van del rosa al rojo o del morado al azul [12]. Algunas salvias destacan por ser utilizadas como aromatizantes en perfumería y cosmética, además de tener fines culinarios y ornamental [13]. En la MT se emplean en el tratamiento de problemas digestivos, alteraciones de la circulación, bronquitis, tos, asma, problemas de memoria, problemas bucofaríngeos, depresión y sudoración [11].

## 2.1. COMPOSICIÓN QUÍMICA Y ACTIVIDAD FARMACOLÓGICA DEL GÉNERO SALVIA

Las especies comunes del género comprenden a *S. officinalis* (salvia común), *S. miltiorrhiza* (salvia china), *S. lavandulifolia* (salvia española), *S. fruticosa* (salvia griega), *S. sclarea* (salvia romana o esclarea) y *S. hispanica* (chía) [11]. Los compuestos comúnmente identificados en especies de *Salvia* son ácidos fenólicos dentro de los que se reporta la presencia de ácido cafeico, rosmarínico, salvianólico, salvia cumarina, litospermico, ácido sagerínico y ácidos yunaneicos. Así como también tipo flavonoide como luteolina, apigenina, hispidulina, kaempferol y quercetina; diterpenos y triterpenos como ácido carnósico, ácido ursólico, carnosol y tanshinonas, y otros terpenoides como  $\alpha$ , $\beta$ -tujona, alcanfor, 1,8-cineol,  $\alpha$ -humuleno,  $\beta$ -cariofileno y viridiflorol. Estos constituyentes químicos se relacionan con efectos antioxidantes, antidepresivos, ansiolíticos, antiinflamatorios y colinérgicos [11].

La salvia china o dasheen (*S. miltiorrhiza*) es fuente de tanshinona IIA (Tan IIA) con potencial citotóxico, neuroprotector y antiinflamatorio, a su vez, se ha reportado que puede suprimir la proliferación de cáncer gástrico por inducción de ferroptosis [14]. En modelos de la enfermedad de Alzheimer, Tan IIA disminuye la neuroinflamación y el deterioro cognitivo y mejora la respuesta en pruebas de campo abierto, laberinto acuático de Morris y laberinto en Y [15]. Además, evita la pérdida neuronal y reduce el estrés oxidativo [16]. *S. verbenaca* tiene efectos antiinflamatorios y antioxidantes, al reducir marcadores de estrés oxidativo y citocinas proinflamatorias [17].

El extracto diclorometánico de *S. lavanduloides* contiene salviandulina A y eupatorina, moléculas que demostraron tener actividad antiinflamatoria y antimicrobiana en el modelo de edema de oreja de ratón y en la prueba concentración mínima inhibitoria respectivamente [18]. Por su parte el extracto de acetato de etilo de *S. circinnata* posee actividad antiinflamatoria y antinociceptiva atribuida a diterpenos y otros constituyentes [19]. Al igual que *S. tiliifolia* que tiene actividades antinociceptivas

y antiinflamatorias en modelos de dolor e inflamación y no afecta la locomoción motora en pruebas de campo abierto y rotarod, las cuales también son atribuidas al diterpenoide tilifodiolide [20].

La chía (*S. hispánica*) es rica en ácidos grasos beneficiosos; como el ácido linolénico, linoleico y oleico, compuestos antioxidantes, vitaminas B y minerales con propiedades antioxidantes y antiinflamatorios en enfermedades crónicas no transmisibles relacionadas con la inflamación y el estrés oxidativo [21]. Maturana *et al.* [22] mencionan que las hojas de chía contienen ácidos cinámicos y flavonoides con propiedades mencionadas anteriormente.

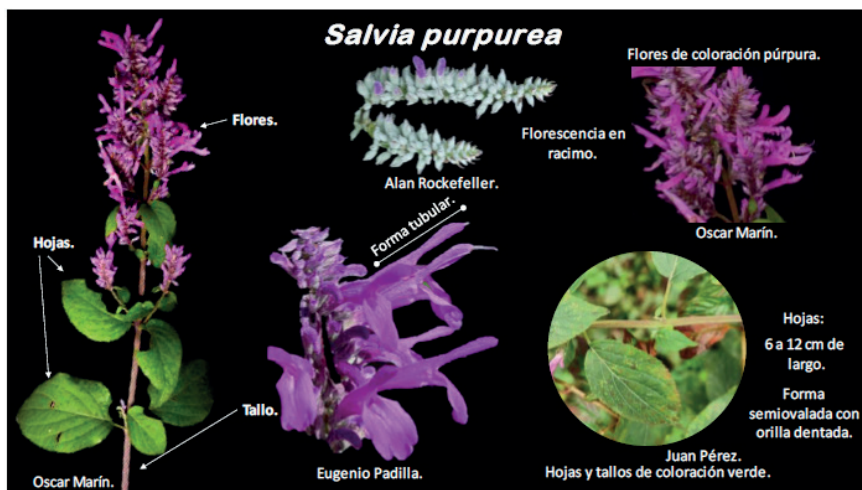
También se ha observado que la salvia común (*S. officinalis*) tiene propiedades antioxidantes que mitigan las comorbilidades del envejecimiento en un modelo murino y el estrés oxidativo [23].

### 3. SALVIA PURPUREA

La especie *S. purpurea* pertenece al género *Salvia*. El nombre de esta planta y su taxonomía se publicó por primera vez en el tratado botánico *Icones et descriptiones plantarum, quae aut sponte in Hispania crescunt, aut in hortis hospitantur* (Icon. 2: 52) en 1793 por Antonio José de Cavanilles [24,25]. Su clasificación taxonómica corresponde a la siguiente: reino: Plantae, división: Tracheophyta, clase: Magnoliopsida, orden: Lamiales, familia: Lamiaceae, género: *Salvia*, especie: *Salvia purpurea*.

En sus características botánicas (Figura 3) presenta flores en forma tubular de coloración púrpura intenso, pequeñas y en racimo, las hojas con forma semiovalada y orilla dentada, de 6 a 12 cm y coloración verde; junto a los tallos [26]. Florece en los meses de marzo, septiembre, octubre y diciembre [27]. En la MT sus nombres comunes son “moradita” [28], “santomexochitl” y “mirto de campo” [29]. Se registran diferentes formas de preparación y empleo en las que destaca; el uso de las hojas directamente para el dolor de muelas [28], las hojas, tallos y flores para baños posparto, hemorragias nasales [29] y diarrea [30].

Figura 3. Estructura morfológica de *S. purpurea*. Esta figura está adaptada de “*Salvia purpurea*” de Oscar Marín, Eugenio Padilla y Juan Pérez, bajo la licencia CC BY-SA 4.0 y “*Salvia purpurea*” de Alan Rockefeller bajo la licencia CC BY 4.0.



### 3.1. DISTRIBUCIÓN EN MÉXICO

De acuerdo con datos de biodiversidad en México, *S. purpurea* se distribuye en el centro del país, en los estados de Hidalgo, Ciudad de México, Estado de México, Morelos, Querétaro y Puebla. Y en el centro occidente en los estados de Colima, Nayarit, Jalisco, y Michoacán, sur: Chiapas, Guerrero y Veracruz. También existen reportes de colectas en Durango y Sinaloa [31]. Crece en zonas 9 montañosas y climas templados [27]. Los puntos de colectas botánicas se visualizan en la Figura 4.

Figura 4. Distribución de la especie *S. purpurea* en la República Mexicana. Mapa obtenido de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) [31].

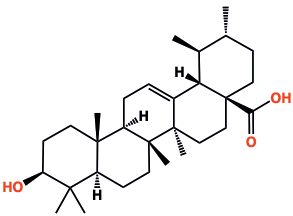
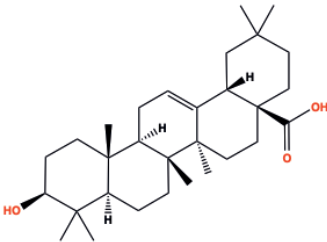
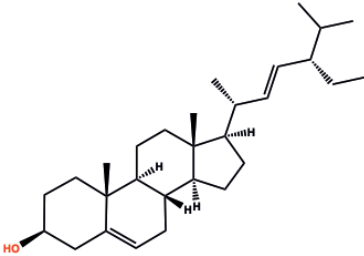
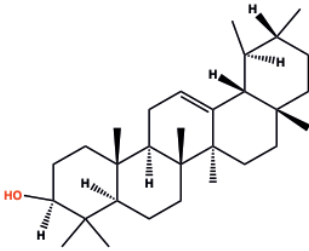


3.2. FITOQUÍMICA Y ACTIVIDAD FARMACOLÓGICA

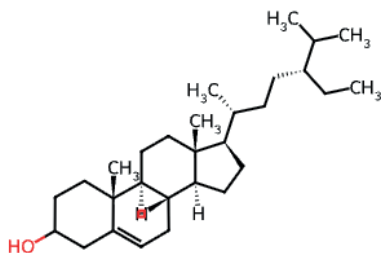
En un análisis fitoquímico de *S.purpurea* se reporta la presencia de taninos, flavonoides, saponinas y azúcares reductores [32]. Por su parte, Cuevas *et al.*, reportaron la presencia de compuestos tipo flavonoides, ácidos fenólicos y terpenos en extractos activos de *S. purpurea* [27].

En cuanto a las actividades farmacológicas se ha reportado que la interacción de compuestos tipo terpeno y fenólicos encontrados en *S. purpurea* tiene efecto antinociceptivo, analgésico y antiinflamatorio en pruebas de estiramiento abdominal “writhing” y de formalina [27]. También se ha observado que tiene actividad antibacteriana en *Bacillus subtilis*, *Proteus mirabilis*, *Salmonella typhi* y *Escherichia coli*. Además, que los extractos metanólicos de *S. purpurea* son citotóxicos para las células hematopoyéticas, y los extractos de la mezcla de flores y hojas son estimulantes de la hematopoyesis, particularmente de la vesícula biliar [32,33]. En la Tabla 1 se describe la estructura y potencial farmacológico de los fitoquímicos reportados en *S. purpurea*.

Tabla 1. Compuestos fitoquímicos reportados en *S. purpurea* [27].

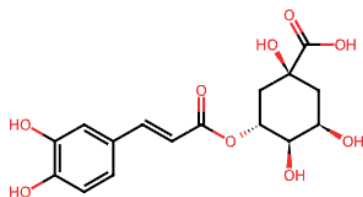
| Nombre                                                                                                                                                     | Estructura                                                                                                                                                    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Terpenoides                                                                                                                                                |                                                                                                                                                               |
| Ácido ursólico<br>(C <sub>30</sub> H <sub>48</sub> OH <sub>3</sub> )<br> | Ácido oleanólico<br>(C <sub>30</sub> H <sub>48</sub> OH <sub>3</sub> )<br> |
| Estigmasterol<br>(C <sub>29</sub> H <sub>48</sub> OH)<br>               | α- amirina<br>(C <sub>30</sub> H <sub>50</sub> OH)<br>                     |

$\beta$ -sitosterol  
( $C_{29}H_{50}OH$ )

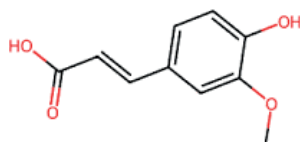


### Ácidos fenólicos

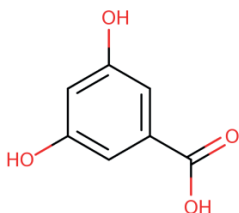
Ácido clorogénico  
( $C_{16}H_{18}OH_9$ )



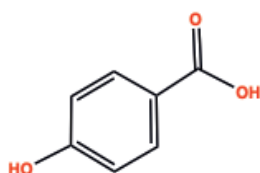
Ácido ferúlico  
( $C_{10}H_{10}OH_4$ )



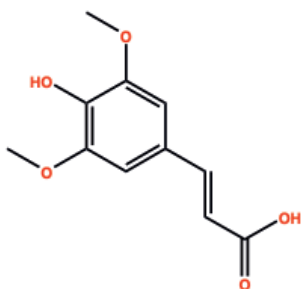
Ácido 3,5-dihidroxi benzoico  
( $C_7H_6O_4$ )



Ácido p-hidroxi benzoico  
( $C_7H_6O_3$ )

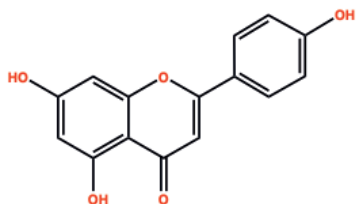


Ácido sinápico  
( $C_{11}H_{12}O_5$ )

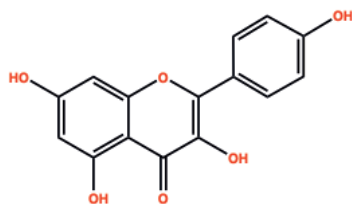


## Flavonoides

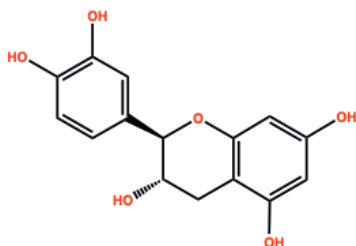
Apigenina  
( $C_{15}H_{10}O_5$ )



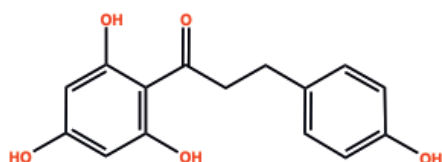
Kaempferol  
( $C_{15}H_{10}O_6$ )



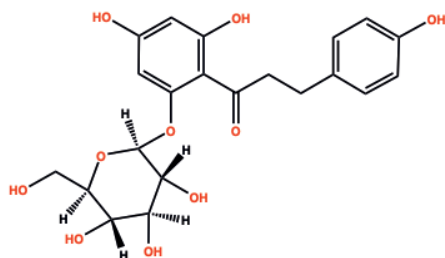
D-(+)-Catechin  
( $C_{15}H_{14}O_6$ )



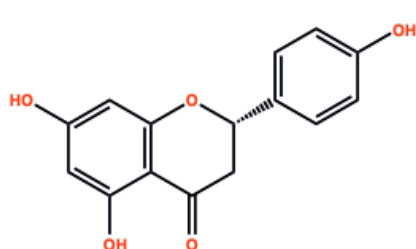
Floretina  
( $C_{15}H_{14}O_5$ )



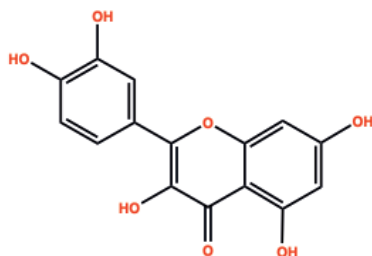
Florizina  
( $C_{21}H_{24}O_{10}$ )



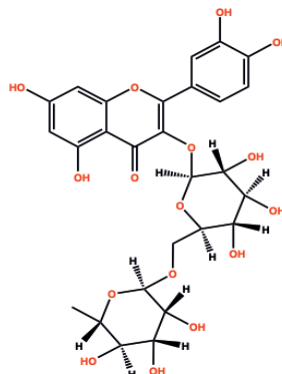
Naringenina  
( $C_{15}H_{12}O_5$ )



Quercetina  
( $C_{15}H_{10}O_7$ )



Rutina  
( $C_{27}H_{30}O_{16}$ )



### 3.3. TOXICIDAD

Dentro del apéndice II de la FHEUM [34] en plantas con evidencia de toxicidad conocida, se ha reportado que la especie *Salvia officinalis* L. produce efectos tóxicos a concentraciones superiores a 200 nL/mL de aceite esencial, causando daño hepático y neurotóxico. Los efectos tóxicos que presenta son atribuidos a la presencia de componentes como la tujona y el alcanfor. El consumo de la infusión de *S. officinalis* también aumenta significativamente la lesión hepática inducida por tetracloruro de carbono y el daño neurotóxico. La toxicidad aguda de los extractos de acetona, metanol y acuoso de *S. purpurea* fue calculada como  $DL_{50} > 2000$  mg/kg, p.o. de acuerdo con el protocolo de la OCDE (2001) [27].

### BIBLIOGRAFÍA

1. Organización Mundial de la Salud. Medicina tradicional [Internet]. 2024 [citado el 17 de junio de 2024]. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/questions-and-answers/item/traditional-medicine>.
2. Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios. Herbolarios. Ciencia COFEPRIS. 2022;07(02):07-13.
3. Sembrando vida. Plantas medicinales: Nuestro patrimonio [Internet]. 2020 [citado el 24 de julio de 2024]. Disponible en: <https://www.gob.mx/bienestar/sembrandovida/articulos/plantas-medicinales-nuestro-patrimonio>.
4. Guzmán HS, Díaz RS, González MM. PLANTAS MEDICINALES LA REALIDAD DE UNA TRADICIÓN ANCESTRAL [Internet]. Vol. 01. 2017 [citado el 26 de junio de 2024]. Disponible en: [https://vun.inifap.gob.mx/VUN\\_MEDIA/BibliotecaWeb/\\_media/\\_folletoinformativo/751044\\_4729\\_Plantas\\_medicinales\\_la\\_realidad\\_de\\_una\\_tradici%C3%B3n\\_ancestral.pdf](https://vun.inifap.gob.mx/VUN_MEDIA/BibliotecaWeb/_media/_folletoinformativo/751044_4729_Plantas_medicinales_la_realidad_de_una_tradici%C3%B3n_ancestral.pdf)
5. Gallegos M. Las plantas medicinales: principal alternativa para el cuidado de la salud, en la población rural de Babahoyo, Ecuador. Anales de la Facultad de Medicina [Internet]. el 16 de diciembre de 2016;77(4):327. Disponible en: <http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/anales/article/view/12647>
6. Soria N. Las plantas medicinales y su aplicación en la salud pública. Revista de salud pública del Paraguay. 2018;8(1).
7. Sepúlveda G, Porta H, Rocha M. La Participación de los Metabolitos Secundarios en la Defensa de las Plantas. Revista Mexicana de Fitopatología [Internet]. 2003 [citado el 19 de agosto de 2024];21(3):355-63. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61221317>
8. Lock O. Investigación fitoquímica: métodos en el estudio de productos naturales. 2a ed. Investigación fitoquímica: métodos en el estudio de productos naturales. Perú: Pontificia Universidad Católica de Perú; 1994.
9. Cornejo G, Ibarra G. Diversidad y distribución del género *Salvia* (Lamiaceae) en Michoacán, México. Rev Mex Biodivers. 2011;82(4):1279-96.
10. Ortega T, Carretero E, Villar del Fresno Á. *Salvia*. Fitoquímica, Farmacología y terapéutica. FARMACIA PROFESIONAL. 2002;16(7).

11. Lopresti AL. Salvia (Sage): A Review of its Potential Cognitive-Enhancing and Protective Effects. *Drugs in R and D*. el 1 de marzo de 2017;17(1):53–64.
12. Wu YB, Ni ZY, Shi QW, Dong M, Kiyota H, Gu YC, et al. Constituents from salvia species and their biological activities. *Chem Rev*. 2012;112(11):5967–6026.
13. Instituto de Ecología. *Salvia officinalis* [Internet]. 2024 [citado el 17 de junio de 2024]. Disponible en: <https://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/ct-menu-item-25/planta-del-mes/37-planta-del-mes/1054-salvia>
14. Guan Z, Chen J, Li X, Dong N. Tanshinone IIA induces ferroptosis in gastric cancer cells through p53-mediated SLC7A11 down-regulation. *Biosci Rep*. 2020;40(8):1–11. 76.
15. Ding B, Lin C, Liu Q, He Y, Ruganzu JB, Jin H, et al. Tanshinone IIA attenuates neuroinflammation via inhibiting RAGE/NF- $\kappa$ B signaling pathway in vivo and in vitro. *J Neuroinflammation*. 2020;17(1).
16. Peng X, Chen L, Wang Z, He Y, Ruganzu JB, Guo H, et al. Tanshinone IIA regulates glycogen synthase kinase-3 $\beta$ -related signaling pathway and ameliorates memory impairment in APP/PS1 transgenic mice. *Eur J Pharmacol*. 2022;918.
17. Vezza T, Molina JA, Rodríguez A, Garrido J, Cádiz ML, Segura A, et al. The Antioxidant Properties of Salvia verbenaca Extract Contribute to Its Intestinal Antiinflammatory Effects in Experimental Colitis in Rats. *Antioxidants*. 2023;12(12).
18. González M, Salinas DO, Herrera M, Román DC, Zamilpa A, Jiménez E, et al. Eupatorin and Salviandulin-A, with Antimicrobial and Anti-Inflammatory Effects from Salvia lavanduloides Kunth Leaves. *Plants* [Internet]. el 30 de junio de 2022;11(13):1739. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2223-7747/11/13/1739>
19. González ME. Neo-clerodane diterpenic influence in the antinociceptive and anti-inflammatory properties of Salvia circinnata Cav. *J Ethnopharmacol*. 2021;268.
20. González MM, Alonso AJ, Zapata JR, Arana V, Torres JC, Medina YE, et al. Anti-inflammatory and antinociceptive effects of tilifodiolide, isolated from Salvia tiliifolia Vahl (Lamiaceae). *Drug Dev Res*. 2018;79(4):165–72.
21. Villanueva A, Montserrat S, Grao E, Pedroche J, Toscano R, Millan F, et al. Antioxidant and Immunomodulatory Properties of Chia Protein Hydrolysates in Primary Human Monocyte-Macrophage Plasticity. *Foods*. 2022;11(5).
22. Maturana G, Segovia J, Olea C, Uribe E, Espinosa A, Zúñiga MC. Evaluation of the Effects of Chia (Salvia hispanica L.) Leaves Ethanolic Extracts Supplementation on Biochemical and Hepatic Markers on Diet-Induced Obese Mice. *Antioxidants*. 2023;12(5).
23. Boualam K, Ibork H, Lahboub Z, Sobeh M, Taghzouti K. Mentha rotundifolia (L.) Huds. and Salvia officinalis L. hydrosols mitigate aging related comorbidities in rats. *Front Aging Neurosci*. 2024;16.
24. Plants of the World Online. Salvia purpurea Cav. [Internet]. 2024 [citado el 17 de junio de 2024]. Disponible en: <https://powo.science.kew.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:226907-2> 77.
25. International Plant Names Index. Salvia purpurea Cav. [Internet]. 2024 [citado el 17 de junio de 2024]. Disponible en: <https://www.ipni.org/n/226907-2>.
26. MacVean A. Salvia purpurea [Internet]. 2024 [citado el 17 de junio de 2024]. Disponible en: <https://arboretum.ufm.edu/plantas/salvia-purpurea/>

27. Cuevas C, Zavala LM, San Miguel R, González ME, Basurto FA, Muñoz V, et al. Evaluación farmacológica de la actividad antinociceptiva y análisis fitoquímico de los extractos activos de *Salvia purpurea* Cav. Bot Sci [Internet]. el 26 de enero de 2022;100(2):383–96. Disponible en: <https://www.botanicalsciences.com.mx/index.php/botanicalSciences/article/view/3013>
28. Camacho N, Amado A. Etnobotánica de Santiago Huaucilla, Oaxaca y evaluación farmacológica de *zinnia peruviana* [Internet] [Tesis de licenciatura]. [México]: Universidad Nacional Autónoma de México; 2015 [citado el 17 de junio de 2024]. Disponible en: <https://repositorio.unam.mx/contenidos/179730>
29. Guzman O. Evaluación de la actividad antiinflamatoria y estudios quimiométricos de especies de *Salvia* de Xalapa, Veracruz y municipios aledaños [Internet] [Tesis de maestría]. Universidad Veracruzana; 2014 [citado el 17 de junio de 2024]. Disponible en: <http://cdigital.uv.mx/handle/123456789/46852>
30. Domínguez G, Castro A. Usos medicinales de la familia labiatae en Chiapas, México. Etnobiología. 2002;2:19–31.
31. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. *Salvia púrpura* [Internet]. [citado el 19 de mayo de 2024]. Disponible en: <https://enciclovida.mx/especies/169649-salvia-purpurea>.
32. Velasco R, Quintero M, Tapia R, Cerón R, Santana J. Effect of methanol extracts from *Salvia purpurea* CAV. on the proliferation of bacteria and hematopoietic cells. J Pharmacogn Phytochem [Internet]. 2021;10(5):131–6. Disponible en: [www.phytojournal.com](http://www.phytojournal.com)
33. Velasco-Lezama R, Quintero-Reyes M, Tapia-Aguilar R, Cerón-Ramírez R, Santana-Carrillo J. Effect of *Salvia purpurea* cav. on the Proliferation of Hematopoietic Cells In Vitro. Journal of Drug Delivery and Therapeutics. 2022;12(3-S).
34. Farmacopea Herbolaria de los Estados Unidos Mexicanos. Apéndice II. seguridad en el uso de plantas medicinales [Internet]. 2021 [citado el 17 de junio de 2024]. Disponible en: <https://www.farmacopea.org.mx/Repositorio/Documentos/1284.pdf>

## CAPÍTULO 3

### EFFECT OF TEMPERATURE ON THE GROWTH, BIOMASS PRODUCTION AND ENERGY METABOLISM OF *Poecilia reticulata* (PETERS, 1860)

Data de submissão: 14/11/2025

Data de aceite: 28/11/2025

**José Román Latournerié Cervera**

Laboratorio Transdisciplinario de  
Acuicultura y Recursos Naturales  
Contribución No. 217  
Facultad de Ciencias  
Universidad Nacional Autónoma de  
México - UNAM  
04510 Ciudad de México, CDMX, México

**Alma Rosa Estrada-Ortega**

Laboratorio Transdisciplinario de  
Acuicultura y Recursos Naturales  
Contribución No. 217  
Facultad de Ciencias  
Universidad Nacional Autónoma de México  
04510 Ciudad de México, CDMX, México

**ABSTRACT:** The ornamental fish market is in expansion worldwide, making it essential to promote research in Mexico on the ecophysiology of ornamental species to improve their controlled production systems. Therefore, this research focused on evaluating the effect of temperature on the growth and energy metabolism (EM) of guppies. *P. reticulata* fry was obtained from a controlled spawning, homogenized, and randomly

assigned to treatments. Based on initial weight, the feed ration supplied was 7% of body weight/day and administered at two times: 11:00 AM and 3:00 PM. Commercial feed with 32% protein was used. The research employed a fixed-effects factorial design:  $20 \pm 1^\circ\text{C}$  with two replicates ( $n=10$ ), and measured at ( $T_0$ ,  $T_{15d}$ ,  $T_{31d}$ , and  $T_{45d}$ ), and it was analyzed using ANOVA. Growth curves and biomass production were calculated, and at the end of the experimental phase, the fish's energy expenditure ( $\text{VO}_2/\text{g.PH/day}$ ) was measured using a semi-open respirometer, considering the variation in body weight of the sample to calculate the relationship between energy expenditure and body weight. Water quality was evaluated daily using a multiparameter digital meter. Significant effects were obtained for temperature, time, and interaction ( $p < 0.000$ ). The average effect of temperature on growth was 1.78 times greater at  $24^\circ\text{C}$  and biomass production was twice in the high temperature. Growth curves differed significantly between temperatures ( $p < 0.001$ ), and hierarchies were detected from the third biometry measurement onward (day 30). The final size and weight distribution showed positive skewness, with a greater effect at  $24^\circ\text{C}$ . Energy expenditure was negatively correlated with body weight ( $p < 0.001$ ) but did not differ significantly between temperatures ( $p = 0.84$ ). The results obtained have a direct application in the controlled management of the species for commercial exploitation purposes.

**KEYWORDS:** ecophysiology; culture; management; optimization; *P. reticulata*.

## 1. INTRODUCTION

The guppy (*Poecilia reticulata*) is a species native to northern South America and the Caribbean. In its natural habitat, its preferred temperature range is between 18 and 28°C. In recent decades, its distribution has expanded through introductions to more than seventy countries, including Mexico (Sasanami, M. et al. 2021; FishBase, 2025). The cultivation of *P. reticulata* has increased in recent years, making it one of the most important ornamental fish species worldwide. Its sexual dimorphism is particularly striking in males. However, their low fertility affects their production costs, as does the overproduction of females; both characteristics are serious limitations in their breeding. Likewise, their thermoregulatory behavior is relevant due to its impact on growth; heat stress can affect cultivated lines used in commercial systems, increasing their growth rates and decreasing their size, body mass, survival, and fertility (Dzikowski et al., 2001; Karayücel et al., 2008). Given the global increase in the ornamental fish market due to its widespread acceptance and development prospects (Hernández-López et al., 2024), and considering that in Mexico more than half of the farms producing ornamental species cultivate poeciliids (Espinosa et al., 2011), it is evident that research on the ecophysiology of ornamental species should be encouraged in our country to improve their controlled production systems. Therefore, this research focused on evaluating the effect of temperature on the growth and energy metabolism (EM) of guppies.

## 2. MATERIALS AND METH/ODS

*P. reticulata* fry were obtained from a controlled spawning in the laboratory. Two days after release, 40 fries were homogenized and randomly distributed into the treatments, with two replicates of  $n=10$  per 10 L aquarium. The treatments at both temperatures were placed in water baths regulated at 20°C and 24°C ( $\pm 1^\circ\text{C}$ ). The feed ration 7% of body weight/day was calculated from the initial weight and provided at two times: 11:00 AM and 3:00 PM. Wet body weight measurements (WW:  $\pm 0.0005$  g) were taken every 15 days from 5 randomly selected fish from each treatment replicate, and the feed ration size was adjusted according to the averages obtained. Commercial feed with 32% protein was used. The research involved a fixed-effects factorial design: 20 and  $24 \pm 1^\circ\text{C}$  with two replicates ( $n=10$ ), and four measurements:  $T_0$ ,  $T_{15d}$ ,  $T_{31d}$ , and  $T_{45d}$ ) and was evaluated through ANOVA. Growth curves and biomass production were calculated

according to the Chapman model (1978). At the end of the experimental phase, the routine metabolic rate (RMR) of the fish ( $\text{VO}_2/\text{g.PH}/\text{day}$ ) was measured at both temperatures using a semi-open respirometer. Six experimental chambers containing three similar-sized specimens, and one control chamber each with a 1 L capacity, were used for 6 hours, the lapse time was defined in a previous trial to obtain significant RMR readings. The experiment accounted for variations in the body weight of the samples to calculate the relationship between RMR and body weight. Water quality was assessed daily except on weekends, using an oximeter and a digital multiparameter meter, recording: temperature, dissolved  $\text{O}_2$ , pH, conductivity, total solids and salinity. Water changes of 50% of the aquariums were carried out weekly.

### 3. RESULTS

#### 3.1. WATER QUALITY

Table 1. Water quality variables (WQV) measured during growing experimental phase at two temperatures in *Poecilia reticulata*. Data are Mean  $\pm$  SD. Means with different letters between treatments indicate significant differences between them (post hoc Tukey,  $p < 0.05$ ).

| WQV                    | T - 20°C                      | T - 24°C                       |
|------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| T °C                   | 19.9 <sup>A</sup> $\pm$ 0.8   | 23.6 <sup>B</sup> $\pm$ 1.3    |
| O <sub>2</sub> , mg. l | 5.6 $\pm$ 0.5                 | 5.3 $\pm$ 0.5                  |
| pH                     | 7.7 $\pm$ 0.27                | 7.87 $\pm$ 0.32                |
| Cond. mS               | 566.6 <sup>A</sup> $\pm$ 27.0 | 677.1 <sup>B</sup> $\pm$ 100.6 |
| T.S. mg. l             | 397.4 <sup>A</sup> $\pm$ 37.0 | 479.1 <sup>B</sup> $\pm$ 91.6  |
| Sal. mg. l             | 277.3 <sup>A</sup> $\pm$ 27.9 | 336.7 <sup>B</sup> $\pm$ 57.9  |

#### 3.2. GROWTH – TEMPERATURE

Significant effects were observed for temperature, time, and interaction ( $p < 0.000$ ). The mean effect of temperature on growth was 1.78 times greater at 24°C. Growth curves differed significantly between temperatures ( $p < 0.001$ ), Figure 1A and 1B. Hierarchies (“bull effect”) were detected from the third biometric measurement onward (day 31). The final distribution of sizes and weights showed positive skewness, with a greater effect at 24°C (Fig. 2).

Fig. 1. Growth curve (A) and IC<sub>95%</sub> of weight (B) in *P. reticulata*: Comparison of two temperature regimes.

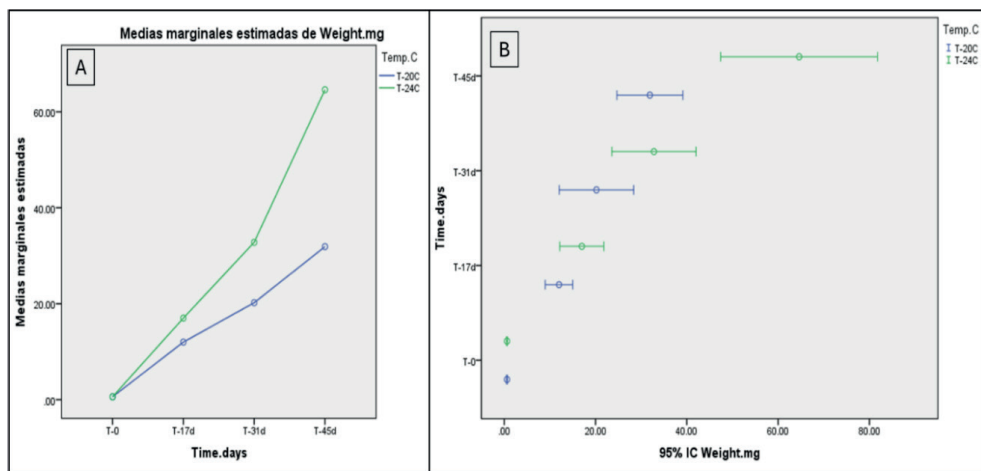
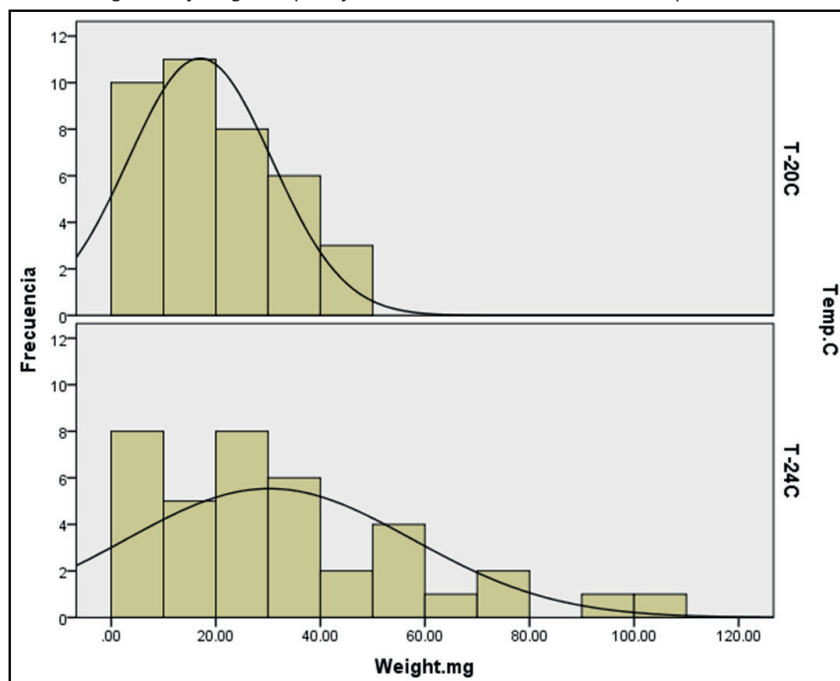


Fig. 2. Body weight frequency distribution of *P. reticulata* at two temperatures.



The indicators of change in weight, growth rate and biomass production were significantly different between the two temperature regimes, being higher at the temperature of 24°C, Table 2.

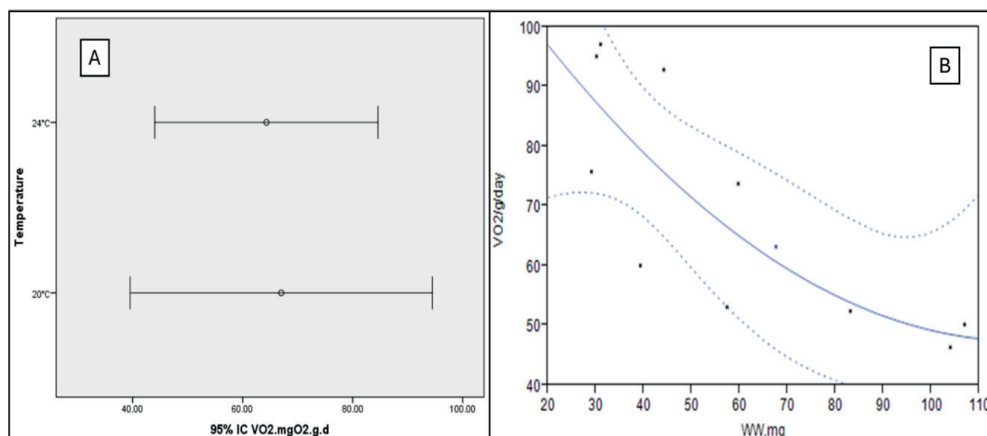
Table 2. Effect of temperature on growth, biomass production and growth rate (TIC) of *P. reticulata*.

| T °C | Time<br>days | Weight.mg<br>Mean ± SD   | TIC<br>(G) | N  | Stock<br>Biomass (B) | Mean<br>Biomass | Total<br>Production |
|------|--------------|--------------------------|------------|----|----------------------|-----------------|---------------------|
| 20   | 0            | 0.6 <sup>A</sup> ± 0.15  |            | 20 | 12                   |                 |                     |
|      |              |                          | 0.176      |    |                      | 126             | 22.18               |
|      | 17           | 12.0 <sup>A</sup> ± 4.2  |            | 20 | 240                  |                 |                     |
|      |              |                          | 0.037      |    |                      | 322             | 11.9                |
|      | 31           | 20.2 <sup>A</sup> ± 11.4 |            | 20 | 404                  |                 |                     |
|      |              |                          | 0.0327     |    |                      | 521             | 17.1                |
|      | 45           | 31.9 <sup>A</sup> ± 10.1 |            | 20 | 638                  |                 |                     |
|      |              |                          |            |    |                      |                 | 51.1                |
| 24   | 0            | 0.6 <sup>A</sup> ± 0.15  |            | 20 | 12                   |                 |                     |
|      |              |                          | 0.1967     |    |                      | 176             | 34.6                |
|      | 17           | 17.0 <sup>B</sup> ± 6.7  |            | 20 | 340                  |                 |                     |
|      |              |                          | 0.047      |    |                      | 498             | 23.4                |
|      | 31           | 32.8 <sup>B</sup> ± 12.9 |            | 20 | 656                  |                 |                     |
|      |              |                          | 0.048      |    |                      | 974             | 46.8                |
|      | 45           | 64.6 <sup>B</sup> ± 24.0 |            | 20 | 1292                 |                 |                     |
|      |              |                          |            |    |                      |                 | 104.8               |

### 3.3. METABOLIC RATE

The mean and 95% CI of the MR at 20°C and 24°C were:  $67.01 \pm 27.48$  and  $64.33 \pm 20.29$  mg O<sub>2</sub>/g PH/day respectively (Fig. 3A). The MR was negatively correlated with body weight ( $p < 0.001$ ), but did not differ significantly between temperatures, Fig. 3B, ( $p = 0.84$ ).

Fig. 3. IC<sub>95%</sub> of metabolic rate (VO<sub>2</sub> mg O<sub>2</sub>/g/day) of *P. reticulata* at two temperatures (A) and VO<sub>2</sub> – Weight relationship (B): (VO<sub>2</sub> = K W<sup>a</sup>) data pooled (20 – 24) °C,  $r^2 = 0.68$ ,  $n = 11$ .



## 4. DISCUSSION

In Mexico, ornamental fish production is a significant activity in 250 aquaculture production units distributed across 20 states, according to the Ministry of Agriculture and Rural Development. The state of Morelos stands out as the leading producer. The ornamental fish market has grown significantly in the last ten years, reaching a value of 4.5 billion pesos and a volume of 60 million live organisms (Hernández-López, M. et al. 2024).

Ornamental fish farming generates significant income for the regions where it takes place, directly impacting the local economy, especially for women in rural areas.

Given the above, the results obtained in this study have direct application to the controlled management of the species for commercial exploitation. The maximum growth and biomass production parameters of the fry were obtained at a temperature of 24°C. Furthermore, energy requirements did not differ between the 20°C and 24°C regimes, indicating that this temperature falls within the optimal thermal range for the species, which is consistent with previous results (Gibson & Hirtz, 1955; Karayücel, I. et al., 2008). In other studies, guppies have demonstrated their flexibility in adapting to critical thermal limits and variable energy resources (Chung, 2001; Auer, 2010).

However, this research suggests that further studies are needed to link temperature increases with the energy requirements for somatic growth, diverse food sources, reproduction, and improve of male proportion in *P. reticulata*, using a bioenergetic approach to optimize the species production system. At the same time, product quality is a key factor for competitiveness in the national and international markets, thus requiring health and quality certifications for export. Furthermore, sustainable production management is a significant challenge that requires collaboration among various stakeholders, including government, industry, producers, and research institutions, to achieve the best results.

## 5. ACKNOWLEDGMENTS

This research is the contribution 217 of the transdisciplinary laboratory of Aquaculture and Natural Resources, Department of Comparative Biology, and it was sponsored by the Faculty of Sciences, UNAM.

## LITERATURE CITED

Auers, S. K. 2011. The long-term effects of juvenile food availability on adult reproductive decisions and success in Trinidadian Guppies (*Poecilia reticulata*). PhD dissertation. University of California Riverside. <https://scispace.com/pdf/the-long-term-effects-of-juvenile-food-availability-on-adult-2itua07i1b.pdf>

Chapman, D.W. 1978. Production in fish populations. pp. 5–25. In: S.D. Gerking (ed.) Ecology of Freshwater Fish Production, Blackwell Scientific Publications, Oxford. <https://agris.fao.org/search/providers/122535/records/65de0b6263b8185d9ca68e12>

Chung, K. S. 2001. Critical thermal maxima and acclimation of the tropical guppy *Poecilia reticulata*. *Hydrobiologia*, 462: 235 – 257. DOI:10.1023/A:1013158904036

Dzikowski, R., G. Hulata, I. Karplus and S. Harpaz. 2001. Effect of temperature and dietary l-carnitine supplementation reproductive performance of female guppy (*Poecilia reticulata*). *Aquaculture* 199 (2001). 323 – 332. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(01\)00561-0](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(01)00561-0)

Martínez-Espinosa, D., A. Malpica-Sánchez y J. Hernández-Arellano. 2011. Estructura de la producción de la piscicultura de ornato del estado de Morelos y su relación con la diversidad de la oferta. *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente*. 2010. Vol. 10 Núm. 20. 4 – 22. <https://biblat.unam.mx/hevila/Sociedadesruralesproduccionymedioambiente/2010/vol10/no20/1.pdf>

FishBase, 2025. *Poecilia reticulata* was reported from 72 countries/islands <https://www.fishbase.se/summary/Poecilia-reticulata.html> Consultado 22 de noviembre 2025.

Gibson, A.M. B. and B. Hirst. 1955. The effect of salinity and temperature on the pre-adult growth of guppies. *Copeia*. 1955(3): 241 – 243. DOI:10.1139/z54-038

Hernández-López, M., F. Lango-Reynoso, Ma. R. Castañeda-Chávez and J. Montoya. 2024. State of poeciliid fishes in the international market. *Agro Productividad*. 17 (3). 1 – 5. April 2024. DOI:10.32854/agrop.v17i3.2798

Karayücel, I, A. K. Orhan and Sedat Karayücel. 2008. Effect of temperature on some reproductive parameters of gravid females and growth of newly hatched fry in Guppy, *Poecilia reticulata* (Peters, 1860). *Journal of Animal and Veterinary Advances* 7 (10): 1261 – 1266. 2008. <https://www.makhillpublications.co/public/files/published-files/mak-java/2008/10-1261-1266.pdf>

Sasanami, M., John Hustedt, Neal Alexander, Olaf Horstick,, Leigh Bowman, Jeffrey Hii, Pierre Echaubard, Leo Braack & Hans J. Overgaard. Does anthropogenic introduction of guppy fish (*Poecilia reticulata*) impact faunal species diversity and abundance in natural aquatic habitat? A systematic review protocol. *Environmental Evidence* 10 (33). <https://environmentalevidencejournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13750-021-00248-6>

## CAPÍTULO 4

### REMOCIÓN DE CROMO (VI) EN SOLUCIÓN ACUOSA POR LA BIOMASA DEL BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum*)

Data de submissão: 30/10/2025

Data de aceite: 17/11/2025

#### **Alejandra C. Hernández Terán**

Laboratorio de Micología Experimental  
Facultad de Ciencias Químicas  
Universidad Autónoma de  
San Luis Potosí, S.L.P.  
San Luis Potosí, S.L.P., México

#### **Daniela C. Aranda González**

Laboratorio de Micología Experimental  
Facultad de Ciencias Químicas  
Universidad Autónoma de  
San Luis Potosí, S.L.P.  
San Luis Potosí, S.L.P., México

#### **Adriana Rodríguez Pérez**

Universidad Autónoma de San Luis Potosí  
Centro de Investigación y  
Extensión de la Zona Media  
El Balandran  
Calle Escontría No. 230. Barrio 3  
C.P. 79660  
Cd. Fernández, San Luis Potosí  
<https://orcid.org/0000-0002-6570-6579>

#### **Juan Fernando Cárdenas González**

Universidad Autónoma de San Luis Potosí  
Centro de Investigación y  
Extensión de la Zona Media  
El Balandran  
Calle Escontría No. 230. Barrio 3  
C.P. 79660. Cd. Fernández  
San Luis Potosí  
<https://orcid.org/0000-0002-3502-5959>

#### **Víctor Manuel Martínez Juárez**

Área Académica de  
Medicina Veterinaria y Zootecnia  
Instituto de Ciencias Agropecuarias  
Universidad Autónoma del  
Estado de Hidalgo  
Avenida Universidad Km. 1 s/n  
Exhacienda Aquetzalpa, 43600  
Tulancingo de Bravo, Hidalgo, México  
<https://orcid.org/0000-0002-7426-6835>

#### **Ismael Acosta Rodríguez**

Laboratorio de Micología Experimental  
Facultad de Ciencias Químicas  
Universidad Autónoma de  
San Luis Potosí, S.L.P.  
San Luis Potosí, S.L.P., México  
<https://orcid.org/0000-0001-8620-2727>

**RESUMEN:** El objetivo de este trabajo fue determinar la capacidad de remoción de Cr (VI) por la biomasa del bagazo de caña de azúcar, encontrando que 10 g de la biomasa analizada eliminan el 100 % del metal a las 72 horas, pH 1.0, 28°C y 100 rpm, mientras que a mayor temperatura es mayor la remoción, pues se elimina el 100% del metal a las 3 horas a 60°C, y si se aumenta la concentración del metal (200-1000 mg/L), no hay diferencias significativas en la remoción del mismo, aunque es más eficiente a 800 y 1000 ppm, a 60°C. Si se incrementa la concentración del bioadsorbente, aumenta la remoción del metal. Finalmente, 5 g de biomasa, eliminan el 100%

de Cromo (VI) presente en tierra (100 mg/g) y agua (100 mg/L) contaminadas de manera natural, a los 4 y 12 días de incubación a 28°C.

**PALABRAS CLAVE:** cromo (VI); caña de azúcar; biorremediación; aguas residuales.

## REMOVAL OF CHROMIUM (VI) FROM AQUEOUS SOLUTION USING SUGARCANE BAGASSE BIOMASS (*Saccharum officinarum*)

**ABSTRACT:** The objective of this work was to determine the Cr (VI) removal capacity of sugar cane husk biomass, finding that 10 g of the biomass analyzed removes 100 % of the metal after 72 hours, pH 1.0, 28°C and 100 rpm, while at higher temperatures the removal is greater, since 100% of the contaminant is removed after 3 hours at 60°C, and if the metal concentration is increased (200-1000 mg/L), there are no significant differences in the removal of the same, although it is more efficient at 800 and 1000 mg/L, at 60°C. If the concentration of the bioadsorbent is increased, the removal of the metal increases. Finally, 5 g of biomass removal 100% of the metal present in soil (100 mg/g) and water (100 mg/L) contaminated naturally, in 4 and 12 days of incubation to 28°C.

**KEYWORDS:** chromium (VI); sugar cane; bioremediation; wastewater.

### 1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, debido a las actividades mineras, industriales, urbanas y de fundición, uno de los mayores problemas ambientales es la contaminación por metales pesados de las fuentes hídricas alrededor del mundo, pues debido a su toxicidad y efectos potencialmente nocivos sobre los diferentes sistemas ecológicos y el medio ambiente, se consideran un grave problema para los habitantes de las localidades que se abastecen de agua contaminada, y considerando que el aumento de la concentración de estos metales en las diferentes fuentes hídricas, es consecuencia de las diversas actividades antropogénicas, que son el sostén de la vida humana, ocasionando graves problemas económicos, tanto a nivel local como nacional por el incremento de los costos de los tratamientos médicos y disminución de la productividad de los habitantes de las zonas contaminadas (Ida y Thorin, 2021). Lo anterior, conlleva una gran cantidad de problemas en la vida del planeta, ya que se acumulan en las plantas, y son depositados en el suelo y transportados hasta dichas plantas, por ríos contaminados, provocando diferentes efectos como: disminución del crecimiento o amarillamiento de las hojas (clorosis). Además de ser muy peligrosos para la vida humana, donde los efectos pueden ser erupciones en la piel, malestar estomacal y úlceras, problemas respiratorios, debilitamiento del sistema inmunológico, daños en los riñones y el hígado, cáncer de pulmón, afecciones cardíacas, óseas, testiculares y del sistema nervioso central y periférico, e incluso la muerte (Razzak et al., 2022).

Por lo tanto, es de suma importancia encontrar métodos más eficientes para la retención y extracción de metales pesados de lugares contaminados y/o reducir su toxicidad para garantizar la preservación de los ecosistemas y la vida humana. Entre los diferentes métodos existentes para el control de metales pesados se han reportado: precipitación, óxido-reducción, intercambio iónico, filtración, tratamiento electroquímico, tecnologías de membranas y recuperación por evaporación, adsorción y bioadsorción, y algunos metales pesados que se consideran peligrosos son: plomo, cobalto, estaño, hierro, cadmio, mercurio, cromo, vanadio, entre otros (Zaynab et al., 2022).

Por otra parte, el cromo hexavalente, también conocido como cromo (VI) ( $\text{Cr}^{6+}$ ), es la forma tóxica del metal, mientras que algunas formas menos tóxicas de éste se encuentran de forma natural en el medio ambiente (suelo, rocas, polvo, plantas y animales), y se produce principalmente por procesos industriales (Sharma et al., 2022). La inhalación de este metal puede provocar cáncer y efectos no cancerígenos para la salud. Efectos cancerígenos: Respirar cromo (VI) durante un período prolongado aumenta el riesgo de cáncer de pulmón y nasal, mientras que los efectos no cancerígenos, como respirar cromo (VI) a altos niveles a lo largo del tiempo, pueden causar o empeorar ciertas afecciones de salud, entre ellas: Irritación de la nariz, la garganta y los pulmones (secreción nasal, tos), síntomas de alergia (sibilancia, falta de aire), llagas nasales y niveles muy altos en el aire en los lugares de trabajo pueden provocar la perforación de la membrana que separa las fosas nasales. Además, cada vez se reconoce más como un neurotóxico (Sharma et al., 2022).

Por otro lado, se han estudiado diferentes materiales como potenciales biosorbentes para eliminar metales pesados y otros contaminantes. Esos materiales incluyen microorganismos, como bacterias, hongos, algas, desechos orgánicos y material lignocelulósico (Boakye et al., 2022), como: las biomasas de *Mentha piperita* (González Padilla et al., 2024), tabaco (*Nicotiana tabacum*) (Huerta Velázquez et al., 2024), cáscara de sandía (*Citrulus lanatus*) (García Luis, et. al., 2023) y la cascara de toronja (*Citrus Paradise*) (Rodríguez Pérez et al., 2024) para la remoción de cromo (VI) en solución, con resultados altamente satisfactorios. También, se ha reportado la remoción de plomo (II) y mercurio por bagazo de caña de azúcar (Trujillo del Bossque et al., 2021; Sánchez Silva, 2020). Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue analizar la remoción de cromo (VI) en solución acuosa por la biomasa del bagazo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*).

## 2. MATERIAL Y MÉTODOS

### 2.1. BIOADSORBENTE

El bagazo de la caña de azúcar (*S. officinarum*), se obtuvo a partir de caña comercial obtenida de diferentes vendedores ambulantes de la zona centro de la ciudad capital San Luis Potosí, S.L.P., México, en el mes de julio del 2025. Para la obtención de la biomasa, el bagazo de la caña se lavó durante 24 horas con EDTA (10% p/v), el cual sirve como agente quelante con el fin de eliminar metales contaminantes, después se lavó con agua tridesionizada por una semana con cambios de agua cada 12 horas, y se calentó a ebullición por una hora, y posteriormente se secó en estufa a 80°C por 3 días, se molió en licuadora y se guardaron en envases de vidrio ámbar a temperatura ambiente hasta su uso.

### 2.2. MÉTODOS

#### 2.2.1. Soluciones de Cromo (VI)

Se utilizó una solución de 200 mL de cromo (VI) con una concentración de 100 mg/L, obtenida por dilución de una solución patrón de 1.0 g/L, preparada en agua tridesionizada, a partir de dicromato de potasio. De acuerdo con el pH empleado para cada prueba, éste se modificó con soluciones de NaOH y/o  $H_2SO_4$ , antes de adicionarla a la biomasa.

#### 2.2.2. Determinación de remoción de Cromo (VI) en distintas condiciones

De la biomasa a analizar, se pesaron 5 g y se añadieron a matraces Erlenmeyer de 500 mL y posteriormente se mezclaron con 200 mL de una solución del metal [100 mg/L de cromo (VI)], se incubaron a una temperatura de 28°C con agitación constante (100 rpm) bajo diferentes condiciones de pH (1.0, 2.0, 3.0 y 4.0), temperatura (28°C, 40°C, 50°C y 60°C), concentración de cromo (VI) (200 mg/L, 400 mg/L, 600 mg/L, 800 mg/L y 1000 mg/L) y diferentes concentraciones de biomasa (1 g, 5 g y 10 g), y de la misma manera se determinó la remoción del metal a partir de agua y tierra contaminadas.

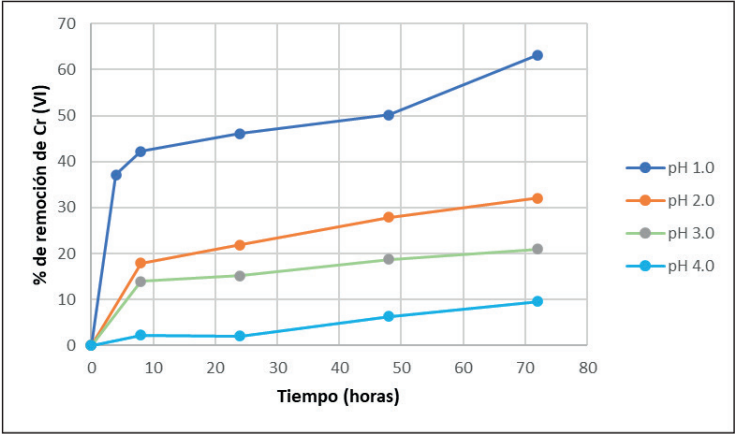
Posteriormente, a diferentes tiempos de incubación, se tomaron alícuotas de 5 mL, removiendo la biomasa por centrifugación a 3 000 rpm (10 min) y al sobrenadante se le determinó la concentración de cromo (VI) en solución, utilizando el método colorimétrico de la difenilcarbazida, que determina la cantidad del metal presente en solución por medio de la producción de una coloración rosa violeta, las muestras se leyeron por duplicado en un espectrofotómetro a una longitud de onda de 540 nm (Greenberg et al., 1992). Todos los experimentos se realizaron mínimo 2 veces y por duplicado.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. EFECTO DEL TIEMPO DE INCUBACIÓN Y PH

El tiempo óptimo para la eliminación de 100 mg/L del metal fue de 72 horas, pH 1.0, con 5 g/100 mL del bioadsorbente a 28°C y 100 rpm (Figura 1).

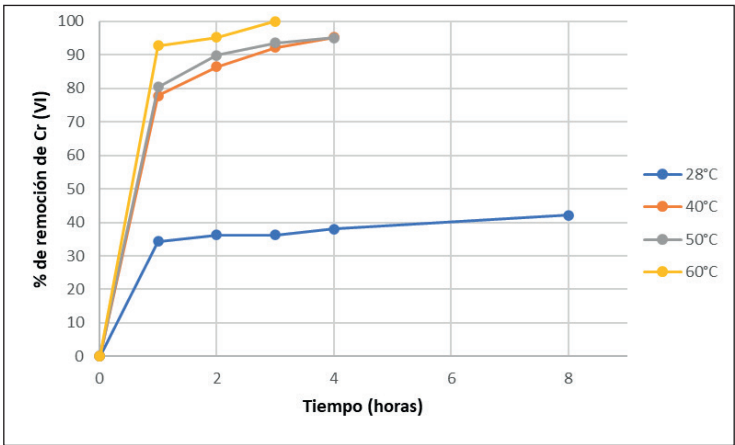
Figura 1. Efecto del tiempo de incubación y pH sobre la remoción de cromo (VI) en solución. 100 mg/L Cr (VI), 100 rpm, 28°C, 5 g biomasa.



#### 3.2. EFECTO DE LA TEMPERATURA DE INCUBACIÓN

En relación con la temperatura, se observó que a mayor temperatura es mayor la remoción, pues se elimina el 100% del contaminante a las 3 horas a 50°C y 60°C, mientras que a 28°C, la mayor remoción se observa a las 72 horas. (Figura 2)

Figura 2. Efecto de la temperatura de incubación sobre la remoción de cromo (VI). 100 mg/L Cr (VI). pH 1.0. 100 rpm. 10 g de biomasa. 5 h.



### 3.3. EFECTO DE LA CONCENTRACIÓN INICIAL DEL METAL SOBRE LA ADSORCIÓN DEL MISMO

Con respecto al efecto de diferentes concentraciones del metal en solución, sobre la remoción del mismo, a pH 1.0 con 5 g de biomasa, a 60°C y 100 rpm, se observó que si se aumenta la concentración del metal (200-1000 mg/L), no hay diferencias significativas en la remoción del mismo, aunque se observa una eliminación total a la hora de incubación, con 800 y 1000 mg/L, a 60°C, mientras que con 200-600 mg/L, es mayor el tiempo de incubación (3 horas) (Figura 3). Por otra parte, el aumentar las concentraciones de cromo en la disolución (Figura 3) no se observó un cambio significativo en la remoción del contaminante, y el ajuste a las condiciones químicas adecuadas permitió que la bioacumulación se llevara a cabo en un 100% sin importar la cantidad presente del contaminante en el medio acuoso, sin embargo, se observó que el tiempo de remoción fue menor a altas concentraciones. El aumento de la concentración permite que las biomasas tengan una mayor capacidad de absorber y oxidar del cromo (VI) a cromo (III) (por la formación de un color verde y un precipitado blanco) (Figura 4), ambos mecanismos actúan de forma concomitante para la purificación del medio.

Figura 3.- Efecto de la concentración de cromo (VI) sobre la remoción del mismo. 5 g de biomasa. 100 rpm, pH 1.0. 60°C.

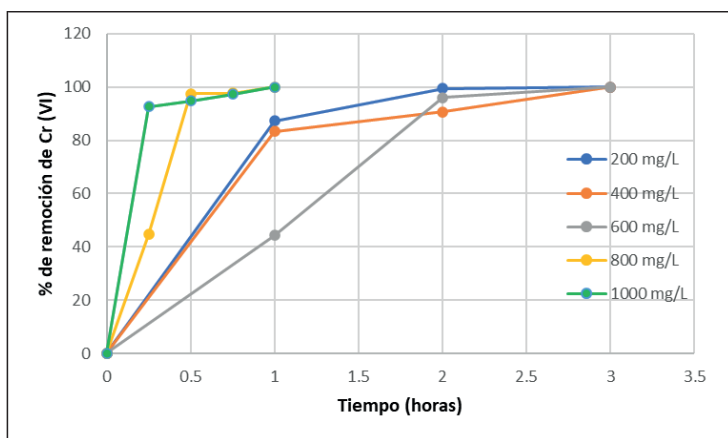
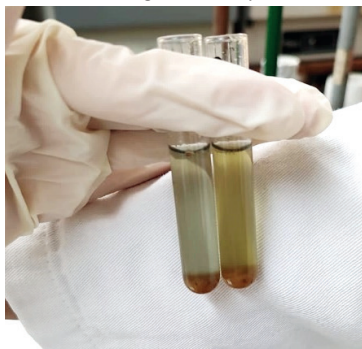


Figura 4. Comparación de dos muestras de solución de cromo con biomasa:

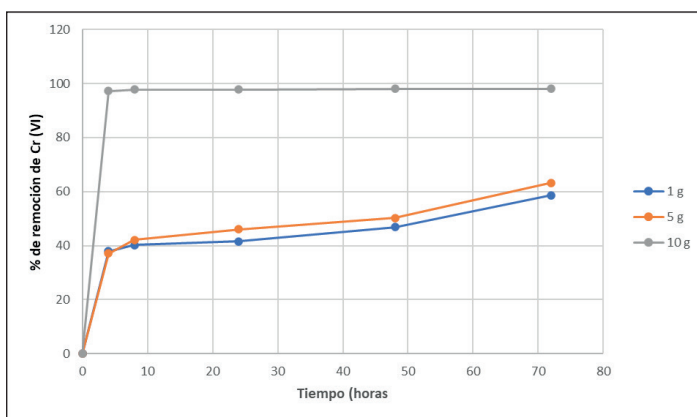


- a) remoción de cromo (VI) y oxidación del elemento a cromo (III), presencia de coloración verde.
- b) Remoción del cromo (VI), solución de coloración amarilla.

### 3.4. EFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DEL BIOADSORBENTE

En la figura 5, se muestra el efecto de la concentración inicial de la biomasa sobre la remoción del metal, encontrando que, si se incrementa la concentración del bioadsorbente, aumenta la remoción del metal, pues con 10 g de biomasa, se observa una eliminación total del metal a las 72 horas, mientras que con 5 g y 1 g de biomasa se obtiene un 65% y 60% de remoción en el mismo tiempo de incubación.

Figura 5.- Efecto de la concentración del bioadsorbente sobre la remoción de cromo (VI). 100 rpm, pH 1.0. 28°C.



### 3.5. REMOCIÓN DE CROMO (VI) A PARTIR DE RESIDUOS INDUSTRIALES CONTAMINADOS

Se realizó un ensayo de biorremediación de cromo (VI), a partir de agua y suelo contaminados con 100 mg/g de tierra y 100 mg/L de agua contaminada (ambos ajustados), a partir de muestras obtenidas de una tenería de Celaya, Gto, México, utilizando 10 g de la biomasa a analizar, observando que la biomasa elimina el 100% de cromo (VI) presente en tierra y agua contaminadas de manera natural, a los 4 y 12 días de incubación a 28°C (Figuras 6 y 7).

Figure 6. Remoción de cromo (VI) a partir de residuos industriales. 5 g de biomasa. 28°C, 100 rpm, 190 mL de agua contaminada (100 mg Cr (VI)/L, ajustado, pH 6.8).

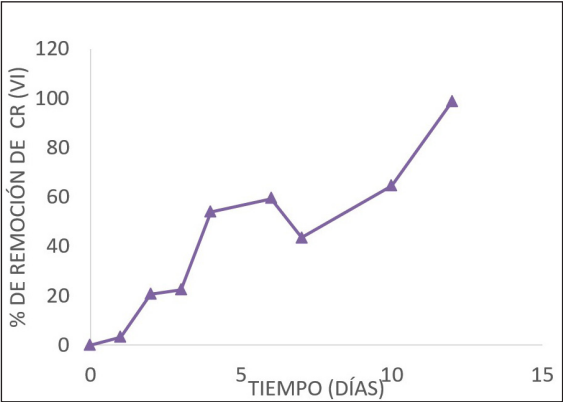
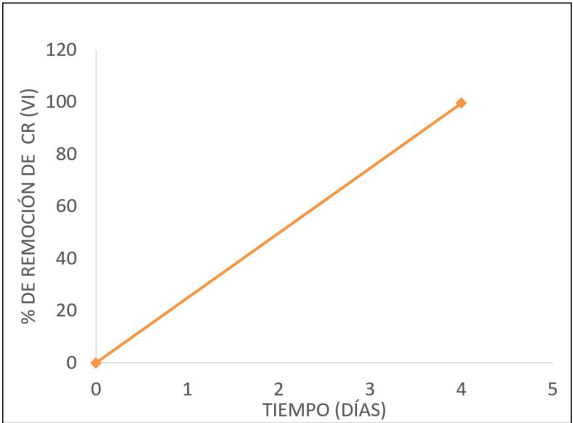


Figure 7.- Remoción de cromo (VI) a partir de residuos industriales. 5 g de biomasa. 28°C, 100 rpm, 180 mL de agua tridesionizada, 10 g de tierra contaminada (100 mg Cr (VI)/g suelo, ajustado, pH 7.2).



Finalmente, en la tabla 1, se muestran los porcentajes de adsorción de Cromo (VI) utilizando diferentes bioadsorbentes.

Tabla 1. Comparación de los porcentajes de remoción de Cromo (VI) con otros bioadsorbentes.

| Adsorbente          | pH      | Capacidad de adsorción (mg/L) | Referencia                   |
|---------------------|---------|-------------------------------|------------------------------|
| Avena sativa        | 1.0     | 100                           | Pacheco et al., 2017         |
| Dioscorea rotundata | 2.0     | 325.88                        | Villabona et al., 2022       |
| Emblica Officinalis | 2.0-3.0 | 416                           | Kushwah & Chakra-Borty, 2021 |
| Oriza sativa L.     | 5.2     | 94.3                          | Khalil et al., 2021          |
| Allium cepa L.      | 1.0     | 49                            | Prokopov et al., 2021        |
| Oriza sativa L.     | 1.0     | 50                            | Rodríguez-Pérez et al. 2022  |
| Heinsia crinita     | 2.0     | 49.45                         | Dawodu et al., 2020          |

|                              |     |     |                               |
|------------------------------|-----|-----|-------------------------------|
| <i>Pisum sativum</i>         | 2.0 | 5   | Kebede et al., 2022           |
| <i>Eichhornia crasipes</i>   | 1.5 | 2.5 | Ardila-Arias et al., 2022     |
| <i>Nicotiana tabacum</i>     | 2.0 | 72  | Huerta Velázquez et al., 2024 |
| <i>Saccharum officinarum</i> | 1.0 | 100 | Este trabajo                  |

## 4. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en este trabajo, sugieren la potencial aplicabilidad de esta biomasa para la remoción de éste y otros metales pesados de aguas residuales. Sin embargo, la capacidad de remoción puede verse afectada por altas concentraciones de los mismos contaminantes, disminuyendo la capacidad de remoción de dichas biomásas, aunque, actualmente, el uso de biomásas muertas, es una gran alternativa para tratar de eliminar los metales pesados de los diferentes sitios contaminados. Actualmente, el uso de biomásas naturales vivas y/o muertas, ésta es una gran alternativa para tratar de eliminarlos, debido a su bajo costo, gran capacidad de adsorción, fácil accesibilidad y su producción en grandes cantidades.

También, se ha reportado, que la biomasa del bagazo de *S. officinarum* puede acumular eficientemente diferentes metales pesados (Trujillo del Bosque et al., 2021; Sánchez Silva, 2020), pero, hay pocos reportes relacionados con la remoción de contaminantes ambientales por esta biomasa, por lo cual este trabajo es relevante para estudios posteriores para eliminar y mejorar la capacidad de remoción de esta biomasa natural.

## 5. CONCLUSIONES

La biomasa del bagazo de *S. officinarum*, mostró una buena capacidad de remoción del metal analizado en las condiciones descritas, lo cual sugiere su potencial aplicación para la biorremediación de sitios contaminados con este metal.

## REFERENCES

Ardila-Arias A.N., Arriola-Villaseñor E., Álvarez-González W., Hernández-Maldonado J.A. & Barrera-Zapata R. 2022. Aprovechamiento de residuos de *Eichhornia crasipes* para la remoción de Cr (VI) en Aguas simuladas. Revista Politécnica.18(35): 71-83. DOI: <https://doi.org/10.33571/rpolitec.v18n35a5>

Boakye P., Ohemeng-Boahen G., Darkwah L., Sokama-Neuyam Y.A., Appiah-Effah E., Oduro-Kwarteng S., Osei B.A., Asilevi P.J. & Woo S.H. 2022. Waste Biomass and Biomaterials Adsorbents for Wastewater Treatment. Green Energy and Environmental Technology. 2022(0): 1-25. <https://doi.org/10.5772/geet.05>

Dawodu F.A., Akpan B.M. & Akpomie K.G. 2020. Sequestered capture and desorption of hexavalent chromium from solution and textile wastewater onto low cost *Heinsia crinita* seed coat biomass. Applied Water Science. 10(1):1-15. <https://doi.org/10.1007/s13201-019-1114-6>

García Luis, M.F., Ramos Arteaga, A., Sánchez Lucio, L.S., Rodríguez Pérez, A., Cárdenas González, J.F. & Acosta Rodríguez, I. 2023. Remoción de cromo (VI) en solución acuosa por la biomasa de la cáscara de sandía (*Citrulus lanatus*). Sociedad Química de México. 255-259. ISSN: 2448-914X. Versión digital. [www.sqm.org.mx](http://www.sqm.org.mx)

González Padilla, M.J., Martínez Rodríguez, C.M., Contreras Briones, D., Navarro Castillo, J.F. & Acosta Rodríguez, I. 2024. Removal of chromium (VI) in solution by the *Mentha piperita* biomass. Journal of Multidisciplinary and Environmental Science and Technology. (JMEST). Vol. 11, No. 11. pp. 16522-16527. January 31. ISSN: 2458-9403. JMESTN42354307. [www.jmest.org](http://www.jmest.org)

Greenberg A.E., Clesceri L.S. & Eaton A.D. 1992. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, Washington, DC, USA, 18th edition. 3.58-3.60.

Gupta B., Mishra A., Singh R. & Thakur I.S. 2021. Fabrication of calcite based biocomposites for catalytic removal of heavy metals from electroplating industrial effluent. Environmental Technology Innovation. 21(101278). 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.101278>

Huerta-Velázquez, C.C., Cruz-García, K.B. & Acosta-Rodríguez, I. 2024. Usefulness of the Biomass of Tobacco (*Nicotiana tabacum*) for The Elimination of Chromium (VI) from Polluted Waters. Universal Journal of Green Chemistry. Vol. 2, No. 1. pp. 1-10. 21/02/2024. DOI: <https://doi.org/10.37256/ujgc.2120242220>. <https://ojs.wiserpub.com/index.php/UJGC/>

Ida S. & Eva, T. 2021. Removal of Heavy Metals during Primary Treatment of Municipal Wastewater and Possibilities of Enhanced Removal: A Review. Water. 13 (1121): 1-26. <https://doi.org/10.3390/w13081121>

Kebede A., Kedir K., Melak F. & Girma-Asere T. 2022. Removal of Cr(VI) from Aqueous Solutions Using Biowastes: Tella Residue and Pea (*Pisum sativum*) Seed Shell. Hindawi Scientific World Journal. Vol. 2022, Article ID 7554133, 12 pages <https://doi.org/10.1155/2022/7554133>

Khalil U., Shakoor M.B., Ali, S., Ahmad S.R., Rizwan M., Alsahli A.A. & Alyemeni M.N. 2021. Selective Removal of Hexavalent Chromium from Wastewater by Rice Husk: Kinetic, Isotherm and Spectroscopic Investigation. Water 13(263): 1-12. <https://doi.org/10.3390/w13030263>

Kushwaha P. & Chakraborty, S. 2021. Removal of Cr(VI) from Synthetic Wastewater by Low Cost Adsorbent Developed from Amla Wood Sawdust (*Embllica officinalis*). International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT). 10(02): 246-248. <http://www.ijert.org>

Pacheco-Castillo N.C., Cárdenas-González J.F., Moctezuma-Zárate M.G., Martínez-Juárez V.M., Rodríguez-Pérez A. & Acosta Rodríguez I. 2017. Removal of chromium (VI) in aqueous solution by oat biomass (*Avena sativa*). Mexican Journal of Biotechnology. 2(2): 196-205. <https://doi.org/10.29267/mxjb.2017.2.2.196>

Prokopov T., Nikolova M., Taneva D. & Petkova N. 2022. Removal of Chromium (VI) from aqueous solution by extracted onion processing waste. Studii și Cercetări Științifice Chimie și Inginerie Chimică, Biotehnologii, Industrie Alimentară. 22(4): 399-410. ISSN 1582-540X

Razzak S.A., Faruque M.O., Alsheikh Z., Alsheikhmohamad L., Alkuroud D., Alfayez A., Zakir-Hossain S.M., Mohammad M. & Hossain M.M. 2022. A comprehensive review on conventional and biological-driven heavy metals removal from industrial wastewater. Environmental Advances. 7(1001689): 1-26. <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2022.100168>

Rodríguez-Pérez A., Pacheco-Castillo N., Tovar-Oviedo J., Martínez-Juárez V.M., Acosta-Rodríguez I., Muñoz-Morales A. & Cárdenas-González J.F. 2022. Remoción de Cromo (VI) en solución acuosa

por la biomasa modificada de la cáscara de arroz (*Oriza sativa* L.). Tecnología y Ciencias del Agua. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 13(3): 478-502. DOI: 10.24850/j-tyca-2022-03-10.

Sanchez-Silva, J.M., González-Estrada, R.R., Blancas-Benitez, F.J. & Fonseca-Cantabrana, A. 2020. Utilización de subproductos agroindustriales para la bioadsorción de metales pesados. TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas, 23: 1-18, <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2020.0.261>

Sharma P., Pratap-Singh S., Kishor-Parakh S. & Wah-Tong Y. 2022. Health hazards of hexavalent chromium (Cr (VI)) and its microbial reduction. Bioengineered, 13(3): 4923-4938. <https://doi.org/10.1080/21655979.2022.2037273>

Trujillo del Bosque, A., Dopico Ramírez, D, León Fernández, V. & Díaz López, C. 2021. Remoción de PB (II) usando meollo del bagazo de la caña de azúcar como biosorbente. Revista Cubana de Química. 1-15.

Villabona-Ortiz A., González-Delgado Á. & Tejada-Tovar C. 2022. Equilibrium, Kinetics and Thermodynamics of Chromium (VI) Adsorption on Inert Biomasses of *Dioscorea rotundata* and *Elaeis guineensis*. Water. 14(844): 1-15. <https://doi.org/10.3390/w14060844>

Zaynab M., Al-Yahyai R., Ameen A., Sharif Y., Ali L., Fatima M., Ali-Khan K. & Li S. 2022. Health and environmental effects of heavy metals. Journal of King Saud University–Science. 34(101653): 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2021.101653>

## CAPÍTULO 5

### ELIMINACIÓN DE CROMO (VI) DE AGUAS CONTAMINADAS POR LA BIOMASA DE LA CÁSCARA DE CACAHUATE (*Arachys hypogaea*)

Data de submissão: 30/10/2025

Data de aceite: 17/11/2025

**Dalila del Socorro Contreras Briones**

Facultad de Ciencias Químicas

Universidad Autónoma de

San Luis Potosí, S.L.P.

San Luis Potosí, S.L.P., México

<https://orcid.org/0000-0003-3260-5947>

**Adriana Rodríguez Pérez**

Universidad Autónoma de San Luis Potosí

Centro de Investigación y Extensión de la

Zona Media. El Balandran

Calle Escontría No. 230

Barrio 3, C.P. 79660

Cd. Fernández, San Luis Potosí

<https://orcid.org/0000-0002-6570-6579>

**Claudia M. Martínez Rodríguez**

Laboratorio de Micología Experimental

Facultad de Ciencias Químicas

Universidad Autónoma de

San Luis Potosí, S.L.P.

San Luis Potosí, S.L.P., México

**Ismael Acosta Rodríguez**

Laboratorio de Micología Experimental

Facultad de Ciencias Químicas

Universidad Autónoma de

San Luis Potosí, S.L.P.

San Luis Potosí, S.L.P., México

<https://orcid.org/0000-0001-8620-2727>

**Juan Fernando Cárdenas González**

Universidad Autónoma de San Luis Potosí

Centro de Investigación y Extensión de la

Zona Media. El Balandran

Calle Escontría No. 230

Barrio 3, C.P. 79660

Cd. Fernández, San Luis Potosí

<https://orcid.org/0000-0002-3502-5959>

**Víctor Manuel Martínez Juárez**

Área Académica de Medicina

Veterinaria y Zootecnia

Instituto de Ciencias Agropecuarias

Universidad Autónoma del

Estado de Hidalgo

Avenida Universidad Km. 1 s/n

Exhacienda Aquetzalpa, 43600

Tulancingo de Bravo, Hidalgo, México

Laboratorio de Micología Experimental

<https://orcid.org/0000-0002-7426-6835>

**RESUMEN:** La contaminación de los diferentes nichos naturales representa un riesgo para los seres humanos y cualquier tipo de organismo vivo del planeta. Los metales pesados como el Cromo (VI), son los contaminantes más frecuentes, aumentando su peligrosidad debido a que no son biodegradables. Además, otro problema de contaminación se debe a la gran cantidad de residuos agroindustriales, la mayoría de los cuales son desechados inapropiadamente, sin tomar en cuenta

el potencial aplicativo de éstos. Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue analizar la capacidad de remoción de cromo (VI) por la biomasa de la cáscara de cacahuete, obteniendo una remoción total del metal (100 mg/L) a las 5 horas de incubación, pH 1.0, 28°C, 5 g de biomasa y 100 rpm. Además, a mayor temperatura de incubación, aumenta la eliminación de éste, pues a 60°C, se remueve el 100% del metal a los 75 minutos. Además, la concentración del metal no influye de manera significativa en su remoción, tanto a 28°C como a 60°C, aunque a 200 mg/L, se observan los mejores porcentajes de remoción. También, si se incrementa la concentración del bioadsorbente, también aumenta la remoción del metal, pues con 10 g de la biomasa se observa el 100% de remoción a las 2 horas de incubación. Finalmente, con 10 g de biomasa, se eliminan el 89% y el 93% del metal presente en tierra (100 mg/g) y agua (100 mg/L) contaminados de manera natural. **PALABRAS CLAVE:** aplicación; biomasa naturales; cacahuete; remoción; cromo (VI); aguas contaminadas.

## REMOVAL OF CHROMIUM (VI) FROM CONTAMINATED WATER USING PEANUT SHELL BIOMASS (*Arachis hypogaea*)

**ABSTRACT:** The contamination of the different natural niches represents a risk for human beings and any type of alive organism on the planet. Heavy metals such as Chromium (VI) are the most frequent contaminants, and increasing their danger because they are not biodegradable. In addition, another contamination problem is due to the large amount of agro-industrial waste, most of which is disposed of inappropriately, without taking into account their application potential. Therefore, the objective of this work was to analyze the removal capacity of chromium (VI) by the biomass of the peanut shell, obtaining a total removal of the metal (100 mg/L) after 5 hours of incubation, pH 1.0, 28°C, 5 grams of biomass and 100 rpm. In addition, the higher the incubation temperature, the elimination of this increases, since at 60°C, 100% of the metal is removed after 75 minutes. In addition, the concentration of the metal does not significantly influence its removal, both at 28°C and at 60°C, although at 200 mg/L, the best removal percentages are observed. Also, if the concentration of the bioadsorbent is increased, the metal removal also increases, since with 10 g of biomass, 100% removal is observed after 2 hours of incubation. Finally, with 10 g of biomass, 89% and 93%, respectively, of the metal present in naturally contaminated soil (100 mg/g) and water (100 mg/L) are eliminated.

**KEYWORDS:** application; natural biomasses; peanut shell; removal; chromium (VI); wastewaters.

## 1. INTRODUCCIÓN

El desproporcionado crecimiento industrial y demográfico en la mayoría de los países del mundo, ha llevado a la contaminación de recursos hídricos superficiales y subterráneos a través de la acumulación de varios contaminantes en diferentes formas químicas. Debido que gran parte de la población consume agua subterránea sin tratar en los países en desarrollo y subdesarrollados, por lo que la contaminación del agua

tanto superficial como subterránea representa una amenaza grave y directa para sus consumidores (Acharyya y cols., 2023), siendo los metales pesados como el Cromo (VI), los contaminantes más frecuentes, aumentando su peligrosidad debido a que no son biodegradables. El cromo es un contaminante de los diferentes nichos acuáticos, tiene orígenes geogénicos (manipulación química de minerales que contienen este metal), y antropogénicos (galvanoplastia, producción de colorantes y tintes, curtiduría, etc.), y presenta un desafío para las partes interesadas e involucradas en la gestión de los recursos de aguas subterráneas. El cromo tiene dos estados de oxidación: cromo trivalente (Cr III) y hexavalente (Cr VI), siendo este último el más tóxico debido a su solubilidad en agua y alta reactividad, particularmente a pH ácido y, por lo tanto, puede entrar en las células. Se ha reportado que puede afectar el ADN causando varios tipos de cáncer, mientras que el Cr (III) es menos tóxico para el medio ambiente (Tello-Galarreta y cols., 2023). Por lo que actualmente, se han realizado diferentes investigaciones para la implementación de diferentes métodos eficientes, económicos y beneficiosos para la eliminación de éste y otros metales pesados de las aguas contaminadas.

Por otra parte, la fitorremediación es una tecnología natural que consiste en el uso de plantas para estabilizar, transferir, remover o destruir los contaminantes que pueden ser orgánicos e inorgánicos, y actualmente esta considerada como una gran alternativa para la eliminación de dichos contaminantes. No obstante la efectividad de la fitorremediación depende de numerosos factores tanto de las plantas como del suelo, como el pH y la humedad entre otras, la capacidad de los organismos vivos para captar, acumular, secuestrar, translocar y desintoxicar los metales (Guerra Sierra et al., 2021). Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue determinar la capacidad de remoción de cromo (VI) (VI) por la biomasa de la cáscara de cacahuete (*Arachis hypogaea*), la mayoría de la cual se desecha, pero se puede utilizar como fertilizante natural, para mantener la humedad de suelo, como un sistema de drenaje para las macetas, y como biomasa para la remoción de metales pesados de sitios contaminados (Sánchez-Silva et al., 2020).

## 2. MATERIAL Y MÉTODOS

### 2.1. OBTENCIÓN DE LA BIOMASA

La biomasa se obtuvo a partir de la cáscara de cacahuete (*A. hypogaea*), adquirido en el mercado República de la ciudad capital de San Luis Potosí, S.L.P., en mes de noviembre de 2021. Para la obtención de la biomasa, la cáscara se lavó 24 horas con EDTA al 10% (p/v), y posteriormente, 72 horas con agua tridesionizada en agitación

constante, con cambios del agua cada 12 horas. Posteriormente, se hirvió 1 hora, para eliminar los restos de materia orgánica, se secó a 80°C, durante 72 horas en un horno bacteriológico, se molió en licuadora hasta pulverización y se guardó en frascos ámbar hasta su uso.

## 2.2. MÉTODOS

### 2.2.1. Estudios de Remoción de Cromo (VI)

Se trabajó con 200 mL de una solución de 100 mg/L de cromo (VI) obtenida por dilución de una solución patrón de 1 g/L preparada en agua tridesionizada a partir de K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>. Se ajustó el pH de la dilución a analizar con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1 M y/o NaOH 1 M, antes de adicionarla a la biomasa. Para los estudios de biosorción, se añadieron 200 mL de una solución de cromo (VI) (100 mg/L) a matraces Erlenmeyer de 500 mL, que contenían 5 g de la biomasa de cacahuete, y se incubaron a 28°C a 100 rpm. Se tomaron muestras a diferentes tiempos, removiendo la biomasa por centrifugación (3000 rpm/10 minutos) y al sobrenadante se le analizó la concentración del ion metálico por el método colorimétrico de la Difenilcarbazida, con la cual se forma un complejo morado (Greenberg et al., 1992). Todos los experimentos se realizaron 3 veces y por duplicado.

## 3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 3.1. EFECTO DEL TIEMPO DE INCUBACIÓN Y PH

En este trabajo, se encontró que 5 g de la biomasa analizada, eliminan 100 mg/L del metal a las 5 horas de incubación, pH 1.0, 28°C y 100 rpm (Figura 1), si se aumenta la temperatura de incubación, también aumenta la eliminación del metal, pues a 60°C, se remueve el 100% del metal a los 75 minutos (Figura 2). Además, la concentración del metal no influye de manera significativa en su remoción, tanto a 28°C como a 60°C, aunque a 200 mg/L, se observan los mejores porcentajes de remoción (Figura 3). Finalmente, con 10 g de biomasa, se eliminan el 89% y el 93% del metal presente en tierra (100 mg/g) y agua (100 mg/L) contaminadas de manera natural (Figura 4).

Figura 1. Efecto del pH y tiempo de incubación sobre la remoción de 100 mg/L de Cromo (VI). 5 g de biomasa. 28°C.

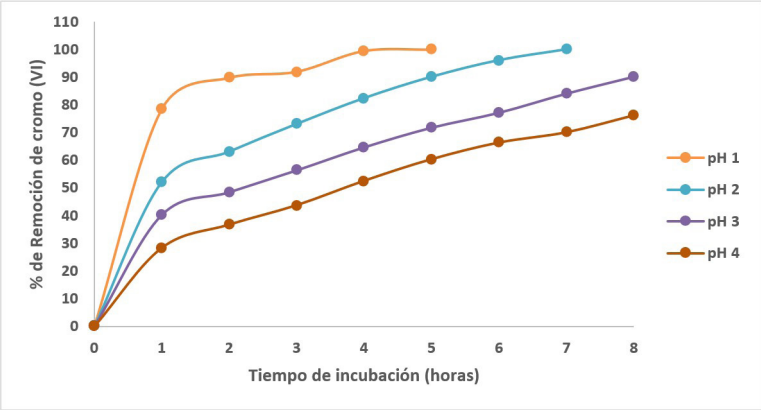


Figura 2. Efecto de temperatura sobre la remoción de 100 mg/L de Cromo (VI) por 5 g de biomasa. 100 rpm. pH=1.0.

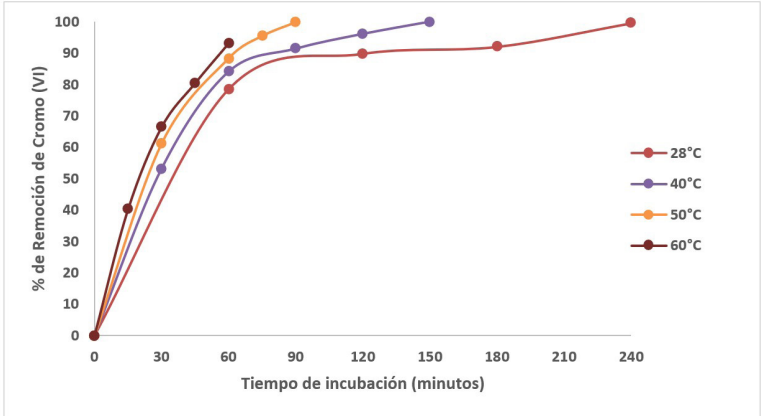


Figura 3. Efecto de la concentración de cromo (VI) sobre la remoción de éste a 60°C. 5 g de biomasa. 100 rpm. pH=1.0.

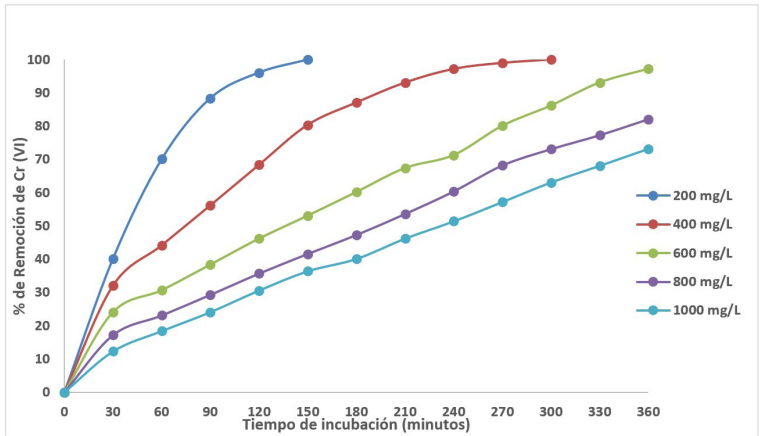
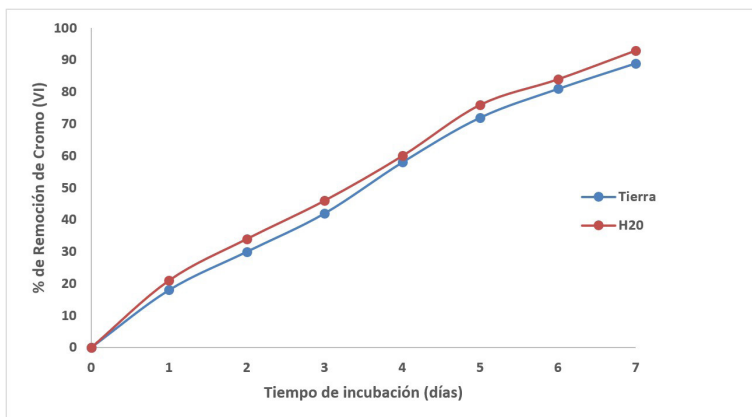


Figura 4. Biorremediación de tierra y agua contaminados con 100 mg/g y 100 mg/L de cromo (VI) (pH=8.6), por 10 g de biomasa. 100 rpm. 28°C.



Los datos obtenidos en este trabajo coinciden con algunos reportes de la literatura donde se utilizan diferentes biomazas naturales (bacterias, hongos y levaduras aislados de sitios contaminados con el mismo metal), y otras biomazas obtenidas de los desechos de diferentes frutos y plantas, entre los que se encuentran: la remoción de diferentes metales pesados (cobre y níquel) y otros contaminantes por la misma biomasa de cacahuete (Tapia et al., 2018; Mazzola et. al., 2020), la eliminación de ibuprofeno con biofiltros de cáscara de maní de aguas residuales sintéticas (Jiménez Zapata, 2020), y la remoción de diferentes metales pesados por diferentes cáscaras naturales (De la Cruz Vilchez y Quiroz Alcocer, 2020).

#### 4. CONCLUSIONES

Recientemente, se ha estudiado la capacidad de remoción de diferentes metales pesados de sitios contaminados por materiales de bajo costo, con resultados prometedores. Entre estos adsorbentes se encuentran microorganismos muertos, minerales arcillosos, desechos agrícolas, desechos industriales y otros materiales. En este trabajo, la capacidad de eliminación de Cromo (VI) por la biomasa de la cáscara de cacahuete (*A. hypogaea*), en solución acuosa con las siguientes conclusiones:

1. La biomasa analizada remueve 100 mg/L de cromo (VI) a las 5 horas de incubación, con 5 g de biomasa, pH 1.0 y 100 rpm.
2. A mayor temperatura de incubación, es mayor la eficiencia de remoción del metal.
3. La concentración del metal no influye de manera significativa en la remoción de éste.

4. En los ensayos de biorremediación, se encontró que la biomasa analizada (10 g) remueve eficientemente el metal a partir de tierra y aguas contaminadas con Cromo (VI), por lo tanto, su aplicación es viable para el tratamiento de ésta, además, la biomasa utilizada es natural, de obtención y manejo fácil y costo accesible.

## REFERENCIAS

- [1] Acharyya, S., Das, A., y Thaker, T.P. Remediation processes of hexavalent chromium from groundwater: a short review. *AQUA – Water Infrastructure, Ecosystems and Society*, 72(5), 648-662. 2023. doi: 10.2166/aqua.2023.123
- [2] Tello-Galarreta, F.A., Durand-Paz, J.H., Rojas-Villacorta, W., Cabanillas-Chirinos, L., De La Cruz-Noriega, M., Nazario-Naveda, R., Benites, S.M., y Rojas-Flores, S. In Vitro Effect of Molasses Concentration, pH, and Time on Chromium Removal by *Trichoderma* spp. from the Effluents of a Peruvian Tannery. *Processes* 11(1557), 1-11. 2023. <https://doi.org/10.3390/pr11051557>
- [3] Guerra Sierra, B.E.; Muñoz Guerrero, J.; Sokolski, S. Phytoremediation of Heavy Metals in Tropical Soils an Overview. *Sustainability*, 13, 2574. 2021. <https://doi.org/10.3390/su13052574>
- [4] Sánchez.Silva, J.M., González-Estrada, R.R., Blancas-Benitez, F.J., y Fonseca.Cantabrana, A. Utilización de subproductos agroindustriales para la bioadsorción de metales pesados. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 23: 1-18, 2020. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2020.0.261>
- [5] Greenberg, A.E., Clesceri, L.S., y A.D. Eaton, A.D. (1993). Standard methods for the examination of water and wastewater. 18a ed. American Public Health Association, Washington, D.C. 3, pp. 58-3.60, 187-190.
- [6] Tapia, P., Pavez, O., Garrido, N. y Sepúlveda, B. Remoción de iones cobre y níquel con cáscara de maní. *Holos*, 34(3): 57-69. 2018. DOI: 10.15628/holos.2018.706
- [7] Mazzola, C., Quaranta, N. y Blanes, O. Biosorción de Cu(II) sobre cáscaras de maní y maltas residuales. Incorporación de la biomasa contaminada en matrices cerámicas. V Jornadas y Eventos Académicos de UTN. 1-6. 2020. <https://doi.org/10.33414/ajea5.69.2020>
- [8] Jiménez Zapata, N.M. Evaluación de la eliminación de ibuprofeno en biofiltros de cáscara de maní alimentados con aguas residuales sintéticas. Trabajo previo a la obtención del Título de Ingeniera Ambiental y Manejo de Riesgos Naturales. Carrera de Ingeniera Ambiental y Manejo de Riesgos Naturales. Facultad de Ciencias de la Ingeniería e Industria. Universidad UTE. Quito, Ecuador. 2020. <https://repositorio.ute.edu.ec>
- [9] De la Cruz Vilchez, J.R. y Quiroz Alcocer, H.M. Revisión sistemática y meta-análisis sobre la eficiencia de cáscaras naturales en la remoción de Pb, Cd, Cu y Cr en aguas contaminadas. Tesis Para obtener el Título Profesional de Ingeniera Ambiental. Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Universidad Cesar Vallejo. Lima Perú. 2020. <https://repositorio.uvcr.edu.pe>

# CAPÍTULO 6

## EL PAPEL ESTRATEGICO DEL COORDINADOR EN LOS ENSAYOS CLÍNICOS

Data de submissão: 05/11/2025

Data de aceite: 18/11/2025

### Pilar de la Torre Flórez

Complejo Asistencial Universitario de León  
Servicio de Oncología Médica  
Bióloga, Coordinadora de Ensayos Clínicos  
León. Castilla y León. España  
<https://orcid.org/0009-0006-7745-2197>

**RESUMEN:** El coordinador de ensayos clínicos (Clinical Research Coordinator, CRC) se ha consolidado como una figura esencial en la investigación biomédica moderna. Su labor garantiza la calidad, la integridad y la eficiencia de los datos generados, actuando como enlace operativo entre los investigadores, los patrocinadores, los monitores y los participantes. A medida que los ensayos clínicos se han vuelto más complejos, multicéntricos y regulados, el papel del CRC ha adquirido una relevancia estratégica que trasciende la mera gestión administrativa, convirtiéndose en un eje de comunicación, ética y cumplimiento normativo (ICH-GCP). Este capítulo aborda la evolución, competencias y funciones del coordinador de ensayos clínicos, así como los principales desafíos que enfrenta en un entorno cada vez más digitalizado y global. Se analizan

las habilidades técnicas y transversales que requiere el desempeño de su función, desde la comprensión metodológica de los protocolos hasta la gestión de datos y la atención a los participantes. Asimismo, se destacan los aspectos éticos, regulatorios y de calidad que sustentan la práctica profesional del coordinador, quien contribuye decisivamente al desarrollo seguro y confiable de nuevos tratamientos y tecnologías en salud. Finalmente, se reflexiona sobre la necesidad de una mayor profesionalización y reconocimiento de esta figura dentro del equipo de investigación, promoviendo programas de formación especializados y políticas institucionales que fortalezcan su papel en la investigación clínica contemporánea. El coordinador de ensayos clínicos emerge, así, como un componente indispensable para la excelencia científica y el avance de la biociencia y la biotecnología.

**PALABRAS CLAVE:** ensayos clínicos; coordinador de investigación clínica (CRC); buenas prácticas clínicas (BPC); gestión de estudios clínicos; profesionalización en la investigación.

### THE STRATEGIC ROLE OF THE COORDINATOR IN CLINICAL TRIALS

**ABSTRACT:** The Clinical Research Coordinator (CRC) has become an essential figure in modern biomedical research. Their role ensures the quality, integrity, and efficiency of the data generated, acting as an

operational link between investigators, sponsors, monitors, and study participants. As clinical trials have become increasingly complex, multicenter, and highly regulated, the CRC's responsibilities have evolved beyond administrative management to encompass communication, ethics, and regulatory compliance (ICH-GCP). This chapter explores the evolution, competencies, and key functions of the Clinical Research Coordinator, as well as the main challenges faced in an increasingly digitalized and global environment. It analyzes the technical and transversal skills required for effective performance – from methodological understanding of study protocols to data management and participant engagement. Ethical, regulatory, and quality aspects that underpin professional practice are also discussed, highlighting the CRC's critical contribution to the safe and reliable development of new therapies and health technologies. Finally, the need for greater professionalization and institutional recognition of this role is emphasized, advocating for specialized training programs and organizational policies that strengthen its position within the research team. The Clinical Research Coordinator thus emerges as an indispensable component for scientific excellence and the advancement of biosciences and biotechnology.

**KEYWORDS:** clinical trials; clinical research coordinator (CRC); good clinical practice (GCP); clinical study management; professionalization in research.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los ensayos clínicos constituyen la base de la investigación biomédica, permitiendo evaluar la seguridad y eficacia de nuevos medicamentos y tratamientos. Con el aumento de la complejidad de los estudios, especialmente aquellos multicéntricos e internacionales, la necesidad de una coordinación eficiente se ha vuelto fundamental para garantizar el cumplimiento normativo, la integridad científica de los datos y la seguridad de los participantes. Para ello es necesaria una correcta planificación, seguimiento y gestión de cada fase, como se observa en la Figura 1. (International Council for Harmonisation [ICH], 2016; U.S. Food and Drug Administration [FDA], 2021; European Medicines Agency [EMA], 2020). (ICH, 2025; FDA, 2021; EMA, 2020).

En este contexto, el coordinador de ensayos clínicos (CRC) se ha convertido en un rol estratégico dentro del equipo de investigación. Su función no se limita a la administración de tareas: actúa como nexo de comunicación entre investigadores, promotores, participantes y autoridades regulatorias, asegurando que el protocolo se cumpla de manera rigurosa (Jacobbi, 2023; UCSF IRB, 2025).

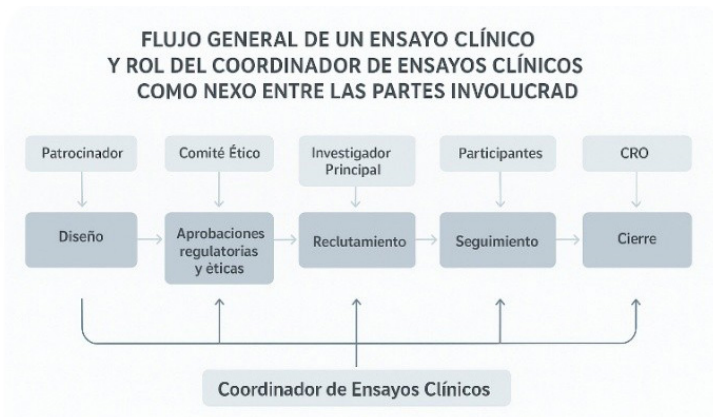
El CRC permite que la investigación avance de manera eficiente y segura, optimizando recursos humanos y materiales, reduciendo errores y asegurando la calidad de los datos. Además, facilita la formación y supervisión de otros miembros del equipo, garantizando que todos comprendan y cumplan con los protocolos establecidos.

Organizaciones internacionales como la Association of Clinical Research Professionals (ACRP) y la Society of Clinical Research Associates (SOCRA) destacan la necesidad de competencias técnicas, habilidades interpersonales y formación continua, elementos que permiten al CRC garantizar la seguridad de los participantes y la fiabilidad de los datos (ACRP, n.d.; SOCRA, n.d.).

Finalmente, se presentan los principales retos a los que se enfrenta este profesional, así como las tendencias emergentes en formación, digitalización y gestión de ensayos descentralizados. Este análisis pretende servir de guía tanto a investigadores como a estudiantes y profesionales interesados en la investigación clínica, subrayando el valor esencial del coordinador como garante de la eficacia, ética y excelencia científica en los ensayos clínicos contemporáneos.

El objetivo de este capítulo es analizar la importancia estratégica del coordinador de ensayos clínicos, resaltando cómo su intervención contribuye a minimizar errores, optimizar tiempos y recursos, y fortalecer la calidad de la investigación (Sonatein & Jones, 2018).

Figura 1. Flujo de un ensayo clínico con la participación del CRC. Muestra las etapas principales del ensayo y la posición del coordinador como nexo entre las partes.



## 2. DEFINICION Y RESPONSABILIDADES EL COORDINADOR

El coordinador de ensayos clínicos es responsable de la gestión integral del estudio, asegurando que se cumplan los requisitos éticos, regulatorios y de calidad en cada fase.

Entre sus principales responsabilidades, como se muestra en la Figura 2, se incluyen:

- **Gestión administrativa y documental:** preparación de informes, control de registros, archivo de documentos y seguimiento del cumplimiento de regulaciones garantizando la trazabilidad de todas las actividades (Calvo & Martínez, 2020), (Speicher et al., 2012).
- **Coordinación de equipos y comunicación:** enlace entre investigadores, promotores, monitores y participantes, facilitando la interacción y resolución de problemas (Barnett & Tingen, 2018).
- **Supervisión de la ejecución del estudio:** seguimiento de los participantes, coordinación de visitas y procedimientos, asegurando la integridad de los datos y la seguridad de los sujetos.
- **Cumplimiento normativo y ético:** aseguramiento de la adherencia a GCP, regulaciones locales e internacionales y protección de los derechos de los participantes (UCSF IRB, 2025).
- **Gestión de incidencias y resolución de problemas:** detectar desviaciones, tomar decisiones rápidas y comunicar hallazgos relevantes a los investigadores y al comité ético.

El coordinador, por tanto, combina conocimiento técnico con habilidades interpersonales, asegurando que el ensayo clínico funcione de manera eficiente, ética y conforme a la normativa vigente. (Ford & Thomas, 2021).

Su rol es especialmente crítico en estudios multicéntricos o internacionales, donde la coordinación efectiva puede marcar la diferencia entre un ensayo exitoso y uno con problemas de cumplimiento o retrasos.

Figura 2. Organigrama de funciones del coordinador de ensayos clínicos.



### 3. COMPETENCIAS PROFESIONALES

Para cumplir con su rol de manera eficaz, el CRC debe desarrollar como se observa en la Figura 3, las competencias en varias áreas:

#### 3.1. TÉCNICAS

Conocimiento de protocolos, normativa, gestión de datos, manejo de sistemas electrónicos de información y monitoreo de seguridad (Mozersky et al., 2020).

#### 3.2. INTERPERSONALES

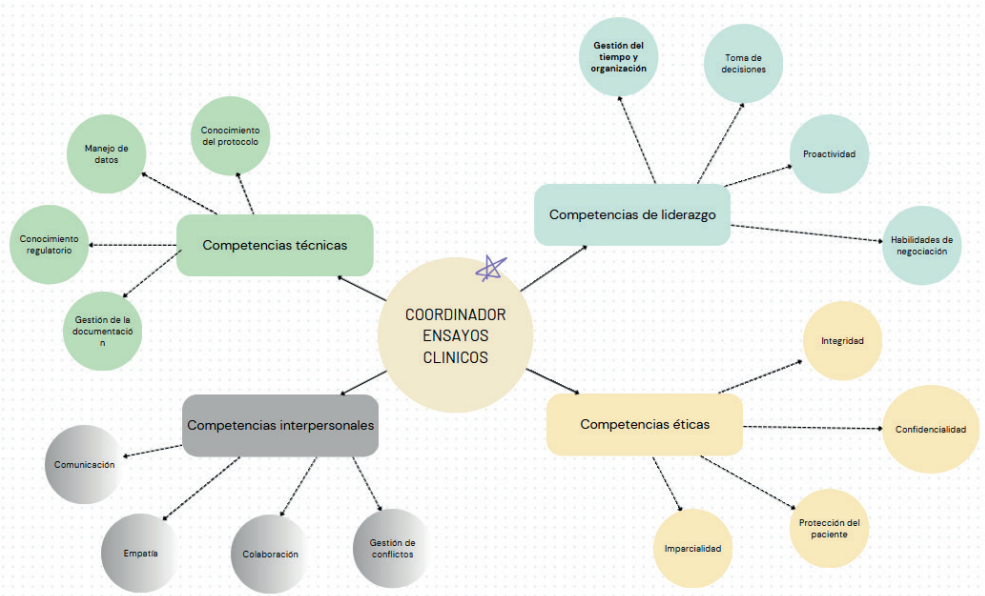
Liderazgo, comunicación efectiva, resolución de conflictos, trabajo en equipo y capacidad para motivar al personal (Hornung et al., 2019).

#### 3.3. ÉTICA Y CUMPLIMIENTO

Aplicación de Buenas Prácticas Clínicas, protección de participantes, confidencialidad y transparencia (ICH, 2025).

El desarrollo de estas competencias se promueve mediante formación continua y certificaciones profesionales, que permiten al coordinador actualizarse frente a nuevas regulaciones, metodologías y tecnologías (ACRP, n.d.; SOCRA, n.d.).

Figura 3. Diagrama de competencias del CRC. Incluye bloques de competencias técnicas, interpersonales, liderazgo y ética, mostrando cómo se integran para el desempeño efectivo del coordinador.



- Un **CRC técnico** competente en el manejo de datos (Técnicas) necesita **habilidades interpersonales** para comunicarse con un paciente sobre la captura de sus datos.
- Una decisión sobre la resolución de un problema (Liderazgo) debe tomar en cuenta los **principios éticos** (Ética) de protección al paciente.
- La **comunicación eficaz** (Interpersonales) es fundamental para coordinar al equipo (Liderazgo) y asegurar que todos cumplan con los protocolos técnicos.

Este diagrama de competencias representa que un CRC eficaz no solo domina un área, sino que integra todas sus habilidades de manera sinérgica para asegurar que cada ensayo se desarrolle con la máxima calidad y seguridad posible.

## 4. IMPORTANCIA ESTRATÉGICA EL COORDINADOR

La presencia de un coordinador competente tiene un impacto directo en la calidad y eficiencia de los ensayos clínicos:

### 4.1. MINIMIZA ERRORES Y RETRASOS

Asegura que la documentación sea correcta, que los procedimientos se realicen según protocolo y que los datos sean fiables (Barnett & Tingen, 2018). (Mora et al., 2023)

### 4.2. OPTIMIZA TIEMPOS Y RECURSOS

Organiza cronogramas, evita duplicidad de tareas y mejora la logística del estudio (Rivera & Gómez, 2019).

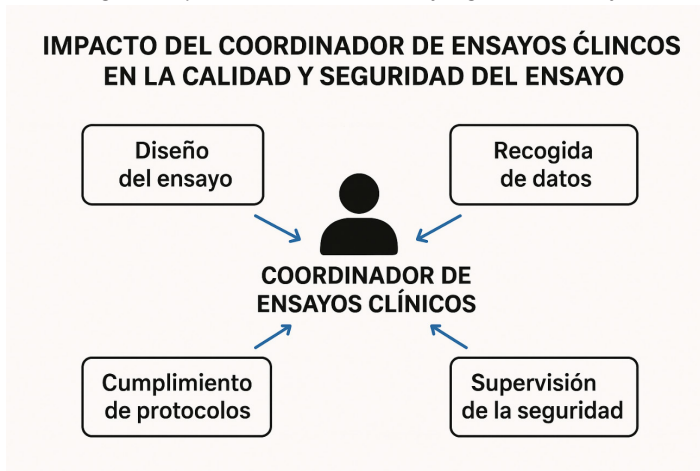
### 4.3. FACILITA LA COMUNICACIÓN ENTRE EL PERSONAL IMPLICADO EN EL ENSAYO

Mantiene fluidez entre investigadores, promotores y participantes, resolviendo problemas y garantizando cumplimiento ético.

### 4.4. GARANTIZA LA INTEGRIDAD DE LOS DATOS Y LA SEGURIDAD DE LOS PARTICIPANTES (HORNUNG ET AL., 2019; MOZERSKY ET AL., 2020)

Su participación no es solo administrativa, sino estratégica: influye en la reputación del centro de investigación, la validez de los resultados y la seguridad de los sujetos involucrados (Jacobbi, 2023). (López & Silva, 2017).

Figura 4. Impacto del CRC en la calidad y seguridad del ensayo.



## 5. RETOS ACTUALES Y TENDENCIAS

El rol del coordinador de ensayos clínicos enfrenta desafíos en un entorno en constante evolución:

El CRC enfrenta varios retos en la investigación clínica moderna:

### 5.1. DIGITALIZACIÓN Y ENSAYOS DESCENTRALIZADOS

Uso de sistemas electrónicos de gestión de datos, telemedicina y seguimiento remoto de participantes (Sonstein & Jones, 2018).(SOCRA ,2022)

### 5.2. GLOBALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS

Coordinación entre centros de distintos países con regulaciones y culturas diversas que requiere flexibilidad y habilidades de liderazgo (Kengne Talla et al., 2022).

### 5.3. PROFESIONALIZACIÓN CRECIENTE

Formación continua y certificaciones son cada vez más necesarias para garantizar competencias actualizadas (ACRP, n.d.; SOCRA, n.d.).

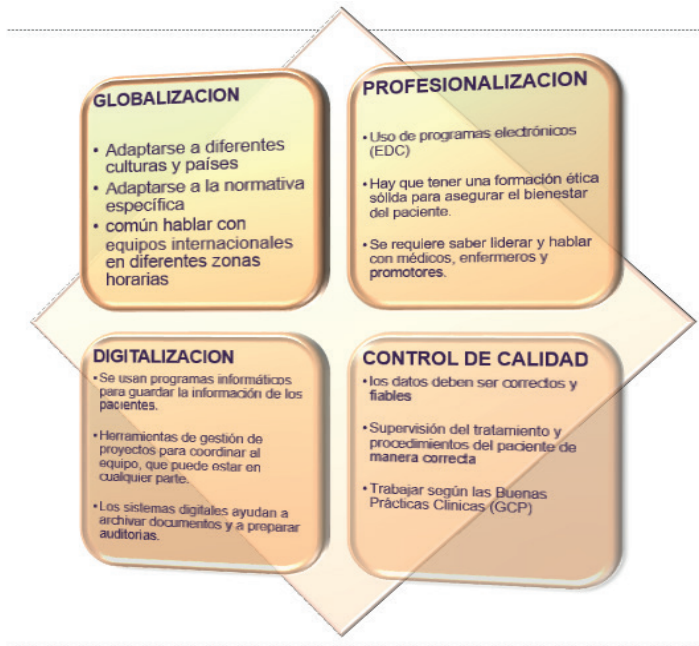
### 5.4. GESTIÓN DE RIESGOS Y CALIDAD

Integración de procesos de control de calidad y auditorías frecuentes para asegurar cumplimiento normativo y científico.

Estas tendencias refuerzan la necesidad de que el coordinador mantenga un aprendizaje constante y flexibilidad, consolidando su papel como garante de la

investigación ética y eficiente y por lo tanto pieza esencial del ecosistema de investigación clínica moderna.

Figura 5. Retos y tendencias actuales para los CRC. Diagrama tipo matriz mostrando digitalización, globalización, profesionalización y control de calidad.



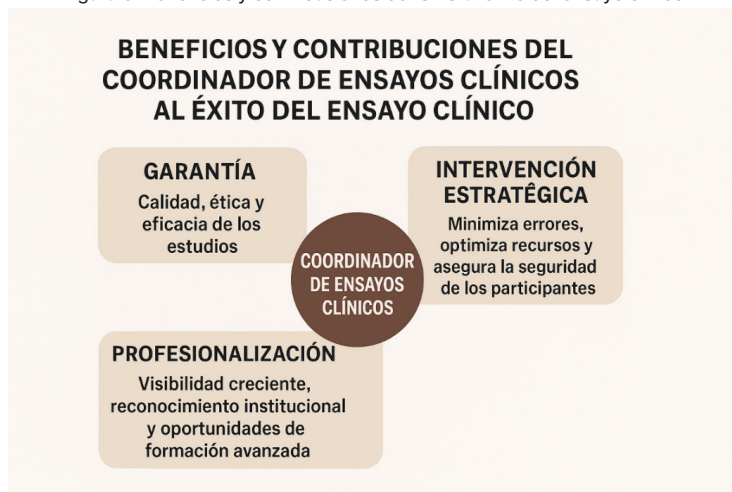
## 6. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS FUTURAS

El coordinador de ensayos clínicos es una garantía de calidad, ética y eficacia de los estudios. Su intervención estratégica permite minimizar errores, optimizar recursos y asegurar la seguridad de los participantes.

Se prevé que la profesionalización y visibilidad del rol continúe creciendo, con mayor reconocimiento institucional y oportunidades de formación avanzada. La integración de nuevas tecnologías y métodos descentralizados reforzará la importancia del coordinador, consolidándolo como un pilar indispensable de la investigación clínica moderna.

El presente análisis pretende ofrecer a investigadores, profesionales y estudiantes una visión integral del coordinador, destacando su valor tanto operativo como estratégico en la investigación clínica contemporánea.

Figura 6. Benefícios y contribuciones del CRC al éxito del ensayo clínico.



## REFERENCIAS

International Council for Harmonisation (ICH). (2025). *Guideline for Good Clinical Practice E6(R3)*. [https://database.ich.org/sites/default/files/ICH\\_E6%28R3%29\\_Step4\\_FinalGuideline\\_2025\\_0106.pdf](https://database.ich.org/sites/default/files/ICH_E6%28R3%29_Step4_FinalGuideline_2025_0106.pdf)

U.S. Food and Drug Administration (FDA). (2021). *Clinical Trial Essentials: Investigator Responsibilities*. <https://www.fda.gov/science-research/clinical-trials-and-human-subject-protection>

European Medicines Agency (EMA). (2020). *Guideline on good clinical practice*. <https://www.ema.europa.eu/en/human-regulatory/research-development/compliance/good-clinical-practice>

Jacobbi, V. (2023). *Clinical research coordinators: Advancing research, improving care*. Mayo Clinic News Network. <https://newsnetwork.mayoclinic.org/discussion/clinical-research-coordinators-advancing-research-improving-care/>

UCSF IRB. (2025). *Responsibilities of a Clinical Research Coordinator (CRC)*. <https://irb.ucsf.edu/responsibilities-pis-and-crcs>

Association of Clinical Research Professionals (ACRP). (n.d.). *Core Competency Framework for Clinical Research Coordinators*. <https://acrpnet.org>

Society of Clinical Research Associates (SOCRA). (n.d.). *Certification and training resources*. <https://www.socra.org>

Speicher, L. A., Fromell, G., Avery, S., Brassil, D., Carlson, L., Stevens, E., & Toms, M. (2012). *Recommendations from the Clinical and Translational Science Awards Research Coordinator Taskforce*. *Clinical and Translational Science*, 5, 470–475. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3531899/>

Hornung, C. A., et al. (2019). *Indices of clinical research coordinators' competence*. *PMC*. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6759060/>

Mozersky, J. T., et al. (2020). *How do Clinical Research Coordinators learn Good Clinical Practice?* *PMC*. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7211112/>

Mora, V., et al. (2023). *Clinical research coordinators: Key components of an efficient site team*. PMC. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9898615/>

Sonstein, S. A., & Jones, C. T. (2018). *Joint Task Force for Clinical Trial Competency and Clinical Research Professional Workforce Development*. *Frontiers in Pharmacology*. <https://www.frontiersin.org/journals/pharmacology/articles/10.3389/fphar.2018.01148>. PMC6198073

Kengne Talla, P., Robillard, C., Ahmed, S., Guindon, A., Houtekier, C., & Thomas, A. (2022). *Clinical research coordinators' role in knowledge translation activities in rehabilitation: A mixed-methods study*. PMC. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9903418/>

# CAPÍTULO 7

## ÉTICA EM ENFERMAGEM: LIMITES, DESAFIOS E INOVAÇÃO

Data de submissão: 21/11/2025

Data de aceite: 05/12/2025

### **Isabel Maria Ribeiro Fernandes**

Escola Superior de Saúde do  
Instituto Politécnico da Guarda  
UICISA: E - Health Sciences  
Research Unit (Coimbra)  
CI&DEI – Centre for Studies in  
Education and Innovation  
<https://orcid.org/0000-0001-7478-9567>  
CV

### **Hélène Ferreira Malta**

Unidade Local de Saúde do  
Baixo Mondego  
(Hospital Distrital da Figueira da Foz)  
Instituto de Ciências Biomédicas de  
Abel Salazar (Porto)  
UICISA: E - Health Sciences  
Research Unit (Coimbra)  
<https://orcid.org/0000-0002-5998-6383>  
CV

### **Maria Hermínia Nunes Barbosa**

Escola Superior de Saúde do  
Instituto Politécnico da Guarda  
AGE.COMM - Interdisciplinary  
Research Unit - On Building  
Functional Ageing Communities  
<https://orcid.org/0000-0001-6645-5284>  
CV

### **Paula Cristina do Vale Lopes Pissarra**

Escola Superior de Saúde do  
Instituto Politécnico da Guarda  
<https://orcid.org/0000-0002-0518-2750>  
CV

### **Paulo Jorge Lopes Matos**

Escola Superior de Saúde do  
Instituto Politécnico da Guarda  
<https://orcid.org/0000-0002-5216-5902>  
CV

### **António Manuel Almeida Tavares Sequeira**

Escola Superior de Saúde do  
Instituto Politécnico da Guarda  
<https://orcid.org/0000-0002-0625-0321>  
CV

### **Maria João Almeida Nunes**

Escola Superior de Saúde do  
Instituto Politécnico da Guarda  
UICISA: E - Health Sciences  
Research Unit (Coimbra)  
<https://orcid.org/0000-0003-3011-3201>

**RESUMO:** Enfermagem é uma ciência e uma profissão da área da saúde, que visa a prestação de cuidados ao ser humano, são ou doente, ao longo do ciclo vital e aos grupos sociais em que ele se encontra integrado no sentido de manter, melhorar ou recuperar a saúde, para que obtenha a sua capacidade funcional máxima e o mais rápido possível. Organiza-se em função do desenvolvimento de

competências técnicas e relacionais para colmatar necessidades de saúde identificadas tendo por base um conjunto de conteúdos de formação que se integram com o intuito de alcançar padrões de qualidade. Neste sentido, exige-se a capacidade de refletir sobre a sua prática com vista à melhoria dos cuidados de enfermagem e à qualidade em saúde, devendo os enfermeiros zelar por uma prática de cuidados de qualidade. Falar em qualidade nos cuidados de enfermagem exige uma abordagem ética ancorada em princípios que orientam as ações humanas e a capacidade de avaliar essas ações, promovendo o que é bom para a pessoa, família e comunidade e o estabelecimento de um compromisso pessoal em que impera a vontade de alcançar metas alinhadas com o bem, a moral, a honestidade, lealdade e responsabilidade. Os objetivos deste estudo prendem-se com analisar a enfermagem à luz da ética e promover uma reflexão construtiva acerca do que deve caracterizar uma prática de cuidar em enfermagem de excelência. Foi elaborada uma revisão narrativa da literatura, utilizando as bases de dados científicas de acesso livre, artigos datados após 2020 e que disponibilizam texto integral em português, inglês e espanhol, durante o mês de setembro e outubro de 2025. Foram analisados os contributos dos autores consultados proporcionando um maior nível de entendimento acerca da temática da ética em enfermagem, do que é imperativo e dos princípios que devem ser tidos em consideração pelos profissionais para o desenvolvimento da excelência do cuidar em enfermagem, enaltecendo o respeito máximo pela pessoa humana e pela sua vida. Qualquer desenvolvimento de uma atividade profissional exige uma conduta ética. A área da enfermagem, pela sua intersubjetividade e interação característica integra esta premissa de forma muito persistente. O cuidar de alguém de uma pessoa sã, vulnerável ou doente exige a adoção de uma conduta ética e exigente, na procura constante de soluções mais atuais e criativas que facilitem o desenvolvimento e implementação de respostas adequadas perante a diversidade de situações vivenciadas. Encarar a pessoa como verdadeiro sujeito de cuidados, que tem dignidade própria e uma forma única de ser e de se relacionar com os outros, é um desafio constante para os enfermeiros, implicando a definição de um plano de cuidados personalizados, que são impossíveis de desenvolver e implementar sem serem ancorados em princípios éticos bem definidos.

**PALAVRAS-CHAVE:** ética; enfermagem; principialismo; cuidar.

## NURSING ETHICS: BOUNDARIES, CHALLENGES AND INNOVATION

**ABSTRACT:** Nursing is a science and a profession in the health field, which aims to provide care to human beings, whether healthy or sick, throughout their life cycle and to the social groups in which they are integrated, in order to maintain, improve or restore their health, so that they can achieve their maximum functional capacity as quickly as possible. It is organised around the development of technical and interpersonal skills to meet identified health needs, based on a set of training content that is integrated with the aim of achieving quality standards. In this sense, it requires the ability to reflect on one's practice with a view to improving nursing care and health quality, and nurses must ensure that they provide quality care. Talking about quality in nursing care requires an ethical approach anchored in principles that guide human actions and the ability to evaluate those actions, promoting what is good for the person, family and community and establishing a personal commitment in which the desire to achieve goals aligned with goodness, morality, honesty, loyalty and responsibility prevails. The objectives of this study are to analyse nursing in

the light of ethics and to promote constructive reflection on what should characterise excellent nursing care practice. A narrative review of the literature was conducted using open-access scientific databases, articles dated after 2020 and available in full text in Portuguese, English and Spanish, during September and October 2025. The contributions of the authors consulted were analysed, providing a greater level of understanding of the theme of ethics in nursing, what is imperative and the principles that should be taken into consideration by professionals for the development of excellence in nursing care, emphasising the utmost respect for human beings and their lives. Any professional activity requires ethical conduct. The field of nursing, due to its intersubjectivity and characteristic interaction, integrates this premise in a very persistent way. Caring for someone who is healthy, vulnerable or sick requires the adoption of ethical and demanding conduct, in the constant search for the most current and creative solutions that facilitate the development and implementation of appropriate responses to the diversity of situations experienced. Viewing the person as a true subject of care, who has their own dignity and a unique way of being and relating to others, is a constant challenge for nurses, implying the definition of a personalised care plan, which is impossible to develop and implement without being anchored in well-defined ethical principles.

**KEYWORDS:** ethics; nursing; principlism; caring.

A enfermagem é uma profissão da área da saúde, que visa a prestação de cuidados ao ser humano, são ou doente, ao longo do ciclo vital e aos grupos sociais em que ele se encontra integrado no sentido de manter, melhorar ou recuperar a saúde, para que obtenha a sua capacidade funcional máxima, o mais rápido possível (REPE, 1996). Trata-se de uma disciplina que se organiza em função do desenvolvimento de competências técnicas e relacionais para colmatar necessidades de saúde identificadas e que procura desenvolver a sua prática com base em padrões de qualidade tendo sempre como designio uma prestação de cuidados de qualidade que vai ao encontro das necessidades das pessoas.

Para que se atinja este objetivo é necessário que se organizem conteúdos teóricos tendo por base um conjunto de contributos advindos de variadas disciplinas, com as quais a enfermagem interage continuamente, na medida em que a enfermagem exige que se encare a pessoa como um todo, que sofre influências diretas de outras disciplinas e ciências. Esta necessidade também se acompanha da capacidade de reflexão sobre a sua prática com vista à melhoria dos cuidados de enfermagem e à qualidade em saúde, devendo os enfermeiros zelar por uma prática de cuidados de qualidade e as instituições devem facilitar este processo, tendo por base a criação de estruturas adequadas à prestação e pela adequação dos recursos, criando um ambiente favorecedor do desenvolvimento profissional.

Neste sentido, exige-se a capacidade de refletir sobre a sua prática com vista à melhoria dos cuidados de enfermagem e à qualidade em saúde, devendo os enfermeiros zelar por uma prática de cuidados de qualidade, o que exige a capacidade de avaliar as suas ações, promovendo o que é bom para a pessoa, família e comunidade e o estabelecimento de um compromisso pessoal em que impera a vontade de alcançar metas alinhadas com o bem, a moral, a honestidade, lealdade e responsabilidade.

Falar de enfermagem implica que se fale sempre em ética, pois as duas coisas são inseparáveis, na medida em que o seu desígnio máximo passa pelos cuidados ao outro, em condição de saúde ou doença, maior ou menor fragilidade e vulnerabilidade. Cuidar do Outro em situação de doença, fragilidade, perda e morte implica o cumprimento da exigência do máximo respeito pelos direitos dos doentes e permanente reconhecimento da condição humana. É imperativo o desenvolvimento e implementação de uma abordagem ética e humanizada que rume ao encontro das necessidades de cuidados de saúde das pessoas, exigindo-se uma constante reflexão e tomada de decisão no sentido da promoção da qualidade de vida e dignidade humana, da proteção do ser humano e da comunhão com o compromisso ético do respeito pela integridade e dignidade da pessoa. Como refere Sarmento in Neves e Soares (2018:86), “As pessoas só podem ser tratadas por pessoas. Daí que a qualidade do tratamento dos doentes dependa da qualidade individual dos profissionais que os tratam.”

A ética em enfermagem exerce uma influência fundamental na medida em que orienta os profissionais a adotar atitudes e comportamentos que visem a resolução dos diferentes desafios em saúde em direção à excelência da prática de enfermagem, sendo “...imperativo que os profissionais de enfermagem continuem a se envolver em diálogos éticos, busquem atualizações constantes e promovam um ambiente que priorize a dignidade, o respeito e a justiça na assistência à saúde” (Santos e Magri, 2024: 219).

A palavra ética deriva do grego *ethos*, que significa, “hábito”, “comportamento”, “modo de ser”, em que *Êthos* traduz o lugar interior de onde brotam os sentimentos/ atos dos homens na sua interioridade, destacando-se o carácter e de *Éthos* que traduz o agir habitual, englobando o estudo e reflexão sobre os princípios que sustentam e orientam as ações humanas. De facto, traduz o que é certo ou errado, bom ou mau, na conduta humana, considerando as consequências das suas ações sobre os outros e sobre a sociedade como um todo, servindo como guia para o comportamento humano, ajudando-o a tomar decisões que considerem o bem-estar e os direitos das pessoas envolvidas. Neste sentido, a ética promove um estilo de ação que procura refletir sobre o melhor modo de agir tendo por base o princípio de não abalar a vida em sociedade e não desrespeitar a individualidade dos Outros, orientando o comportamento dos profissionais

e das instituições, no sentido de garantir que eles atuem de maneira justa, responsável e respeitosa em relação aos pacientes, colegas e comunidade.

A Ética profissional revela-se muito importante na construção de atitudes e comportamentos profissionais, contribuindo para a estabilidade profissional e social através da implementação de normas que inspiram o ser humano, seja em termos da organização que integra como da profissão que exerce. Implica não só o bem-estar pessoal, mas também de todas as pessoas da organização tendo por base os seus princípios, podendo afirmar-se que o desenvolvimento de uma atividade profissional é impossível sem ética. Para Porfirio (2025), traduz a aplicação de normas morais e de conduta social aprovadas em convenções sociais no campo das profissões, exigindo o respeito pelo campo de trabalho, pelas normas de conduta da profissão e pelos colegas de trabalho e todas as pessoas envolvidas.

Qualquer desenvolvimento de uma atividade profissional exige uma conduta ética. A área da enfermagem, pela sua intersubjetividade e interação característica integra esta premissa de forma muito persistente. O cuidar de alguém, de uma pessoa sã, vulnerável ou doente exige a adoção de uma conduta ética e exigente, na procura constante de soluções mais atuais e criativas que facilitem o desenvolvimento e implementação de respostas adequadas perante a diversidade de situações vivenciadas.

Assumindo-se a ética como o ramo da filosofia que estuda os valores morais e os princípios que regem o comportamento humano, o enfermeiro deve procurar por uma prática de cuidados que privilegie o relacionamento interpessoal e que ajude o beneficiário dos cuidados de saúde. Para tal, deve aplicar todo o seu conhecimento científico no âmbito do saber fazer e conhecimento individual e do saber ser e estar, sendo essencial que se compreenda e aceite a si mesmo para facilitar o processo de compreensão e aceitação do outro. Esta integração destas duas áreas do saber permite encarar o cuidar em enfermagem como uma ciência e uma arte, desenvolvendo-se em todas as dimensões do Outro. Como referem Costa e Gonçalves (2021:63),

A ciência e a arte em enfermagem devem relacionar-se de forma simbiótica e não em exclusivo, numa relação assimétrica de só ciência ou só arte. Assim, o enfermeiro ao cuidar, olha a pessoa na sua singularidade e como um todo, e não só como alguém que possui uma doença ou um problema...

Encarar a pessoa como verdadeiro sujeito de cuidados, que tem dignidade própria e uma forma única de ser e de se relacionar com os outros, é um desafio constante para os enfermeiros, implicando a definição de um plano de cuidados personalizados, que são impossíveis de desenvolver e implementar sem serem ancorados em princípios éticos bem definidos.

Na disciplina de enfermagem podem considerar-se quatro tipos de conhecimento, nomeadamente: empírico, estético, ético e pessoal. O empírico prende-se com a organização do saber em função de leis e teorias que procuram descrever e explicar fenómenos, sendo factual e explicativo. O estético está relacionado com a arte de enfermagem, sendo expressiva, subjetiva e que emerge durante o cuidar. O ético está relacionado com as questões da ética profissional que acompanham o cuidar adequado às necessidades da Pessoa exigindo-se um processo de tomada de decisão ajustado entre o que é considerado correto ou incorreto, bom ou mau para o indivíduo e para a sociedade. O pessoal tem a ver com o conhecimento que a pessoa tem de si mesma e com a forma como se relaciona com os outros, promovendo um encontro autêntico, mútuo e de proximidade (Riegel, et al., 2023).

A conjugação destes quatro tipos de conhecimento permite a promoção de um cuidar de enfermagem global que vá ao encontro das necessidades das Pessoas. Neste sentido o enfermeiro deve prestar cuidados competentes e específicos no âmbito do domínio técnico científico, não desviando o foco da Pessoa e desenvolvendo competências afetivas e reflexivas, fazendo jus ao referido por Costa e Gonçalves (2021: 64), nomeadamente “Cuidar o corpo e a alma e não só o corpo ou só a alma, é exclusivo da ciência e da arte que é a enfermagem”.

Quando se reflete sobre o referido, emerge a ideia de que a enfermagem no global exige a atualização constante de conhecimentos e o aprimorar de habilidades no estabelecimento de uma relação de ajuda e terapêutica com o Outro, tendo por base a ética que possibilita um cuidado seguro, responsável e humano. Para Sousa, Santos e Maia (2024), é importante que os enfermeiros recebam formação ética ajustada ao seu nível de desenvolvimento, que se promova uma prestação de cuidados ancorada em diretrizes e códigos de ética emanados pelos órgãos reguladores da profissão, conduzindo a uma prática de enfermagem compassiva.

Riegel et al. (2023: 3), enaltecem que é necessária a

valorização do cuidado humano, sensibilidade e humanização que os indivíduos precisam aplicar no atendimento às necessidades apresentadas pelos usuários, dos serviços de saúde. Mais do que tecnologias, é preciso enfermeiros sensíveis às reais e potenciais necessidades dos pacientes – logo, nada substitui o cuidado ético, estético e humano dos enfermeiros.

Não descurando os outros tipos de cuidar, o cuidar ético do Outro implica a adoção de atitudes reflexivas, pois o enfermeiro enquanto ser dotado de conhecimento e capaz de cuidar, cuida do Outro que se encontra fragilizado, vulnerável e com necessidades afetadas, o que exige muito respeito e dedicação e o reconhecimento do Outro como

pessoa igual a si mesmo, que carece de ser ouvida e de compreensão. No âmbito da relação interpessoal estabelecida o enfermeiro deve ser honesto e verdadeiro, devendo esclarecê-lo dos objetivos das suas intervenções e de qual o resultado esperado e todos os riscos inerentes, revelando preocupação com o seu bem-estar e adotando atitudes de solidariedade que promovam o crescimento de ambos.

O cuidado de enfermagem deve integrar a humanização de cuidados, em que o afeto, a ternura e o amor se unem aos aspetos técnicos e éticos, combinando razão e emoção e enaltecendo a sua importância para a enfermagem e enquanto ação fundamental para a vida em sociedade. A Pessoa exerce um papel fundamental na relação estabelecida com o cuidar em enfermagem, carecendo de ser cuidada e abordada com respeito pela dignidade humana, na medida em que todas as pessoas têm valor intrínseco e merecem ser tratadas com respeito, independentemente da sua condição de saúde ou vulnerabilidade. Para os enfermeiros a possibilidade aplicar as virtudes éticas no cuidado ao Outro permite o estabelecimento de uma relação de ajuda efetiva entre quem ajuda e quem é ajudado que dê visibilidade ao corpo de conhecimentos técnico-científicos e morais que pautam a motivação, sensibilidade e apetência para um cuidar de excelência. Desta forma assume-se como um reflexo do desenvolvimento de uma sociedade solidária para com as necessidades do Outro e respeitosa dos seus direitos humanos fundamentais, contribuindo para uma maior inclusão.

Na relação de cuidar que se estabelece entre quem cuida quem é cuidado, é absolutamente essencial que se respeitem os princípios éticos, que se assumem como guias gerais em cuidados de saúde, ancorados na obrigação de fazer o bem e prevenir o risco, ou minimizá-lo quando está presente. Estes princípios devem nortear todas as discussões, tomadas de decisão, definição de procedimentos e ações no âmbito dos cuidados de saúde, não desvalorizando que as pessoas têm liberdade na esfera da decisão, sendo imperativo que se considere o Outro como um ser autónomo e independente, ancorado num conjunto de crenças e valores que devem ser respeitados por todos (Correia, 2018).

Há que respeitar todas as pessoas enquanto seres únicos que são, em que o exercício da liberdade ética individual surge como valor absoluto, único e normativo no relacionamento entre pessoas pertencentes a universos culturais distintos. Na perspetiva de Kant todos os seres racionais, agem de acordo com a sua ideia de bem individual e comum. Para ele a pessoa humana, com desejos e vontades, é necessariamente um fim e nunca pode se encarado como um meio, e isto é indicativo de que nunca pode ser instrumentalizado.

O princípalismo traduz o pilar estrutural da ética nos cuidados de saúde, integrando os princípios da Autonomia, Beneficência, Não Maleficência e Justiça. O princípio da Autonomia decorre da doutrina da dignidade humana e dos direitos humanos fundamentais; do entendimento de que a pessoa tem a capacidade de compreender, de raciocinar e de eleger o melhor bem para si de forma independente, sendo livre; da capacidade que a pessoa demonstra para se autogovernar e do exercício de liberdade da pessoa enquanto agente social. As decisões individuais, porque são autónomas, tornam-se num bem essencial, na medida em que não venham a ferir o valor da dignidade humana e a sua expressão básica. Segundo Conti e Souza (2021), a autonomia implica que se aja livremente, segundo um plano intencionalmente escolhido por si próprio; que a Pessoa não apresente limitações que impliquem uma compreensão inadequada para uma escolha consciente e que a liberdade da Pessoa não sofra qualquer interferência indevida de terceiros, tornando-se imperativo reconhecer que cada pessoa pode ter as suas próprias opiniões, tomar as suas próprias decisões e agir de acordo com as suas crenças, valores e vontade própria. Devem ser tratadas com autonomia, na medida em que elas podem escolher a decisão que afeta diretamente a sua vida e a sua integridade psíquico-física, reforçando-se que as que apresentam autonomia reduzida devem ser protegidas, pois não apresentam condições para decidir entre o bem e mal (Biondo, et al., 2018).

Em termos de implicações para a saúde não pode ser esquecido o facto de que o poder de decisão se centra na pessoa doente; os profissionais de saúde devem ter em linha de conta a vontade das pessoas doentes e respeitar a sua autonomia, obrigando-se a informar, procurar e assegurar a compreensão da informação e a voluntariedade e a fomentar a tomada de decisão adequada.

Relativamente aos princípios da Não Maleficência e o da Beneficência, podem considerar-se como o farol que guia os profissionais de saúde, promovendo um cuidar de pessoas nas suas diferentes dimensões, tendo por base as suas necessidades e orientando o desenvolvimento e implementação dos saberes adquiridos no sentido de uma prática de excelência (Conti e Souza, 2021). Neste âmbito é imperativo que se façam reflexões acerca do melhor modo de agir, na medida em que a atuação dos profissionais ultrapassa questões técnicas, exigindo um equilíbrio entre o que se pode e o que se deve fazer.

A Não Maleficência representa a obrigação de não causar danos intencionalmente e envolve atos de abstenção e a moralidade que lhe está inerente exige que não se cause dano, mas também e, sempre que possível, que se promovam ações que tragam benefícios, contribuindo para o bem-estar das pessoas (Biondo, et al., 2018; Conti e Souza, 2021).

O princípio da Beneficência emerge como um dos princípios mais importante para os enfermeiros, pois relaciona-se com o imperativo de “Fazer o bem!” e com a obrigação moral de atuar em benefício dos outros, implicando o ajudar os outros e não unicamente abster-se de efetuar atos prejudiciais. A aplicação deste princípio exige o cumprimento de alguns preceitos, tais como: proteger e defender os direitos dos outros; prevenir que aconteça algum mal aos outros; suprimir as condições que possam produzir prejuízo aos outros e ajudar as pessoas com incapacidades.

Traduz efetivamente a ação desenvolvida em benefício de outrem, estando associada à palavra benevolência e os atos de gratidão, caridade, altruísmo, amor, humanidade e atos de bondade desenvolvidos para fazer o bem (Biondo, et al., 2018; Conti e Souza, 2021). Tendo como finalidade o bem da pessoa e a promoção do bem no ato de cuidar, a beneficência para os enfermeiros exige que se questione se se sabe o que é que a mesma considera como bem para si mesmo.

O princípio da justiça está relacionado com o que é devido às pessoas e que, de algum modo, lhes pertence ou lhes corresponde, ou seja, no âmbito da ação, agir com justiça significa agir de acordo. Para Beauchamp e Childress (2009), o princípio da justiça implica a cada pessoa uma parte igual, de acordo com suas necessidades, os seus esforços, a sua contribuição, o seu mérito e com as regras de troca num mercado livre, remetendo-nos para a Equidade, na tentativa de reduzir as desigualdades evitáveis (económicas, sociais, de saúde, etc.).

Implícito a estes princípios, mas sobretudo ao princípio da beneficência e não maleficência pode enunciar-se o princípio da vulnerabilidade, que espelha uma das melhores expressões para caraterizar a condição humana. A relação que se estabelece entre o enfermeiro e a pessoa doente resulta de um encontro entre uma pessoa capacitada e uma pessoa vulnerável e frágil, o que exige dos enfermeiros o maior respeito pelo princípio da Beneficência e da Não Maleficência.

No âmbito da sua prestação, o enfermeiro assume também uma preocupação constante com a liberdade e dignidade do Outro, enquanto ser que lhe confia corpo e vida aos seus cuidados traduzindo a responsabilidade solidária que deve aliar-se à priorização das intervenções, permitindo mais benefícios para as pessoas e designada como priorização em saúde. Esta priorização pode assumir um contorno de diferenciação positiva, na medida em que pretendem mais cuidados a quem deles mais necessita, fazendo jus ao defendido como “Equal care for equal needs”. É premente que se dê prioridade à intervenção que permita mais benefício para a Pessoa.

Em paralelo com o referido é importante que se tenha em consideração o consentimento informado uma vez que este reflete o princípio ético fundamental de respeito

pelas pessoas, pela sua autonomia, direitos e capacidade para se tomarem decisões devidamente informadas, surgindo em resultado de um diálogo racional entre duas Pessoas autónomas que decidem livremente. Não se trata apenas de um mero esclarecimento, constituindo uma escolha informada, em que está inerente à capacidade de decisão.

Este consentimento pode assumir diferentes formas, especificamente: oral utilizado para casos mais simples e escrito para casos mais complexos, graves e sérios. Deve ser objetivo abordando exclusivamente o que se pretende e testemunhado no intuito de confirmar que é dado em perfeita liberdade e sem coação. Para Santos e Magri (2024), as pessoas devem participar ativamente nos processos de tomada de decisão sobre os tratamentos que lhes são propostos, tendo em consideração que deve estar capacitada para a tomada de decisão e ter capacidade de discernimento. Os profissionais de saúde têm o dever de presumir que a pessoa seja capaz de decidir até prova em contrário e de lhes transmitir todas as informações.

Neste contexto, os profissionais têm o dever de esclarecimento vinculado à necessidade de proporcionar à pessoa doente toda a informação para uma tomada de decisão livre, sendo necessário certificar-se que a informação foi compreendida em termos de significado e vantagens/desvantagens do tratamento.

Para Siqueira

A doença não retira do paciente a sua autonomia, sua liberdade, seus direitos ao próprio corpo e à vida privada, tampouco sua dignidade, que é inerente à sua condição de ser humano. Pelo contrário, por mais que em algumas situações os pacientes se encontrem em certa posição de vulnerabilidade, é precisamente isso que justifica a especial reafirmação do direito à autodeterminação sobre o próprio corpo e faz com que *qualquer tratamento e intervenção médica dependa do seu consentimento*. (2022: 79, itálico original).

Apesar de se confirmar a necessidade de se abordarem questões éticas no processo formativo dos estudantes de enfermagem, desde os cursos de 1º ciclo aos de 2º e 3º ciclo, é importante que estes temas sejam debatidos constantemente pelos profissionais, fazendo uma articulação entre o conteúdo teórico e a sua aplicação prática em contexto de prestação de cuidados.

Na ética, o objeto de estudo são os princípios que orientam as ações humanas e a capacidade de avaliar essas ações. Os enfermeiros têm essa responsabilidade acrescida e devem agir tendo em conta os princípios mencionados e de acordo com uma conduta exímia que reflita o respeito pela dignidade da pessoa humana.

A atualidade tem-se confrontado com muitas mudanças na área da saúde, nomeadamente o desenvolvimento e utilização da inteligência artificial. Esta revela-se como uma das mais promissoras áreas no campo da saúde, neste momento já com aplicação prática, sendo que quando se pensa na sua aplicação na área da saúde, muitas

questões se colocam no âmbito da qualidade dos cuidados oferecidos e nas questões éticas relacionadas.

No caso específico da enfermagem pode ter um vasto leque de utilização, nomeadamente na monitorização das pessoas com necessidades de saúde; diminuição da carga de trabalho no que diz respeito a alguns procedimentos como por exemplo na monitorização de sinais vitais, do fluxo da soroterapia, a identificação precoce da higienização das mãos por parte dos enfermeiros, antes de efetuar os procedimentos, minimizando o risco de Infecções Associadas aos Cuidados de Saúde, a possibilidade de realizar a monitorização à distância reduzindo o número de internamentos e uma melhor gestão de vagas em função das prioridades em saúde, entre outros.

A Inteligência Artificial revela-se uma oportunidade de transformação na área de prestação de cuidados, numa vertente de melhoria do grau de eficiência e qualidade. É imperativo um equilíbrio ético entre a utilização da tecnologia e o juízo crítico humano, exigindo-se formação específica nesta área aos enfermeiros.

No global não se deixa de ser profissional de saúde com a missão de ajudar as pessoas, sendo certo que fazendo uso destas novas tecnologias se pode ter menos possibilidades de erro, oferecendo diagnósticos mais precisos e fidedignos, na medida em que a Inteligência Artificial oferece soluções eficazes e menos invasivas, contribuindo para o sucesso e qualidade de vida das pessoas (Veríssimo Júnior, et al., 2025).

É necessário encarar a Inteligência Artificial do ponto de vista da personalização dos cuidados e da adaptação desses mesmos cuidados às necessidades de cuidados apresentadas, não esquecendo que se pode, contrariamente, incorrer no risco de despersonalização do cuidado, sobretudo quando se usa a Inteligência Artificial como forma de substituição da interação humana que caracteriza os cuidados de saúde. Neste sentido a Inteligência Artificial revela-se uma ferramenta complementar que, quando bem integrada nos cuidados de saúde, permite potenciar o trabalho dos enfermeiros e promover uma prática de cuidados de excelência.

É preciso encarar a dualidade inerente à utilização da Inteligência Artificial pois, por um lado, permite a personalização da aprendizagem e a otimização de diagnósticos e tratamentos, por outro, os desafios inerentes à precisão e fidedignidade dos sistemas de Inteligência Artificial, a privacidade dos dados e o risco de despersonalização do cuidado podem colocá-la em causa. Na opinião de Santos e Lopes (2023: 4),

embora a Inteligência Artificial possa personalizar a aprendizagem e os cuidados de saúde, é imperativo que a sua aplicação nestas áreas não substitua o elemento humano essencial, mas sim que complemente a empatia e a compreensão que definem a essência dos cuidados de saúde, assim como a educação.

Perante o desafio do seu potencial transformador exige-se uma atenção cuidada, para os benefícios e não benefícios da sua utilização, muita consciência, colaboração e capacitação de todos os envolvidos. É imperativa a criação de

regulamentos específicos que assegurem a proteção de dados, a transparência nos processos algorítmicos e a responsabilização por eventuais falhas dos sistemas, [...] “sendo uma prioridade para garantir que os benefícios dessa tecnologia sejam aproveitados sem comprometer os direitos dos pacientes ou a qualidade do atendimento (Veríssimo Junior, et al., 2025: 987).

A verdadeira utilização da Inteligência Artificial oferece vantagens para a saúde, sendo certo que oferece mais-valias no âmbito mais preventivo, pois o seu grande desígnio passa por prever, evitar e corrigir, sendo necessário manter bem presente o defendido por Riegel et al. (2023: 3), quando refere que “A inteligência artificial pode substituir ou preencher lacunas dos processos de trabalho, porém, considera-se que o toque humano no outro ser humano, na ocasião do ato de cuidar, jamais pode ser substituído por um robô”.

Concluindo, na era da inteligência artificial, a busca incessante pela superioridade na área da saúde implica a resolução dos processos de doença e sua prevenção, não devendo ser descurados os princípios éticos essenciais para a preservação da humanidade, traduzindo o referido por Vedovate “Em um mundo cada vez mais digital, os profissionais de saúde precisam compreender as vantagens que estas soluções apresentam em seu trabalho, assim terão tempo para atender com mais qualidade e humanidade todos os seus pacientes” (2021:19, 20).

A enfermagem é uma profissão que centraliza o seu foco de ação na Pessoa, baseando-se num discurso ético que espelhe a sua função em prol do seu bem e da sociedade. Enquanto ciência de Cuidar deve desenvolver-se num ambiente ético primando por uma prestação de qualidade, segura e respeitosa, atendendo à dignidade e autonomia da pessoa e exigindo reflexões éticas constantes sobre as ações de enfermagem desenvolvidas, tendo por base a assunção de um compromisso ético que irá determinar o comportamento e a tomada de decisão em função das necessidades apresentadas.

Neste sentido, o desenvolvimento da enfermagem implica uma prática de cuidar baseada em princípios da ética individual/profissional, de onde se destaca a honestidade das pessoas; a ética organizacional cumprindo um conjunto de preceitos defendidos pela organização que integram e a ética profissional exigindo-se o cumprimento de um código de conduta com regras éticas autênticas, diretrizes e princípios que ajudam os profissionais de enfermagem a equilibrarem considerações éticas enquanto prestam cuidados de qualidade, promovendo a autonomia do paciente, a justiça na distribuição de recursos de saúde e a reflexão contínua sobre dilemas éticos na prática clínica.

## REFERÊNCIAS

- Beauchamp, T. & Childress, J. **Principles of biomedical ethics**. 6ª ed., New York: Oxford University Press, 2009. 454 p.
- Biondo, C.; ROSA, R.; Ferraz, M. & Yarid, S. Perspectivas del conocimiento de los académicos de salud respecto de la bioética para la actuación profesional. **Revenf**. I Edição Trimestral, n.º 35, 2018, 6p. DOI: <https://doi.org/10.15517/revenf.v0i35.30014>, Acesso a 2025.10.15
- Conti, P. & Souza, P. La bioética y sus paradigmas teóricos. **Rev. Bioét.** vol 29, n.º 4, p. 716-726, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-80422021294505>. Acesso a 2025.20.10
- Correia, P. Bioética, biopoder e acesso à saúde. **Gestão e Desenvolvimento**. vol 26, 2018, p. 193-208.
- Costa, M. & Gonçalves, D. O Equilíbrio entre a Arte do Cuidar e a Enfermagem como Ciência: Uma Perspetiva Histórica. **Lusiadas Scientific Journal**, vol 2, n.º. 2, 2021. p.62-64.
- Neves, M. & Soares, J. (coords.) (2020). **Ética aplicada - saúde**. Edições 70.
- NÚCLEO DE SAÚDE DIGITAL GLOBAL E RELAÇÕES INTERNACIONAIS; UNIDADE DE CIBERSEGURANÇA. **Inteligência Artificial na Saúde em Portugal: regulamentação, impactos e perspectivas de futuro**. White Paper, 2025.
- PORTUGAL. Decreto-Lei n.º 161/96, de 4 de setembro. Regulamento do Exercício Profissional do Enfermeiro (REPE). Alterada pelo Decreto-Lei n.º 104/98, de 21 de abril.
- Riegel, F.; Unicovsky, M.; Nascimento, V. & Escobar, O. Filosofia e processo de enfermagem: uma reflexão das bases teórico filosóficas na prática clínica de enfermagem. **Enferm Foco**. e-202359. vol 14, p. 1-6, 2023. DOI: <https://doi.org/10.21675/2357-707X.2023.v14.e-202359>. Acesso a 2025.10.10
- Santos, B. & Magri, M. Ética e Enfermagem: uma análise dos princípios bioéticos. **Revista Ilustração**, vol 5, n.º. 4, p. 211-221, 2024. DOI: 10.46550/ilustracao.v5i4.339. Acesso a 2025.10.10
- Santos, H. & Lopes, A. A Inteligência Artificial nas ciências da saúde: oportunidades, desafios e perspectivas futuras. **Revsalus**, vol 6, n-º 1, 2023, 9p. DOI: <https://doi.org/10.51126/revsalus.v6i1.653>. Acesso 2025.10.10
- Siqueira, F. O Direito do paciente à recusa de tratamentos e procedimentos. in Melgaço, N. & Rocha, R. (org.) **Direitos dos Pacientes: formação e atualização**. Editora Atenas, 2023. p.69-85 2023 DOI: 10.22533/at.ed.250232903
- Sousa, F.; Santos, S. & Maia, L. A Ética profissional no contexto do cuidado de enfermagem: revisão da literatura. Simeccaúde: 3º Simpósio Internacional Multidisciplinar de Estudos Científicos em Saúde. **Instituto Enfservic**. vol 3, n.º 3, 2024, p.14.
- Sousa, N.; Abreu, L.; Araújo, E.; Torres, R.; Freitas, M. & Guedes, M. Enfermagem e Ciência: uma reflexão sobre a sua consolidação. **Rev. Enferm. UFPE on line**, vol 13, n.º 3, 2019, p.839-843.
- Vedovate, S. A inteligência artificial e as transformações no setor da saúde no futuro – a tecnologia na saúde. **Revista Científica Integrada**, vol 5 (Edição 1), p. 1-21, 2021.
- Veríssimo Junior, A. et al. O uso da Inteligência Artificial em Saúde: uma revisão bibliográfica. **Lumen et Virtus**. vol 16, n.º 45, p. 979-89, 2025. DOI: 10.56238/levv16n45-024. Disponível em: <https://periodicos.newsciencepubl.com/LEV/article/view/3249> acesso a 15.10.2025

# CAPÍTULO 8

## ROSALIND ELSIE FRANKLIN. UNA CIENTÍFICA RECONOCIDA TARDÍAMENTE

Data de submissão: 13/11/2025

Data de aceite: 01/12/2025

**Donají López Torres**

Departamento de Ciencias de la Salud  
Universidad Autónoma Metropolitana  
Unidad Iztapalapa  
Ciudad de México, México

**Edith Cortés Barberena<sup>1</sup>**

Departamento de Ciencias de la Salud  
Universidad Autónoma Metropolitana  
Unidad Iztapalapa  
Ciudad de México, México  
<https://orcid.org/0000-0003-0186-7338>

**RESUMEN:** Rosalind Franklin, destacada cristalógrafa de rayos X, realizó contribuciones cruciales al descubrimiento de la estructura del ADN en un entorno científico dominado por hombres. Su famosa foto 51, obtenida en 1952, fue fundamental para el entendimiento de la doble hélice del ADN. A pesar de su rigor y talento, Franklin enfrentó numerosos desafíos debido a su género, reflejando la subrepresentación femenina en las ciencias. Según la UNESCO, en el año 2021, solo el 33% de los investigadores son mujeres, lo que subraya la persistente brecha de género en STEM. El artículo analiza la trayectoria de Franklin desde su educación en Londres hasta

<sup>1</sup> Autor correspondiente.

su trabajo en el King's College de Londres, donde se encontró con la resistencia de sus colegas masculinos, especialmente de Maurice Wilkins. A pesar de sus aportes significativos, como la identificación de las formas A y B del ADN, su trabajo fue subestimado y, en muchos casos, utilizado sin reconocimiento. La controversia culminó cuando Watson y Crick, con acceso a sus datos, publicaron su modelo de ADN en 1953, omitiendo su contribución. El legado de Franklin se ha vuelto un símbolo en la lucha contra la desigualdad en la ciencia. Su vida y trabajo resaltan la necesidad de visibilizar las contribuciones de las mujeres en STEM y de implementar políticas que promuevan la igualdad de género en la ciencia. Su historia es un recordatorio de que la excelencia no siempre garantiza reconocimiento, y que es esencial fomentar un ambiente inclusivo en la ciencia.

**PALABRAS CLAVE:** Rosalind Franklin; estructura del ADN; cristalografía de rayos X; mujeres en áreas STEM.

### 1. INTRODUCCIÓN

Rosalind Franklin destacó en cristalografía de rayos X en un entorno dominado por hombres. Su foto 51 (1952) fue fundamental para descifrar la estructura del ADN. Su rigor metodológico contrastaba con la cultura científica de la época que minusvaloraba enfoques femeninos.

Actualmente la subrepresentación femenina en áreas de Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas (STEM, por sus siglas en inglés: *Science, Technology, Engineering and Mathematics*) persiste a pesar de los avances formales. Según la UNESCO, sólo alrededor del 33% de investigadores científicos a nivel mundial, son mujeres (UNESCO, 2021). El caso de Rosalind Franklin ejemplifica cómo los estereotipos y dinámicas institucionales marginan contribuciones femeninas.

## 2. OBJETIVO

El propósito de este artículo es visibilizar las contribuciones de Rosalind Franklin (1920-1958) al descubrimiento del ADN, desafíos y su legado como referente para mujeres en STEM. El análisis de su trayectoria revela patrones de exclusión que actualmente persisten y perpetúan la brecha de género en ciencia.

## 3. DESCUBRIENDO EL LEGADO DE ROSALIND FRANKLIN

### 3.1. VIDA Y TRAYECTORIA ACADÉMICA

Rosalind Elsie Franklin nació el 25 de julio de 1920, en Londres. Tuvo cuatro hermanos: David, Colin, Roland y Jenifer, de los cuales, ella era la segunda hermana mayor. Su padre se llamaba Ellis Franklin (1894–1964), originario de una familia de Polonia que emigró a Inglaterra en el siglo XVIII. Por otra parte, su madre, Muriel Walley (1894–1976), provenía de una familia de ascendencia judía (Fresquet Febrer, 2017) destacada por conformarse de profesores, intelectuales y parlamentarios. Cabe mencionar que su familia era de posición acomodada. El tío de su padre, el vizconde Herbert Louis Samuel, fue el primer judío practicante en formar parte de un gabinete británico. Por otra parte, su tía Helen fue una de las primeras sufragistas en Gran Bretaña (López, 2023).

Desde muy joven su brillantez intelectual fue notable, según su tía, era “alarmantemente inteligente” (“*alarmingly clever*”) (López, 2023). La posición económica familiar permitió que la joven Rosalind Franklin acudiera a los mejores colegios de Inglaterra.

Su primer colegio fue la Escuela Norland Place, cuando ella tenía 6 años. Tres años después, a los 9 años de edad, ingresó a la Escuela Lindores para señoritas, ubicada en Sussex. Uno de los principales motivos del cambio de localización fue su salud delicada en ese momento, pues Sussex era considerado un entorno más saludable. A los 11 años ingresó en la Escuela St. Paul para señoritas, en donde mostró grandes resultados académicos en química, física, en el estudio del latín y deportes como el críquet y el hockey (Baena, 2024). Además, aprendió alemán y a hablar francés con fluidez (Montano, 2022).

En 1938 Franklin ingresó al Newnham College de Cambridge para realizar su carrera universitaria en Ciencias Naturales (física y química). Durante su formación universitaria su desempeño fue muy notable, logrando graduarse en física y química en 1941 (Montano, 2022), aunque por esos años la Universidad de Cambridge aún no otorgaba el grado de licenciatura a las mujeres (Fresquet Febrer, 2017).

En consecuencia a sus títulos y distinciones honoríficas como estudiante, fue acreedora a una beca universitaria para continuar con sus estudios de doctorado en el laboratorio de Física y Química de la Universidad de Cambridge, tutorada por Ronald George W. Norrish (Premio Nobel de Química en 1967). Sin embargo, ella no se sentía cómoda con su tutor (Sánchez, 2021) por su falta de entusiasmo y su trato (Fresquet Febrer, 2017), refiriéndose a él como un tipo “bebedor” y “prepotente”, al no establecer una buena relación de colaboración (Baena, 2024); renunció al laboratorio. Para fortuna de Franklin, en 1942 le ofrecieron colaborar como asistente en la Asociación Británica para la Investigación del uso del Carbón (*British Coal Utilisation Research Association*), en ese momento fue un organismo muy importante durante el conflicto mundial (Montano, 2022).

En ese laboratorio, pudo estudiar diversas características del carbón, tales como: su porosidad, capacidad de combustión y eventualmente, su uso para constituir aparatos de guerra. Con esta información realizó su tesis doctoral titulada “*The Physical Chemistry of Solid Organic Colloids with Special Reference to Coal and Related Materials*” (Rosalind Franklin University of medicine and science, 2015) y así defender su tesis en 1946 (Montano, 2022), por la cual fue reconocida con honores, al haber logrado la segunda mejor calificación en el examen final. A pesar de su notable desempeño, su título académico fue otorgado hasta 1947, pues fue hasta ese año cuando la Universidad de Cambridge comenzó a conceder los títulos retroactivos de nivel licenciatura y maestría a las mujeres (Baena, 2024).

Al terminar sus estudios de doctorado se mudó a París en busca de trabajo. En esta etapa de su vida, su amiga Adrienne Weill tuvo un papel importante. En 1946, Weill la invitó a una conferencia y le presentó a Marcel Mathieu, que fungía como director del Centro Nacional de Investigación Científica de Francia (Montano, 2022). Como consecuencia de dicho encuentro, estableció contacto con Jacques Mering, y en 1947 comenzó a trabajar con él como becaria postdoctoral en el Laboratorio Central de Servicios Químicos del Estado en París (*Laboratoire Central des Services Chimiques de l'Etat*). Durante su estancia desarrolló grandes habilidades, entre ellas, la técnica de difracción de rayos X, de la cual fue pionera. Durante esa época también tuvo la oportunidad de conocer a William Bragg hijo y Max Perutz, que desarrollaban sus investigaciones en cristalografía (Tapia Navarro, 2022).

### 3.2. DESARROLLO DE HABILIDADES EN LA TÉCNICA DE CRISTALOGRAFÍA DE RAYOS X

En París, Franklin se sintió cómoda ante la aceptación de las mujeres científicas, en comparación con Inglaterra (Montano, 2022). Trabajando junto a Mering aprendió la técnica de cristalografía de rayos X. Esta técnica fue empleada por Mering para el estudio de gases y líquidos. Aplicó sus habilidades técnicas para el estudio del carbón, logrando establecer las bases de su conocimiento físico y químico (Sánchez, 2021). Su manejo de la técnica de difracción de rayos X fue excelso, convirtiéndose en una de las máximas representantes en la técnica de difracción de rayos X a nivel mundial. Ella aún no lo sabía, pero el uso de esta técnica con su alto grado de destreza fue la piedra angular para su posterior estudio del ADN (Montano, 2022).

Rosalind permaneció en París hasta 1951, tiempo que fue muy productivo para ella, pues publicó una gran cantidad de trabajos, de los cuales destacan: “*The interpretation of diffuse X-ray diagrams of carbon*” y “*Acta Crystallographica*”, publicados en 1950 (Tapia Navarro, 2022). Los trabajos de Franklin llamaron la atención por su rigurosidad, su gran detalle, estructura y alta calidad de las conclusiones (Álvarez, 2015).

Después de su estancia en París, regresó a Gran Bretaña, a su regreso se le ofreció una beca en el King’s College de la Universidad de Londres, bajo la dirección de John Randall, para incorporarse a la investigación de la estructura del ADN al lado de Maurice Wilkins, graduado y doctorado en Física (Tapia Navarro, 2022).

En esa época, la dilucidación de la estructura molecular del ADN era de principal interés para tres grupos de trabajo: el grupo liderado por Linus Pauling (Nobel de Química, 1954), en el Instituto de Tecnología de California (CalTech) (Álvarez, 2015); Francis Crick y James Watson, de la Unidad del Consejo de Investigación Médica, liderada por Max Perutz, ubicada en el Laboratorio Cavendish de la Universidad de Cambridge (AcademiaLab, 2025); y Maurice Wilkins y Rosalind Franklin del King’s College de Londres, liderados por el físico John T. Randall (Acevedo-Díaz & García-Carmona, 2016).

### 3.3. LOGROS Y DIFICULTADES EN EL KING’S COLLEGE

Randall asignó a Franklin un proyecto de investigación para estudiar el ADN mediante técnicas cristalográficas, con el objetivo de completar un equipo interdisciplinario de físicos, químicos y biólogos (Acevedo-Díaz & García-Carmona, 2016). Fue justamente durante esa etapa en la cual Franklin se enfrentó a desafíos marcados principalmente por su condición de mujer en el área científica.

Ella entendió que se le proponía un trabajo; sin embargo, la posición que Franklin ocuparía no quedó del todo clara cuando se incorporó (Acevedo-Díaz & García-Carmona, 2016). Franklin y Wilkins no pudieron colaborar entre sí desde un inicio, debido a sus personalidades y malos entendidos; por una parte, Franklin creía que la contrataban con la misma categoría que Wilkins; por la otra, él la veía como una subordinada y la hacía sentir solo como una ayudante. Adicionalmente, John Randall nunca definió claramente los roles de cada uno. Ante esta situación, ella trabajaba en solitario, apoyada por su estudiante de doctorado, Raymond Gosling (Álvarez, 2015).

Mientras Franklin trabajaba en el King's College de Londres, notó que había restricciones muy irritantes hacia las mujeres, por ejemplo, no tenían autorizado tomar café en la sala de profesores, ya que solo era permitido a los hombres. Era de conocimiento general que las mujeres que formaban parte del personal del King's College, nunca alcanzarían la misma posición y rango de los hombres. Esta situación, tomada con naturalidad por parte de los hombres, fue evidenciada por Franklin, debido a estas acciones causó incomodidades entre algunos investigadores, entre ellos a Watson que la catalogó como una *"feminista"*, recalcando su desdén hacia ella en su libro *"La doble hélice"*, la cual refleja su punto de vista muy personal del descubrimiento de la estructura del ADN, al expresar que *"el mejor lugar para una feminista era el laboratorio de otra persona"* (Angulo, 2014). Esta declaración fue una clara expresión de la desigualdad de género y el rechazo, en aquellos años, de la labor científica femenina; sin embargo, dichos aspectos en la actualidad siguen persiguiendo a las mujeres en las diversas áreas científicas y durante su formación académica.

A pesar del entorno poco amable, Franklin y Gosling obtuvieron fotos cada vez más nítidas del ADN, empleando la difracción de rayos X. Se podría decir que los avances más importantes para esclarecer la estructura del ADN, fueron aportados por Franklin, entre enero de 1951 y junio de 1952 (Acevedo-Díaz & García-Carmona, 2016). Sus trabajos evidenciaron la existencia de dos formas del ácido nucleico: la seca (forma A) y la hidratada (forma B), de ambas se obtenían imágenes muy distintas. La forma hidratada mostraba una probable estructura helicoidal, que orientaba a los fosfatos hacia fuera de las cadenas formadas por ribosas. Por otra parte, el análisis matemático inicial de la forma seca no presentaba evidencia de una estructura helicoidal; sin embargo, al cabo de una evaluación rigurosa, a principios de de 1953, se logró determinar que tanto la forma seca como la hidratada poseían dos hélices (Vicente, 2008).

Franklin, determinó que las dificultades en los intentos para interpretar las imágenes de rayos X del ADN, obtenidas hasta ese momento, residían en que se intentaba

analizar una mezcla de las formas A y B, como si se tratasen de una fase única. Con sus estudios, logró evidenciar que las formas A y B eran reversibles entre sí y su coexistencia como mezcla de ambas (Acevedo-Díaz & García-Carmona, 2016).

En 1951, expuso los avances a sus colegas del King's College; a dicha plática acudieron James Watson y Francis Crick, por invitación de Maurice Wilkins, fue entonces cuando se enteraron del trabajo de Franklin (ArgenBio, 2025).

En cuanto Watson y Crick, se enteraron de los trabajos de Franklin, tuvieron gran interés en ellos; sin embargo, no fue hasta 1953 cuando tuvieron acceso total, con apoyo de Maurice Wilkins, quien cometió uno de los actos más cuestionables en la historia de la ciencia, al compartir con Watson y Crick datos y fotos de los resultados obtenidos por Franklin y Gosling, en la mayoría de los casos sin que ella lo supiera y sin que ninguno de ellos le otorgara crédito a su aportación. Fue en el mes de enero de 1953, cuando Watson y Crick observaron tres fotografías del ADN obtenidas por Franklin y Gosling, empleando la técnica de difracción de rayos X, entre ellas, la que más les llamó la atención fue la número 51, obtenida el 6 mayo de 1952. Para obtenerla, Franklin perfeccionó los dispositivos que usó, y empleó una exposición de 100 horas (Martins, 2022). Esta imagen fue fundamental para establecer los principios físico-matemáticos de la estructura del ADN pues al analizarla matemáticamente proporcionaba parámetros, tales como: el diámetro de la molécula, ángulo de inclinación de las bases y el número de cadenas de la molécula (Acevedo-Díaz & García-Carmona, 2016). Con toda esa información, ella pudo haber realizado una propuesta inicial del modelo del ADN, sin embargo, su rigor científico le dictaba que eran necesarias más pruebas para poder establecer un modelo con certeza. A diferencia de ella, Watson y Crick, recibieron información y ayuda de diversas fuentes, comenzando por Max Perutz, famoso cristalógrafo de su época y miembro del *Medical Research Council*, quien en diciembre de 1952 recibió de Randall una copia de un informe con la descripción de los trabajos más recientes realizados en su laboratorio, entre ellos se incluía un resumen de Franklin y Gosling realizado que mostraba los resultados de sus estudios de difracción de rayos X con el ADN. Este informe era parte de un encuentro realizado por el *Medical Research Council*, con el objetivo de promover y dar a conocer investigaciones de biofísica relacionadas con el área médica. El documento no estaba catalogado como “confidencial”, por eso Perutz se lo proporcionó a Crick, cuando él le solicitó leerlo. Cuando Crick tuvo acceso a esta información fue cuando le surgió la idea de la existencia de dos cadenas antiparalelas (Acevedo-Díaz & García-Carmona, 2016). Con esas imágenes, y otros datos, Watson y Crick concluyeron la estructura molecular correcta del ADN y fue publicada en la revista *Nature* el 25 de abril de 1953, el trabajo

fue titulado “*A Structure for Deoxyribose Nucleic Acid*” (páginas 737-738). En ese mismo número de la revista, Wilkins, Stokes y Wilson, publicaron un artículo titulado “*Molecular Structure of Deoxypentose Nucleic Acids*” (páginas 738-740) y finalmente el artículo de Franklin y Gosling titulado “*Molecular Configuration in Sodium Thymonucleate*” (páginas 740-741), éste último proporcionaba la evidencia experimental sobre la estructura molecular del ADN, indicando que la forma B del ADN era consistente con una estructura helicoidal (Acevedo-Díaz & García-Carmona, 2016).

El orden de publicación de los tres artículos mencionados, influyó en su impacto, pues más allá de ser considerado como una base clave para la elucidación de la estructura del ADN, el artículo de Franklin y Gosling fue considerado como una comprobación del mismo (Vicente, 2008). Sin la foto 51, el reporte para el *Medical Research Council* y los cálculos matemáticos realizados por Franklin para plantear el modelo genérico de hélice del ADN, Watson y Crick no habrían podido presentar un modelo tan detallado de la estructura del ADN, pues carecían de datos físicos que apoyaran su planteamiento (Martins, 2022).

#### 3.4. DESPUÉS DEL KING 'S COLLEGE

A principios de 1953, Franklin ya se sentía exhausta del entorno King's College y la desaprobación por parte de Wilkins, por lo que decidió trasladarse al Birkbeck College, dirigido por John Desmond Bernal (ArgenBio, 2025), en consecuencia, Randall le solicitó no seguir dirigiendo a Gosling y trabajar en otra línea de investigación que no fuera sobre el ácido nucleico, a través de una carta con tintes de sarcasmo e hipocresía hacia Franklin (Vicente, 2008), por lo que su investigación sobre el ADN terminó al trasladarse al Birkbeck College, cerca de febrero de 1953. Esta acción fue una muestra de actitud poco amistosa del grupo de trabajo del King's College hacia Franklin.

Fue durante el periodo en el que Franklin salía del King's College cuando Gosling le proporcionó, entre otros materiales, la fotografía 51 a Wilkins, quien para ese momento fungía como su superior (Martins, 2022), al ya no estar Franklin en dicho laboratorio; de esa forma Watson y Crick pudieron acceder sin restricción a la información de los experimentos no publicados de Franklin, que proporcionaba evidencia experimental sobre la estructura molecular del ADN (Acevedo-Díaz & García-Carmona, 2016).

En marzo de 1953 se integró al Birkbeck College, en donde encontró un entusiasta apoyo en John Desmond Bernal en cuyo laboratorio estudió y estableció la estructura tridimensional del virus del mosaico del tabaco (TMV) empleando métodos de difracción de rayos X (Álvarez, 2015), fue el primer virus cuya estructura se pudo determinar con

detalle y claridad sin precedentes, y se empleó como referencia para el posterior estudio de otros virus; sus excelentes publicaciones y amplio conocimiento la posicionaron como autoridad en el estudio de los virus y una extraordinaria cristalógrafa (Lara, 2006).

Franklin trabajó formó su equipo de investigación con financiación del Consejo de Investigación en Agricultura, y lograron determinar que el TMV posee una molécula de ARN helicoidal envuelto por una estructura proteica formando un cilindro con el centro hueco (Fresquet Febrer, 2017).

A inicios de 1954, Franklin colaboró con Aaron Klug (Nobel de química en 1982), siendo una etapa muy productiva. En 1955, publicó en *Nature* los resultados de sus estudios sobre el TMV, en donde destacó la uniformidad en la longitud de todas las partículas virales. Posteriormente designó a Kenneth Holmes como encargado de los estudios de TMV, con quien logró evidenciar que las proteínas formaban la cubierta del virus (Fresquet Febrer, 2017) (Méndez, 2020).

Trabajó con investigadores con impacto internacional, dirigió tesis doctorales y estableció buenos vínculos con otros científicos (Álvarez, 2015). Su labor científica en Birbeck fue extensa y muy relevante, prueba de ello son sus trabajos publicados antes y después de su fallecimiento (Méndez, 2020).

### 3.5. ENFERMEDAD Y FALLECIMIENTO

Durante los cinco años siguientes, mientras realizaba importantes avances en la determinación estructural del TMV, Franklin mantuvo una correspondencia activa y un trato amistoso con Watson y Crick, quienes también estudiaban aspectos de la estructura viral (Creager & Morgan), debido a la afinidad de sus estudios en ese momento, ella intercambiaba información con Watson sobre el TMV. A pesar de las opiniones de Watson sobre Franklin, al parecer hubo un momento donde se logró establecer buena relación entre ellos, pues en 1954 viajó con él por los Estados Unidos. Por otra parte, en 1956 viajó por España con Crick y su esposa (ArgenBio, 2025).

Fue a mediados de 1956, durante un viaje por Estados Unidos, sufrió intensos dolores abdominales y sospechó de un problema de salud. En cuanto regresó a Inglaterra acudió al médico y su diagnóstico no demoró: cáncer de ovario; por lo que a finales de ese mismo año se sometió a una cirugía y se detectaron tumores en su abdomen. A pesar de su estado delicado de salud, alternó etapas de investigación con estancias en el hospital y siguió trabajando junto con su grupo generando como resultado: siete artículos publicados en 1956, y seis más publicados en 1957 (Méndez, 2020).

Desde entonces consideró la posibilidad de no poder concluir sus actividades e investigaciones que había comenzado (Fresquet Febrer, 2017), desafortunadamente a

finales de 1957, su salud se vio afectada nuevamente y decidió redactar su testamento (Méndez, 2020).

En 1958, La Real Sociedad de Londres le encargó un modelo estructural del virus del mosaico del tabaco para ser presentado por ella, en la famosa Exposición Universal de Bruselas. Esa presentación no pudo ser posible, pues falleció el 16 de abril de 1958, un día antes de comenzar dicho evento (Fresquet Febrer, 2017), a los 37 años de edad, a causa de bronconeumonía asociada a una carcinomatosis derivada del cáncer de ovario (Álvarez, 2015).

### 3.6. LA CONTROVERSIA: NOBEL DE MEDICINA Y FISIOLÓGÍA EN 1962 Y “LA DOBLE HÉLICE”

Rosalind Franklin pudo haber sido una de las ganadoras del Premio Nobel de Medicina y Fisiología en 1962, si hubiera vivido hasta esa fecha. Su muerte simplificó la selección para el comité, ya que el premio Nobel no puede ser otorgado póstumamente (Maureen, 1983).

Lo curioso fue que Franklin dio por correcto el modelo presentado por Watson y Crick, pero nunca supo que Watson y Crick habían accedido y empleado sus resultados aún no publicados para la elaboración del modelo estructural del ADN. Ella reconoció que contaban con la información que presentó en un seminario de 1951 y pensó que ésta fue la única información con que contaron. Debido a la falta del reconocimiento a sus aportaciones, es justo destacar el papel importante que tuvieron los estudios de Franklin en la elucidación de la estructura del ADN (Acevedo-Díaz & García-Carmona, 2016).

La omisión como autora de una de las principales evidencias para el esclarecimiento de la estructura del ADN, por parte Francis Crick, James Watson y Maurice Wilkins, como los galardonados por el premio Nobel de Medicina y Fisiología en 1962, otorgado *“Por sus descubrimientos sobre la estructura molecular de los ácidos nucleicos y su transcendencia en la transferencia de la información en el material vivo”*, dejó en claro la subestimación hacia ella, entre un ambiente científico dominado por hombres y en donde la actividad de las mujeres era vista como un evento disruptivo.

Entre las tres conferencias de Crick, Watson y Wilkins, se citaron 96 referencias, pero ninguna de ellas era de Franklin; sin embargo, fue ella quien aportó los datos para la demostración de la presencia de las dos formas del ADN (forma A y B), también determinó las dimensiones y la simetría de la forma B, con estos datos se evidenció que la estructura del ADN estaba compuesta de dos cadenas que se alineaban de forma antiparalela (Acevedo-Díaz & García-Carmona, 2016).

### 3.7. LEGADO

Actualmente, en el quehacer diario de la ciencia y la tecnología se cuenta con mujeres que lograron sobrevivir a ambientes representados principalmente por hombres y para ello, muchas tuvieron que someterse a prácticas misóginas (Santillán, 2021). Aunque se ha avanzado poco a poco respecto a la representación de las mujeres en la Ciencia, Tecnología, Ingeniería, y Matemáticas (STEM), aún es uno de los retos más relevantes (Rivas Sepúlveda & Lamas Huerta, 2024).

No queda duda de las importantes contribuciones de Rosalind Franklin sobre la estructura del carbón y el estudio del ARN viral; sin embargo, su mayor aportación a la ciencia fueron los estudios sobre la estructura del ADN; a pesar de ello, su reconocimiento internacional se ha logrado en las últimas dos décadas, pues en su época, el reconocimiento a su contribución fue ignorado (Montano, 2022).

Tuvieron que pasar varios años, y fue a mediados de los 70s que sus amigos cercanos, entre ellos Anne Sayre, publicaron libros y artículos para resaltar su contribución científica en la elucidación de la estructura del ADN (Fresquet Febrer, 2017) y a partir de los 90s este reconocimiento se generalizó (Montano, 2022). Sus aportes y su vida han sido inspiración para diversos reconocimientos, entre los que destacan:

- El Premio Rosalind Franklin, creado en 2001, por el Instituto Nacional del Cáncer de los Estados Unidos; actualmente se han entregado 20 premios a mujeres para reconocer su dedicación a la investigación del cáncer (National Cancer Institute, 2023).
- El Premio Rosalind Franklin, creado en 2003, por la Real Sociedad de Londres, otorgado a científicas jóvenes que hayan residido en el Reino Unido durante tres años o más; hasta este momento se han otorgado 21 premios a proyectos que promueven la contribución de las mujeres en las áreas STEM (The Royal Society, 2025).

## 4. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

El desarrollo económico y humano se alcanza con la contribución de cada uno de los miembros de la sociedad; sin embargo, la desigualdad de género impacta negativamente a la mujeres en el acceso a oportunidades, recursos, educación, empleo, ingresos y participación en la vida económica y social (Hernández-Mena & Magaña Medina, 2024), de esta forma las brechas de género disminuyen las oportunidades de mejoras y perspectivas novedosas para abordar los desafíos globales, nacionales y regionales actuales y futuros (ONU, 2022).

La historia de Franklin es evidencia de cómo el género, la actitud, la jerarquía y el poder influyen en el quehacer científico, limitando la visibilidad principalmente hacia las mujeres. Estos elementos influyeron sobre la vida profesional de Franklin, de tal forma que mientras Watson y Crick recibían reconocimiento global, ella no obtenía crédito por su trabajo (Milagros, 2003), invisibilizándola. Solo décadas después se reconoció que su trabajo fue esencial. Este patrón se mantiene en ciertas medidas y refleja cómo los sesgos de género distorsionan la atribución de méritos a las mujeres en diversas áreas.

Franklin se ha convertido en símbolo contra la desigualdad en ciencia y un ejemplo de la necesidad de reconocimiento e inclusión de los descubrimientos y avances de las mujeres en las áreas STEM. Su legado, actualmente impulsa iniciativas como el Premio Rosalind Franklin de La Real Sociedad de Londres, políticas de visibilización en libros de texto y redes de mentoría para mujeres en las ciencias.

Desafortunadamente, la omisión del reconocimiento a los aportes de Rosalind Franklin, no es el único caso, pues a través de la historia de la ciencia, han sido innumerables mujeres científicas que no han recibido el reconocimiento por sus aportes, a diferencia de colegas hombres, que sí recibieron reconocimiento (Camacho-Beltrán, 2023).

Por otra parte, el legado de Franklin nos demuestra que la excelencia científica no basta para superar sesgos de género; de acuerdo con Santillán (2021), para combatir los sesgos de género se requieren mecanismos transparentes de atribución de autoría, establecer protocolos contra el acoso académico, establecer políticas activas de mentoría y redes de apoyo, así como diseñar e implementar programas en los que el gobierno, en conjunto con la academia favorezcan la inclusión de género en disciplinas de STEM y fomentar la inserción laboral de las mujeres (Arredondo Trapero et al., 2019).

Adicionalmente, en América Latina se cuenta con una reducida participación de mujeres en áreas STEM, de acuerdo con Arredondo y colaboradores (2019) se puede observar que ser mujer aún es una desventaja en áreas de las ciencias, que se refleja al momento de optar por una carrera y al buscar un empleo en las disciplinas STEM. Este fenómeno también tiene una contribución cultural, por lo que debemos estimular a las niñas desde la infancia temprana para que confíen en sus habilidades y destrezas, desarrollen interés por la ciencia y la tecnología, estas acciones podrían ser unos primeros pasos para eliminar los prejuicios asociados a las carreras “para hombres” (Arredondo Trapero et al., 2019).

En México, 3 de cada 10 profesionistas con enfoque STEM, son mujeres; adicionalmente a la baja participación, el Instituto Mexicano para la Competitividad, A.C. (IMCO) determinó una brecha de ingresos entre hombres y mujeres, lo que impacta en la

tasa de participación femenina en estas áreas (Instituto Mexicano para la Competitividad, A.C., 2022).

La sobrevivencia de las mujeres dentro de espacios representados en su mayoría por hombres, han favorecido muchas injusticias (Santillán, 2021), por lo que es importante cambiar estas condiciones, para formar grupos de trabajo en donde hombres y mujeres gocen de un ambiente de trabajo cooperativo, con las mismas oportunidades para desarrollarse.

Finalmente, de la vida de Franklin, también podemos destacar la importancia de formar grupos de investigación en donde se impulse el trabajo en equipo, sin barreras y límites *invisibles*, solo de esa forma se podrán obtener más y mejores resultados, pues la unión logra más que las diferencias y el avance de la ciencia y la tecnología requiere los esfuerzos de todos y todas, tal como lo expresó Franklin:

“...Desde mi punto de vista todo lo que demanda la fe es creer que dando lo mejor de nosotros vamos a acercarnos al éxito y que el éxito de nuestros objetivos (mejorar el presente y el futuro de la humanidad) es algo que vale la pena lograr”. (Franklin, 1940, citado por Méndez, 2020)

## 5. CONSIDERACIÓN FINAL: EN RELACIÓN CON EL RECIENTE FALLECIMIENTO DEL DR. JAMES WATSON

James Dewey Watson, nació el 6 de abril de 1928, en la ciudad de Chicago, Illinois, Estados Unidos de América y falleció el 6 de noviembre del 2025 a la edad de 97 años, en Long Island, Nueva York. Desde muy joven mostró interés por la ciencia y en 1950 obtuvo su doctorado en zoología, dirigido por el biólogo italiano Salvador Edward Luria. Durante su formación profesional tuvo la oportunidad de relacionarse con genetistas y microbiólogos, lo que llevó a orientar sus estudios a la microbiología y a los bacteriófagos (Fernández & Tamaro, 2004). Entre 1951 y 1953 trabajó con Francis Crick en el Laboratorio Cavendish, de la Universidad de Cambridge. El inicio de su reconocimiento internacional comenzó cuando en 1953, publicó el modelo de la doble hélice del ADN, en colaboración con Francis Crick. Esta aportación revolucionó la biología y sentó las bases de la genética moderna y por lo cual recibieron el premio Nobel de Medicina en 1962 (Guevara Pardo, 2004).

Dentro de sus participaciones más destacadas se encuentra la dirección del *Cold Spring Harbor Laboratory* en Nueva York (Sánchez, 2025) y la dirección del Proyecto Genoma Humano de 1988 hasta 1992 (Fernández & Tamaro, 2004).

Su vida estuvo rodeada de aciertos y polémica desde la omisión del reconocimiento a las aportaciones de Franklin en la elucidación de la estructura del ADN, hasta posturas racistas expresadas públicamente; sin embargo es destacable su inagotable curiosidad

(Sánchez, 2025), perseverancia, tenacidad (Anderson, 1992) e inclinación hacia la ciencia desde temprana edad; así como su postura contra la posibilidad de patentar los genes humanos (Sánchez, 2025), principal motivo por el cual renunció al Proyecto Genoma Humano en 1992 (Anderson, 1992).

El legado de Franklin, así como la de Watson, nos muestra que el quehacer científico es influenciado por las acciones humanas. Si bien cada uno de los involucrados en la elucidación de la estructura del ADN contribuyeron notablemente, es probable que sin las barreras invisibles impuestas por la desigualdad de género, sometimiento y sentimiento de superioridad, los resultados pudieron haber sido más productivos. Debemos reconocer que en la ciencia, como actividad humana, tan importante es el impacto de los aportes científicos como la responsabilidad de nuestros actos hacia los demás.

## 6. AGRADECIMIENTOS

Para la elaboración de este escrito se contó con el apoyo de la SECIHTI en el año 2025.

## REFERENCIAS

AcademiaLab. (2025). *Laboratorio Cavendish*. Enciclopedia. <https://academia-lab.com/enciclopedia/laboratorio-cavendish/>

Acevedo-Díaz, J. A., & García-Carmona, A. (2016, mayo-agosto). *Rosalind Franklin y la estructura molecular del ADN: un caso de historia de la ciencia para aprender sobre la naturaleza*. Redalyc. <https://www.redalyc.org/pdf/5043/504373194002.pdf>

Álvarez, J. P. (2015, julio). Rosalind Franklin y el descubrimiento de la estructura del ADN. *Revista Médica Clínica Las Condes*, 26(4), 544-549. 10.1016/j.rmcl.2015.07.007

Angulo, E. (2014, Mayo 9). *El caso de Rosalind Franklin*. Mujeres con ciencia. <https://mujeresconciencia.com/2014/05/09/el-caso-de-rosalind-franklin/>

ArgenBio. (2025). *Rosalind Franklin, "La Dama Ausente de la Doble Hélice"*. Consejo Argentino para la información y el desarrollo de la Biotecnología. <https://www.argenbio.org/12575-rosalind-franklin-la-dama-ausente-de-la-doble-helice>

Arredondo Traperó, F. G., Vázquez Parra, J. C., & Velázquez Sánchez, L. M. (2019, Abril). STEM and Gender Gap in Latin America. *Revista de El Colegio de San Luis*, 9(18), 137-158. <https://doi.org/10.21696/rcsl9182019947>

Baena, M. (2024, enero 05). *Rosalind Elsie Franklin (1920-1958) "Descubridora del ADN"*. Ella es la Historia. <https://blogs.elespectador.com/cultura/ella-es-la-historia/rosalind-elsie-franklin-1920-1958-descubridora-del-adn/>

Creager, A., & Morgan, G. (2018, Junio). After the Double Helix: Rosalind Franklin's Research on Tobacco mosaic virus. *The History of Science Society*, 99, 239-272. 10.1086/588626

Fresquet Febrer, J. L. (2017, Febrero). *Epónimos y Biografías. Rosalind Franklin (1920-1958)*. Historia de la medicina. <https://www.historiadelamedicina.org/pdfs/franklin.pdf>

Gardner, H., & Gardner, H. (2023, Junio). (PDF) *STEM -STEAM: inicios, importancia y su relación con la educación técnica y la sociedad*. ResearchGate. Retrieved July 11, 2025, from [https://www.researchgate.net/publication/374951991\\_STEM\\_-STEAM\\_inicios\\_importancia\\_y\\_su\\_relacion\\_con\\_la\\_educacion\\_tecnica\\_y\\_la\\_sociedad](https://www.researchgate.net/publication/374951991_STEM_-STEAM_inicios_importancia_y_su_relacion_con_la_educacion_tecnica_y_la_sociedad)

Hernández-Mena, V., & Magaña Medina, D. E. (2024). Narrativas de mujeres en STEM: El apoyo social como elemento clave en el desarrollo profesional. *Journal of Behavior, Health & Social Issues*, 16(2), 15-23. <https://doi.org/10.22201/fesi.20070780e.2024.16.2.86720>

Lara, C. (2006). Rosalind Franklin y el descubrimiento de la estructura del DNA. Un estudio de caso sobre la (in)visibilidad de las mujeres en ciencia. *ArCiBel*. [https://archivoweb.amit-es.org/sites/default/files/pdf/publicaciones/catalina\\_lara\\_2006.pdf](https://archivoweb.amit-es.org/sites/default/files/pdf/publicaciones/catalina_lara_2006.pdf)

López, O. (2023, Diciembre 14). *La dama atrás del ADN: Rosalind Franklin (1920-1958)*. Historia Hoy. <https://historiahoy.com.ar/136303-la-dama-atras-del-adn-rosalind-franklin-1920-1958/>

Macho, M. (2014, Mayo 9). *El caso de Rosalind Franklin*. Mujeres con ciencia. <https://mujeresconciencia.com/2014/05/09/el-caso-de-rosalind-franklin/>

Martins, A. (2022, Mayo 6). *Foto 51: la fascinante historia detrás de la célebre imagen de Rosalind Franklin sobre la estructura del ADN*. BBC. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-61335659>

Maureen, J. (1983). Rosalind Franklin: From coal to DNA to plant viruses. *Journal of Chemical Education*. DOI: 10.1021/ed060p660

Méndez, B. S. (2020, Diciembre). Rosalind Franklin (1920-1958). *Química Viva*.

Milagros, O. (2003, Noviembre 16). La dama oscura del ADN. *El país*, 11.

Montano, J. (2022). *Rosalind Franklin: biografía, aportes, reconocimientos, obras*. Lifeder. Retrieved July 11, 2025, from <https://www.lifeder.com/rosalind-franklin/>

ONU. (2022, Febrero 11). *Necesitamos más mujeres en carreras STEM | ONU Mujeres - América Latina y el Caribe*. ONU Mujeres. <https://lac.unwomen.org/es/stories/noticia/2022/02/necesitamos-mas-mujeres-en-carreras-stem>

Rivas Sepúlveda, E., & Lamas Huerta, P. A. (2024). Más allá de los estereotipos: participación de mujeres en carreras tecnológicas y STEM. *Revista Educación Superior y Sociedad (ESS)*, 36(2), 247-271. <https://doi.org/10.54674/ess.v36i2.903>

Rosalind Franklin University of medicine and science. (n.d.). *Dr. Rosalind Franklin*. Rosalind Franklin University. Retrieved Noviembre 3, 2025, from <https://www.rosalindfranklin.edu/about/facts-figures/dr-rosalind-franklin/>

Sánchez, E. (2021, Diciembre 2). *Rosalind Franklin: biografía y aportes de esta química británica*. Psicología y Mente. <https://psicologiymente.com/biografias/rosalind-franklin>

Santillán, M. L. (2021, Noviembre 25). *Perspectiva de género en la ciencia, una forma de erradicar las violencias*. Ciencia UNAM. <https://ciencia.unam.mx/leer/1198/perspectiva-de-genero-en-la-ciencia-una-forma-de-erradicar-las-violencias>

Tapia Navarro, C. (2022, octubre 06). *Mujeres que merecieron el premio Nobel y no lo recibieron: Rosalind Franklin y el ADN*. Mujeres en la Ciencia. <https://quo.eldiario.es/ciencia/q2210395956/mujeres-que-merecieron-el-premio-nobel-y-no-lo-recibieron-rosalind-franklin-y-el-adn>

UNESCO. (2021, Junio 7). *Porcentaje de mujeres en el número total de investigadores de los países del G20 en el periodo 1996-2018*. UNESCO. <https://www.unesco.org/reports/science/2021/es/dataviz/women-share>

Vicente, M. (2008, agosto 11). *Jaque a la dama: Rosalind Franklin en King's College*. [https://xtal.iqfr.csic.es/Cristalografia/archivos\\_10/jaque\\_a\\_la\\_dama.pdf](https://xtal.iqfr.csic.es/Cristalografia/archivos_10/jaque_a_la_dama.pdf)

## SOBRE O ORGANIZADOR

**Manuel Simões** é licenciado em Engenharia Biológica e doutorado em Engenharia Química e Biológica. Atualmente é Professor Associado com Agregação e Pró-Diretor da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), e investigador sénior do Laboratório de Engenharia de Processos, Ambiente, Biotecnologia e Energia (LEPABE) do Departamento de Engenharia Química da FEUP. Nos últimos anos esteve envolvido em 10 projetos nacionais (5 como investigador principal) e 6 projetos europeus. Foi membro do comité de gestão da ação COST BACFOODNET (Rede Europeia para Mitigação da Colonização e Persistência Bacteriana em Alimentos e Ambientes de Processamento de Alimentos) e esteve envolvido em outras 2 ações: iPROMEDAI e MUTALIG. Manuel Simões tem mais de 190 artigos publicados em revistas indexadas no Journal of Citation Reports, 4 livros (1 como autor e 3 como editor) e mais de 40 capítulos em livros. Ele é Editor Associado para o jornal Biofouling - The Journal of Bioadhesion and Biofilm Research (o periódico mais antigo sobre pesquisa em biofilme), Editor Associado para o jornal Frontiers in Microbiology e Section Editor-in-Chief para o jornal Antibiotics. Seus principais interesses de pesquisa estão focados nos mecanismos de formação de biofilme e seu controlo com agentes antimicrobianos, particularmente usando novas moléculas antimicrobianas, e no uso de microalgas para tratamento de efluentes. É um dos investigadores mais citados do mundo (top 1%), tendo sido distinguido nos últimos dois anos no índice Essential Science Indicators, um dos mais prestigiados indicadores da qualidade de investigação.

Identificação SCOPUS: 55608338000; No orcid: 0000-0002-3355-4398

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Aguas contaminadas 47, 48, 49, 53

Aguas residuales 37, 44, 52, 53

Aplicación 1, 2, 4, 12, 26, 44, 48, 53, 58

### B

Bicapas fosfolipídicas 1

Biomosas naturales 44, 48, 52

Biorremediación 37, 42, 44, 52, 53

Buenas prácticas clínicas (BPC) 54

### C

Cacahuete 47, 48, 49, 50, 52

Caña de azúcar 36, 37, 38, 39, 46

Coordinador de investigación clínica (CRC) 54

Cristalografía de rayos X 77, 80

Cromo (VI) 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 45, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53

Cuidar 65, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 75, 76

Culture 30

### E

Ecophysiology 29, 30

Encapsulación de ingredientes activos 1, 2

Enfermagem 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 73, 74, 75, 76

Ensayos clínicos 54, 55, 56, 57, 59, 60, 61

Estabilidad y biodisponibilidad 1

Estructura del ADN 77, 80, 81, 82, 83, 85, 86, 88, 89, 90

Ética 54, 56, 57, 58, 59, 61, 64, 65, 67, 68, 69, 70, 71, 73, 75

Etnofarmacología 16, 17

### G

Gestión de estudios clínicos 54

## I

Inflamación 17, 21

## M

Management 29, 30, 34, 55

Medicina Tradicional 16, 17, 26

Melitina tetramérica 1, 4, 8, 9, 11

Mujeres en áreas STEM 77, 87

## N

Nanopartículas de PLGA 1, 4, 8, 9, 10, 11, 13

## O

Optimization 30

## P

Plantas medicinales 16, 17, 18, 26, 28

*P. reticulata* 29, 30, 32, 33, 34

Principialismo 65, 71

Profesionalización en la investigación 54

## R

Remoción 36, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 48, 49, 50, 51, 52, 53

Rosalind Franklin 77, 78, 79, 80, 85, 86, 87, 89, 90, 91

## S

*Salvia purpurea* 16, 17, 21, 22, 27, 28

