

Macrófago adherido a placa de cultivo celular (14 μm) usando microscopia electrónica de barrido (SEM). Universidad Federal de São Paulo, Brasil



COMITÉ EDITORIAL

JUAN CARLOS URRIAGO FONTAL
Director

ALEXANDER ROMERO SÁNCHEZ
Editor-in-Chief

JULIÁN DAVID SALCEDO MOSQUERA
Editor Asociado
Unidad Central del Valle del Cauca

JENNIFER CASTELLANOS GARZÓN
Editor Asociado
Unidad Central del Valle del Cauca

JUAN SEBASTIÁN HENAO AGUDELO
Editor Asociado
Unidad Central del Valle del Cauca

ANDRÉS REY PIEDRAHÍTA
Editor asociado
Unidad Central del Valle del Cauca

ÁNGEL ROLANDO ENDARA AGRAMONT
Editor de sesión
Universidad Autónoma del Estado de México, México

CARLOS EDUARDO AGUDELO MORALES
Editor de sesión
Universidad Nacional de Colombia.
Campus Palmira

ANDRÉS MAURICIO POSSO TERRANOVA
Editor de sesión
Universidad Nacional de Colombia.
Campus Palmira

ALEXANDRA TORRES NAVARRETE
Editora de sesión
Universidad Estatal Amazónica,
Ecuador

DIEGO GERALDO CAETANO NUNEZ
Editor de sesión
Universidade Federal de Rondônia (UNIR),
campus Presidente Médici, Brasil

JAIME MORANTES CARRIEL
Editor de sesión
Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador

JOSÉ LUIS CHAVEZ SERVIA
Editor de sesión
Instituto Politécnico Nacional IPN, México

SEBASTIÁN PEÑA FRIAS
Editor de sesión
Universidad de Chile, Chile

MARÍA LUISA ÁVILA AGÜERO
Editora de sesión
Hospital Nacional de Niños,
Costa Rica

Gestor Editorial:
Hernando Perdomo Gómez

E-mail:
magnascientia.uceva@uceva.edu.co

Página Web:
<http://revistas.uceva.edu.co/index.php/magnascientia>

Editorial:
Unidad Central del Valle del Cauca-UCEVA

Sometimiento de Manuscritos:
<http://revistas.uceva.edu.co/index.php/MagnaScientiaU/about/submissions>

Licencia Creative Commons:



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Política
de acceso abierto

COMITÉ CIENTÍFICO

MEV DOMINGUEZ VALENTIN
Institute for Cancer Research
Oslo University Hospital Norway

PATRICK LAVELLE
Université Pierre et Marie
Curie France

RUBEN ÁNGEL MERCADO PEDRAZA
Facultad de Medicina
Universidad de Chile, Chile

MARÍA DEL CARMEN CUELLAR DEL HOYO
Facultad de Farmacia
Universidad Complutense de
Madrid, España

SALVADOR POCÓVI MARTÍNEZ
AIDIMME Technological Institute:
Paterna, España

MARÍA DOLORES RAIGÓN JIMÉNEZ
Universitat Politècnica de
València, España

LOR APPELBAUM
Bar Ilan University Ramat Gan, Israel

MARIOS CONSTANTINOU
University of Nicosia, Nicosia Cyprus

EWALD SIEVERDIN
University of Hohenheim, Germany

ANA ISABEL GONZÁLEZ GONZÁLEZ
Institute of General Practice, Goethe
University, Frankfurt-Gernary

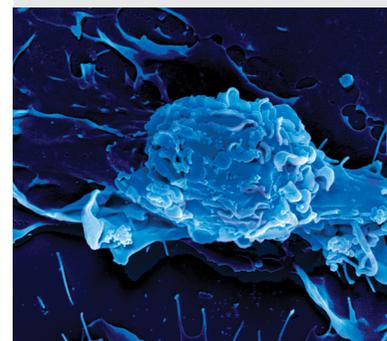
LILIAN CHUAIRE-NOACK
Universidad del Valle, Colombia Suecia

DANILO CANDIDO DE ALMEIDA
Universidade Federal de São Paulo, São
Paulo, Brasil

RAFAEL LUIZ PEREIRA
Universidade Federal do Paraná Brasil

CRISTIANO FAVA
Universidad de Verona Italia

FELIPE CASTRO DA SILVA
National Institute for Space Research Brazil



Créditos fotografía: Juan Sebastián Henao Agudelo, MSc, PhD

Descripción: Macrófago adherido a placa de cultivo celular (14 µm), con membrana celular irregular, que presenta fuerte adherencia al plástico y múltiples pseudópodos que son esenciales para el proceso de la fagocitosis, los macrófagos de este experimento, fueron derivados de progenitores de médula ósea y diferenciados durante 7 días con el factor de crecimiento GM-CSF (factor estimulante de colonias de granulocitos y macrófagos). La fotografía de microscopía electrónica de barrido (SEM), fue tomada en el centro de microscopía electrónica de la Universidad Federal de Sao Paulo, Brasil.

Declaración de periodicidad

Magna Scientia UCEVA [ISSN 2805-6701 (en línea) 2805- 6884(impreso)] es publicada semestralmente en acceso abierto y gratuito. Entidad Editora: Unidad Central del Valle del Cauca. Carrera 27 A No. 48 -144 Kilómetro 1 Salida Sur. Tuluá, Valle del Cauca- Colombia, Sur América. Código Postal: 763022.

Enfoque y Alcance

Magna Scientia UCEVA, es una publicación científica que propende por el acceso libre, gratuito e inmediato a todos sus contenidos, con circulación internacional, financiada y editada por la Unidad Central del Valle del Cauca, cuya misión es difundir conocimiento científico de alta calidad sobre las Ciencias de la Vida y la Salud de acuerdo con el foco temático definido en la Misión de Sabios de MinCiencias. Publica artículos originales e inéditos con enfoque disciplinar y multidisciplinar en diversos aspectos relacionados con las Ciencias de la Vida y la Salud en el mundo.

Profesiones
de La Salud

Medicina

Estudios Sociales
de la Salud

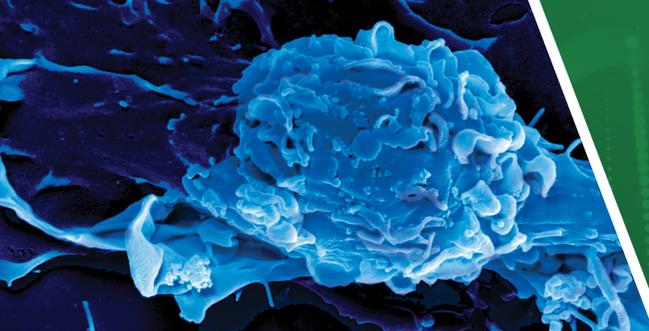
Ingeniería
Biomédica

Bioquímica,
Genética y Biología
Molecular

Ciencias
de la Vida

Ciencias
Ambientales

Ciencias
Biológicas y
Agrícolas



GUÍA ABREVIADA PARA AUTORES

Magna Scientia UCEVA (ISSN en línea: 2805-6701 ISSN impreso: 2805-6884) es editada por la Unidad Central del Valle del Cauca, publicada semestralmente y se acoge a los lineamientos y recomendaciones emitidos por ICMJE, COPE, CSE y OECD.

Envío

Para enviar sus contribuciones debe iniciar con el proceso de registro en el enlace Registrarse (<http://revistas.uceva.edu.co/index.php/magnascientia/user/register>) que se encuentra ubicado en el apartado Envío de la página web de la revista Magna Scientia UCEVA (<http://revistas.uceva.edu.co/index.php/magnascientia/about/submissions>)

Magna Scientia UCEVA insta a sus usuarios a hacer uso de esta única ruta de sometimiento, es decir, a través de la herramienta Open Journal System; no se recibirán artículos vía e-mail. Se recomienda que el autor que someta su artículo a la revista Magna Scientia UCEVA, sea designado o sea el propio autor para correspondencia, quien se comprometerá a establecer contacto permanente con Magna Scientia UCEVA durante todo el periodo que tome el proceso editorial, al momento de someter el manuscrito, deberá diligenciar correctamente todos los metadatos vinculados con este proceso y adjuntar en formato Microsoft Office Word® (versión 2016 en adelante) su manuscrito. Las tablas y figuras, deberán ser enviadas por aparte en formato JPG, PNG, TIFF, PDF o incluso, en otro archivo Microsoft Office Word®. En caso de que el artículo sea aceptado, se pedirán todos estos archivos en alta resolución que hicieron parte en la estructuración del manuscrito.

Para dudas o inquietudes acerca del contenido del manuscrito, formateo, detalles técnicos, tipos de archivos y asuntos de la gestión y proceso editorial, por favor diríjase a magnascientia.uceva@uceva.edu.co

Lista de chequeo (preparación del manuscrito)

Se insta a toda la comunidad de autores de Magna Scientia UCEVA que hagan uso de esta lista de chequeo para realizar el envío efectivo de su manuscrito antes de iniciar el proceso de revisión editorial.

Asegúrese dar cumplimiento a los siguientes ítems:

- Uno de los autores ha sido designado como autor para correspondencia con estos datos de contacto: *i*) Dirección de correo electrónico institucional (no se admiten cuentas de correo personal); *ii*) Dirección de correspondencia completa incluido código postal (cuando aplique).
- Se han adjuntado todos los archivos necesarios que componen el manuscrito
- El manuscrito ha sido formateado en Microsoft Office Word® a una sola columna con interlineado 1.5 con números de línea continua para facilitar el proceso de revisión editorial (peer review).
- Todas las tablas y figuras han sido ubicadas al final del documento justo después de las referencias bibliográficas.
- Todas las figuras y tablas cuentan con su respectiva descripción y su licencia creative commons cuando aplique.
- Se ha obtenido permiso para el uso del material con derechos de autor de otras fuentes (incluidas las fuentes de internet)
- Se incluyeron las palabras clave con base en tesauros especializados según el área de conocimiento. Se insta a que no repita todas las palabras incluidas en el título.
- Todas las referencias bibliográficas han sido estructuradas con un gestor bibliográfico como Mendeley o EndNote y ajustadas al estilo Vancouver.
- Todas las referencias mencionadas en la lista de referencias están citadas en el texto y viceversa
- Se ha diligenciado totalmente y firmado por cada uno de los autores, la carta de consentimiento de autores, la cual, contiene una declaración sobre autoría, conflicto de intereses, ética y financiación.
- Se ha revisado al detalle la política editorial de la revista Magna Scientia UCEVA.

Estudios en humanos y animales

Si el trabajo implica el uso de sujetos humanos, el autor debe asegurarse de que el trabajo descrito se ha llevado a cabo de acuerdo con el Código de Ética de la Asociación Médica Mundial (Declaración de Helsinki) para experimentos con humanos. El manuscrito debe estar en línea con las recomendaciones para la realización, presentación de informes, edición y publicación de trabajos académicos en revistas médicas y apuntar a la inclusión de poblaciones humanas representativas (edad y etnia) según esas recomendaciones.

Los términos sexo y género deben usarse correctamente. Los autores deben incluir una declaración en el manuscrito de que se obtuvo el consentimiento informado para la experimentación con sujetos humanos Siempre se deben respetar los derechos de privacidad de los sujetos humanos.

Todos los experimentos con animales deben cumplir con las pautas de ARRIVE y deben llevarse a cabo de acuerdo con la Ley de Animales (Procedimientos Científicos) del Reino Unido de 1986 y las pautas asociadas, UE Directiva 2010 63 /UE para experimentos con animales, o la guía de los Institutos Nacionales de Salud para el cuidado y uso de animales de laboratorio (Publicaciones de los NIH No 8023 revisada en 1978 y los autores deben indicar claramente en el manuscrito que se han seguido dichas pautas. Debe indicarse el sexo de los animales y, en su caso, la influencia (o asociación) del sexo en los resultados del estudio.

Declaración de Conflictos de Interés

Todos los autores deben revelar cualquier relación financiera y personal con otras personas u organizaciones que puedan influir de manera inapropiada (en su trabajo). Ejemplos de posibles conflictos de intereses incluyen empleo, consultorías, propiedad de acciones, honorarios, testimonio de un experto pagado, solicitudes de patente / inscripciones y subvenciones u otro tipo de financiación.

Tipos de Artículos

Magna Scientia UCEVA recibe artículos en español y en inglés. Para su recepción, evaluación y publicación, se considerarán los artículos de investigación científica, artículos de reflexión, artículos de revisión y reportes de caso según la tipología establecida por MinCiencias en el Documento Guía del Servicio Permanente de Indexación de Revistas de Ciencia, Tecnología e Innovación Colombianas, los cuales se describen a continuación:

Artículo de investigación científica (original e inédito)

Es un documento que presenta, de manera detallada, los resultados originales de proyectos terminados de investigación. La estructura generalmente utilizada contiene los siguientes apartados: introducción; materiales y métodos; resultados; discusión y conclusiones. Se invita a la comunidad de autores a que presenten la sección de Resultados y Discusión por separado, que no las presenten unidas, esto con el fin de facilitar el proceso de revisión editorial. Está compuesto de 3500-5000 palabras y máximo 30 referencias bibliográficas.

Artículo de reflexión

Es un documento que presenta resultados de investigación desde una perspectiva analítica, interpretativa o crítica del autor, sobre un tema específico; recurriendo a fuentes originales. Está compuesto de 3000-5000 palabras y máximo 30 referencias bibliográficas.

Artículo de revisión (invitación directa del Comité Editorial)

Es un documento resultado de una búsqueda de información donde se analizan, sistematizan e integran los resultados de investigaciones publicadas o no publicadas, sobre un campo en ciencia o tecnología, con el fin de dar cuenta de los avances y las tendencias de desarrollo. Consta de un rango de 8000-12000 palabras y de 60 -80 referencias bibliográficas.

Reporte de caso

Documento que presenta los resultados de un estudio sobre una situación particular con el fin de dar a conocer las experiencias técnicas y metodológicas consideradas en un caso específico. Consta de mínimo 2000 palabras y mínimo 20 referencias bibliográficas. Los trabajos deben ser inéditos y sometidos exclusivamente a consideración de Magna Scientia UCEVA, se exceptúa la reproducción, con permiso del autor o editor, de artículos de especial interés en repositorios pre-print oficiales.

Contenido

Editorial

- Apuesta institucional por una UCEVA más grande 2
Urriago Fontal, J (Colombia)
<https://doi.org/10.54502/msuceva.v1n1a1>

Medicina / Medicine

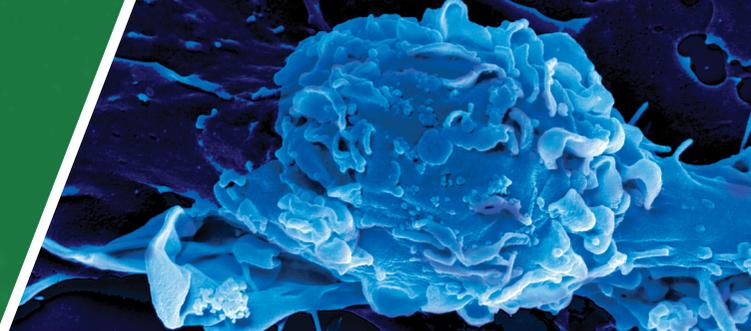
- Covid-19: impact in endothelial function and therapy with Mesenchymal stromal cells 6
Longo Freitas, C. Okochi Alves da silva, P. Phino Franco, M and Candido de Almeida, D. (Brasil)
<https://doi.org/10.54502/msuceva.v1n1a2>
- Parasitosis por anisakidos y otras ictiozoonosis ¿Qué riesgo representan para la salud humana en Colombia? 11
Castellanos Garzón, J. y Mercado, R. (Colombia, Chile)
<https://doi.org/10.54502/msuceva.v1n1a3>
- La influencia del inmuno-metabolismo macrofágico en la sepsis humana: se abre un nuevo paradigma 18
Henao Agudelo, J. y Lasso Palomino, R. (Colombia)
<https://doi.org/10.54502/msuceva.v1n1a4>

Profesiones de la Salud / Health Professions

- The power of health economics and outcomes research (HEOR) in making decisions that matter 25
Herrera Restrepo, O. (USA)
<https://doi.org/10.54502/msuceva.v1n1a5>
- El impacto sobre la salud colectiva de las conductas censurables en la investigación sanitaria 34
Silva Ayçaguer, L. (Uruguay)
<https://doi.org/10.54502/msuceva.v1n1a6>

Estudios Sociales de la Salud / Social Studies of Health

- Atención en salud a las mujeres víctimas de violencia sexual en un municipio de Colombia 43
Barragán Gamba, D. y Rojas, L. (Colombia)
<https://doi.org/10.54502/msuceva.v1n1a7>
- Deterioro cognitivo, ¿indispensable evaluarlo en una comunidad tercermundista? 52
Tascón, A. Rodas, G. Lozano, M. y Peñaranda, J. (Colombia)
<https://doi.org/10.54502/msuceva.v1n1a8>
- La investigación pedagógica formativa como estrategia pedagógica para desarrollar el potencial de aprendizaje y pensamiento científico 58
Iafrancesco Villegas, G. (Italia-Colombia)
<https://doi.org/10.54502/msuceva.v1n1a9>



Contenido

Ciencias Ambientales / Environmental Sciences

- Contradicciones de la Amazonía en el Brasil: Una nueva perspectiva 68
Caetano, C. y Caetano Nunes, D. (Brasil)
<https://doi.org/10.54502/msuceva.v1n1a10>
- ¿Planear un paisaje urbano conservativo en el sureste de México?
 Reflexiones para el caso de Tapachula, Chiapas 78
Almeida Cerino, C. Bertolini, V. y Martínez Trinidad, Tomás (México, Italia)
<https://doi.org/10.54502/msuceva.v1n1a11>

Ciencias Biológicas y Agrícolas / Agricultural and Biological Sciences

- El suelo auto organizado 84
Lavelle, P. (Francia)
<https://doi.org/10.54502/msuceva.v1n1a12>
- Evaluación de la eficacia, eficiencia técnica y coste de las tecnologías para el desarrollo de nuevos
 diseños vegetales: Mejora Genética vs Transformación Genética y Edición Génica 90
Martínez Gómez, P. (España)
<https://doi.org/10.54502/msuceva.v1n1a13>
- Microorganismos del suelo y sus usos potenciales en la agricultura frente al
 escenario del cambio climático 104
*Rosabal Ayan, L. Macías Coutiño, P. Maza González, M. López Vázquez,
 R. y Guevara Hernández, F. (México)*
<https://doi.org/10.54502/msuceva.v1n1a14>
- Mermelada de arándano y frambuesa: evaluación sensorial, nutricional y de aceptabilidad 118
Loyola López, N. y Acuña Carrasco, C. (Chile)
<https://doi.org/10.54502/msuceva.v1n1a15>
- Perspectiva agroecológica en el Antropoceno 131
Altieri, M y Nicholls, C. (Estados Unidos-Chile)
<https://doi.org/10.54502/msuceva.v1n1a16>

Editorial

Apuesta institucional por una UCEVA más grande

Institutional commitment for a greatest UCEVA

En el año de celebración de los 50 años de la UCEVA, se lanza la primera edición de Magna Scientia UCEVA, una revista que nace con la intencionalidad de convertirse en un vehículo de visibilidad y multiplicidad de diversos campos de expresión de resultados de investigación nacional e internacional. Esta primera intención de presentar resultados de investigación, se complementa con una selección de trabajos inéditos y originales provenientes de Francia, España, Estados Unidos, México, Cuba, Brasil, Chile y en representación de Colombia, cuatro trabajos de la Unidad Central del Valle del Cauca-UCEVA.

El número que se presenta, agrupa un total de 15 artículos que abordan una amplia gama de temáticas, tanto reflexivas como investigativas, las cuales resultan determinantes para atender el foco temático de Ciencias de la Vida y la Salud definido en la Misión de Sabios de MinCiencias; foco al que la revista responde en esencia.

La misión inquebrantable que exhibe toda revista científica y la que asume Magna Scientia UCEVA, es la de convertirse en un órgano de divulgación, de diálogo y de visibilidad de iniciativas y propuestas académico-científicas; convertirse en una revista que sirva de puente para trascender disciplinas, fronteras, desatender los límites geográficos y acudir a la relación colaborativa y al fomento de la cultura investigativa de la Institución. Esta primera edición de Magna Scientia UCEVA, ilustra de manera ejemplar, el compromiso de la Unidad Central del Valle del Cauca por impulsar la investigación con estándares de calidad y que la revista se convierta en la nueva apuesta institucional por una UCEVA más grande. A continuación, se esbozan los contenidos y aportes de cada uno de los artículos incluidos en este primer número de Magna Scientia UCEVA.

El número lo apertura una reflexión que hace parte de la sesión de *Medicina*, un trabajo elaborado por un grupo de investigadores de la Universidad Federal de São Paulo, Brasil; en el que se analiza la nueva pandemia de Beta coronavirus SARS-CoV-2 desde la óptica de la fisiopatología de la COVID-19 con impacto específico en la función endotelial y explorar la aplicabilidad efectiva de terapias basadas en células estromales mesenquimales (MSC) como tratamiento alternativo, donde gracias a este, se ha observado una reducción en los marcadores serológicos inflamatorios y un período de hospitalización mucho más corto. Este grupo de investigadores brasileños, finalmente argumentan que las terapias MSC, proporcionan una información valiosa en el curso de un nuevo tratamiento y se convierte en una estrategia para modular la función endotelial y de otros tejidos, específicamente en el contexto de la COVID-19.

El segundo artículo ha sido realizado por Jenniffer Castellanos de la UCEVA y Rubén Mercado de la Universidad de Chile, lleva por título “*Anisakidosis y otras ictiozoonosis ¿Qué riesgos representan para la salud humana en Colombia?*”, el texto lleva a cabo una reflexión en torno a la parasitosis ocasionada por nematodos de la familia Anisakidae, la cual se ocasiona por el consumo de pescado crudo o poco cocido y es considerado un fenómeno importante de salud pública a nivel mundial.

El tercer artículo, cierra la sesión de *Medicina* y es un aporte colombiano, una investigación que puso en evidencia la cohesión entre la UCEVA y el núcleo de investigación del hospital universitario Fundación Valle de Lili, líder en Latinoamérica en investigación clínica. Este trabajo del cual, se desprende la imagen que sirvió de carátula para la primera edición de Magna Scientia

In the 50th yearning of UCEVA, the first edition of Magna Scientia UCEVA is released, a journal born with the intention of becoming a vehicle for visibility and multiplicity of various fields of expression of national and international research results. This first intention of presenting research results is complemented by a selection of unpublished and original works from France, Spain, the United States, Mexico, Cuba, Brazil, Chile and on behalf of Colombia, four works from Unidad Central del Valle del Cauca-UCEVA.

The issue that is presented, groups a total of 15 articles that address a wide range of topics, both reflective and investigative, which are decisive to address the thematic focus of Life Sciences and Health defined in the Mission of Wise Men of MinCiencias; focus to which the journal responds in essence.

The unwavering mission that every scientific journal exhibits, and is assumed by Magna Scientia UCEVA, is to become a body for the dissemination, dialogue and visibility of academic-scientific initiatives and proposals; becoming a journal that serves as a bridge to transcend disciplines, borders, neglect geographical limits and resort to collaborative relationship and the promotion of the Institutional research culture. This first edition of Magna Scientia UCEVA, illustrates in an exemplary way, the commitment of the Unidad Central del Valle del Cauca to promote research with quality standards and the journal aims to become in the new institutional commitment for a greatest UCEVA. The contents and contributions of each included article in this first issue of Magna Scientia UCEVA, are outlined below.

The issue is opened by a reflection research paper that is part of the Medicine session, a work prepared by a group of researchers from the Federal University of São Paulo, Brazil; in which the new pandemic of Beta coronavirus SARS-CoV-2 is analyzed from the perspective of the pathophysiology of COVID-19 with specific impact on endothelial function and exploring the effective applicability of therapies based on mesenchymal stromal cells (MSC) as alternative treatment, where thanks to this, a reduction in inflammatory serological markers and a much shorter hospitalization period have been observed. This group of Brazilian researchers finally argue that MSC therapies provide valuable information in the course of a new treatment and become a strategy to modulate endothelial and other tissue function, specifically in the context of COVID-19.

The second article has been written by Jenniffer Castellanos from the UCEVA and Rubén Mercado from the University of Chile, and is entitled “*Anisakidosis and other ichthyozoonoses. What risk do they represent for human health in Colombia?*”, the text reflects on around parasitosis caused by nematodes of the Anisakidae family, which is caused by the consumption of raw or undercooked fish and is considered an important public health phenomenon worldwide.

The third article closes the Medicine session and is a Colombian contribution, a research that highlighted the cohesion between the UCEVA and the research nucleus of the Fundación Valle de Lili university hospital, Latin America's leader in clinical research.

This work, from which, the image that served as the cover for the first edition of Magna Scientia UCEVA, was written by the Ucevista researcher Juan

UCEVA, fue escrito por el investigador Ucevista Juan Sebastián Henao Agudelo y el Dr. Rubén Lasso Palomino, médico de la Unidad de Cuidados Críticos Pediátricos de la Fundación Valle del Lili, Cali-Colombia. En este artículo, se aborda la manera como el enfoque terapéutico se convierte en una alternativa de solución eficaz frente a los tratamientos usuales de la sepsis humana; tratamientos que usualmente incluyen la administración precoz de antibióticos y el mantenimiento hemodinámico de los pacientes.

El cuarto artículo, abre la sesión de *Profesiones de la Salud* (Health Professions), lo aporta el investigador Óscar Herrera Restrepo, director científico de resultados en salud en Glaxo Smith Kline (GSK), Crescent Drive-Philadelphia, EE. UU. El texto parte de una reflexión en torno al rol que la economía de la salud juega en la toma de decisiones en cuanto acceso al mercado y reembolso de nuevas tecnologías médicas y el poder de los estudios en economía de la salud con respecto a guiar discusiones sobre el valor añadido propuesto por las nuevas tecnologías médicas. El autor señala finalmente que este artículo, proporciona consideraciones clave para profesionales de la salud, estudiantes e instituciones interesadas en consolidar las capacidades analíticas alrededor del excitante y creciente campo de la economía de la salud.

El quinto artículo lo ha escrito Luis Carlos Silva Ayçaguer, un uruguayo radicado hace ya varios años en Cuba, desde donde ejerce la docencia en la Universidad de Ciencias Médicas de La Habana, Cuba. El autor presenta una contribución que lleva por título “El impacto sobre la salud colectiva de las conductas censurables en la investigación sanitaria”, el artículo se centra en la importancia que representan los peligros para la salud colectiva derivados de la manipulación que padece una parte de la investigación sanitaria contemporánea. Este investigador uruguayo concluye en su reflexión que, el impacto sobre la salud colectiva de las conductas censurables en materia de investigación no ha sido evaluados aún en toda su magnitud. Pero los desmanes están tan bien documentados y han sido tan reiterados que hoy día, se contempla la pertinencia de prohibir toda publicación financiada por la industria.

La sexta contribución, abre la sesión denominada *Estudios Sociales de la Salud*, una contribución autoral 100% UCEVA, que lleva como título “Atención en salud a las mujeres víctimas de violencia sexual en un municipio de Colombia”, en este artículo, se pone en evidencia la incidencia de esta problemática en Colombia y más concretamente, en Tuluá-Valle del Cauca. Esta problemática que estuvo tan invisibilizada durante mucho tiempo en el país, las autoras la exponen, enfatizando el tipo de atención que reciben actualmente las mujeres víctimas de violencia sexual en el municipio de Tuluá, el padecimiento que a las víctimas les ocasionan las instituciones prestadoras de salud, la falta de una información adecuada y una atención oportuna, la vulneración de los derechos de las víctimas; aun existiendo un protocolo que se supone, fue diseñado para aportar respuesta a las víctimas de violencia sexual. Se puede concluir que el objetivo trazado en esta investigación, se revela esencial en el actual contexto del país.

El séptimo artículo, constituye el cuarto y último aporte de autores UCEVA a esta primera edición de Magna Scientia UCEVA y se titula “Deterioro cognitivo, ¿indispensable evaluar en una comunidad tercermundista?, una investigación cuyo objetivo fue encontrar el déficit cognitivo en una población de adultos mayores (≥ 60 años de edad) aplicando el cuestionario SAGE en el municipio de San Pedro-Valle del Cauca, Colombia.

El octavo trabajo es de una autoridad mundial en pedagogía y formación universitaria, Giovanni Marcelo Iafrancesco Villegas, este maestro italo-colombiano realizó un aporte con el que se cierra la sesión *Estudios Sociales de la Salud*, titulada “La investigación pedagógica formativa como estrategia pedagógica para desarrollar el potencial de aprendizaje y pensamiento científico”, una contribución donde se delimita el enfoque y alcance de su esencia como investigador formativo y pedagogo.

El noveno artículo ha sido realizado por los investigadores Creucí Maria Caetano y Diego Geraldo Caetano Nunes, quienes desde la Universidad Federal de Rondonia, Brasil, abren la sesión *Ciencias Ambientales* con una reflexión que gira en torno a la problemática que se está presentando

Sebastián Henao Agudelo and Dr. Rubén Lasso Palomino, doctor of the Pediatric Critical Care Unit of the Valle del Lili Foundation, Cali-Colombia. This article addresses how the therapeutic approach becomes an effective alternative solution to the usual treatments for human sepsis; treatments that usually include early administration of antibiotics and hemodynamic maintenance of patients.

The fourth article, opens the Health Professions session, is contributed by researcher Oscar Herrera Restrepo, scientific director of health outcomes at Glaxo Smith Kline (GSK), Crescent Drive-Philadelphia, USA. The text is based on a reflection about the role that health economics plays in decision-making regarding market access and reimbursement of new medical technologies and the power of studies in health economics with respect to guiding discussions on the added value proposed by new medical technologies. The author finally points out that this article provides key considerations for health professionals, students, and institutions interested in consolidating analytical capabilities around the exciting and growing field of health economics.

The fifth article has been written by Luis Carlos Silva Ayçaguer, a Uruguayan who has lived in Cuba for several years, from where, he teaches at the University of Medical Sciences of Havana, Cuba. The author presents a contribution entitled “The impact on collective health of objectionable behaviors in health research”, the article focuses on the importance of the dangers to collective health derived from the manipulation suffered by a part of contemporary health research. This Uruguayan researcher concludes in his reflection that the impact on collective health of objectionable conducts in research matters, has not yet been fully evaluated. But the abuses are so well documented and have been so repeated that today, the relevance of banning any publication financed by the industry is contemplated.

The sixth contribution opens the session called Social Studies of Health, an authorial contribution 100% UCEVA, entitled “Health care for women victims of sexual violence in a municipality of Colombia”, in this article, it is put in evidences the incidence of this problem in Colombia and more specifically, in Tuluá-Valle del Cauca. This problem that was so invisible for a long time in the country, the authors expose it, emphasizing the type of attention that women who are victims of sexual violence currently receive in the municipality of Tuluá, the suffering caused to the victims by the institutions that provide health services, the lack of adequate information and timely care, violation of the rights of victims; even though there is a protocol that is supposed to be, it was designed to provide a response to victims of sexual violence. It can be concluded that the objective outlined in this research is essential in the current context of the country.

The seventh article constitutes the fourth and last contribution of UCEVA authors to this first edition of Magna Scientia UCEVA and is entitled “Cognitive impairment, is it essential to evaluate in a third world community? A research whose objective was to find the cognitive deficit in a population of older adults (≥ 60 years of age) applying the SAGE questionnaire in the municipality of San Pedro-Valle del Cauca, Colombia.

The eighth work is presented by a world authority in pedagogy and university training, Giovanni Marcelo Iafrancesco Villegas, this Italian-Colombian teacher contributed with the Social Studies of Health session closes, entitled “Formative pedagogical research as a pedagogical strategy for develop the potential for learning and scientific thinking”, a contribution that delimits the focus and scope of his essence as a formative researcher and pedagogue.

The ninth article has been written by researchers Creucí Maria Caetano and Diego Geraldo Caetano Nunes, who from the Federal University of Rondonia, Brazil, open the Environmental Sciences session with a reflection research paper that revolves around the problem that is currently being presented in the Brazilian Amazon, linking aspects of climate change, impacts on the megabiodiversity that this lung of the planet suffers and the immense pressure exerted on ethnic-cultural heritages. Therefore, the authors point

actualmente en la Amazonia brasileña, vinculando aspectos de cambio climático, afectaciones a la megabiodiversidad que sufre este pulmón del planeta y la inmensa presión ejercida sobre los patrimonios étnico-culturales. Por tanto, señalan los autores, el problema no radica en una falta de legislación en la materia, sino en la ausencia de acciones efectivas para afrontar las raíces de los problemas medioambientales, así como de enfoques de gobernanza que involucren a la sociedad en los procesos de conservación; implica además, una nueva mirada hacia la gran foresta amazónica que a su vez, merece un nuevo entendimiento sobre la mejor forma de desarrollo a ser aplicada, tanto a nivel interno, como internacional.

Investigadores del Colegio de la Frontera Sur, Unidad Tapachula-Chiapas, México, han elaborado el décimo trabajo de este número. Se titula “¿Planear un paisaje urbano conservativo en el sureste de México? Reflexiones para el caso de Tapachula, Chiapas”, este artículo nos aporta información de primera mano sobre las afectaciones al paisajismo urbano y analiza aspectos estratégicos para una futura planeación de las áreas verdes públicas, con la finalidad de identificar herramientas útiles para un correcto diseño del paisajismo urbano que fomente la conservación ambiental en espacios urbanos en el sureste de México, en especial, en el Estado de Chiapas, México.

El undécimo artículo es aportado por el francés Patrick Lavelle, reconocido científico a nivel mundial con un factor de impacto superlativo (ih5= 94), profesor emérito de la Université Pierre et Marie Curie, Francia; hace entrega de lo que es la síntesis de su trabajo en sus más de 40 años que lleva abordando las dinámicas del funcionamiento físico, biológico y químico del suelo, su contribución a la humanidad es indescriptible e incuantificable, así lo denotan sus múltiples trabajos publicados en revistas científicas indexadas alrededor del mundo. En esta ocasión, abre la sesión Ciencias Biológicas y Agrícolas con su artículo titulado “El suelo auto organizado”; es un verdadero honor contar con tan notable personalidad científica en la primera edición de Magna Scientia UCEVA.

El duodécimo trabajo de este número, ha sido elaborado por Pedro Martínez Gómez, quien en la actualidad, es editor jefe de la revista Q1 Scientia Horticulturae; es investigador del Consejo Superior de Investigaciones Científicas CSIC, Murcia, España; y presenta una contribución, la cual lleva como título “Desarrollo de nuevos diseños vegetales: Mejora genética vs transformación genética y edición génica”. El objetivo de este artículo es realizar un estudio comparativo sobre la eficacia, eficiencia técnica y costo de las tecnologías más importantes para el desarrollo de nuevos diseños vegetales, incluyendo la mejora genética, la transformación genética y la edición génica. Si bien, la obtención de organismos modificados mediante transformación genética y edición génica es un proceso con una mayor eficacia y eficiencia y un menor costo, se debe hablar por otro lado, de un rechazo social de estos organismos modificados genéticamente a nivel medioambiental, de salud pública, económico y religioso en un contexto anti tecnológico de rechazo.

El decimotercer trabajo es aportado por un grupo de investigadores pertenecientes a la Universidad Autónoma de Chiapas, Villaflores-Chiapas, México. Se titula “Microorganismos del suelo y sus usos potenciales en la agricultura frente al escenario del cambio climático”, cabe observar que el artículo explora el creciente papel que cumplen los microorganismos del suelo y su potencial biotecnológico en los sistemas agrícolas frente al panorama actual del cambio climático. Los autores concluyen que existen suficientes razones para comprobar la importancia ecológica de las poblaciones microbianas ante los efectos del cambio climático, así como el uso potencial que tienen para contribuir a un manejo sostenible de los agroecosistemas.

El decimocuarto artículo tiene como autores a Nelson Eduardo Loyola López y Carlos Alberto Acuña, de la Universidad Católica del Maule, Región del Maule, Chile; y se titula “Mermelada de arándano y frambuesa: evaluación sensorial, nutricional y de aceptabilidad”. El objetivo de esta investigación fue obtener una mermelada realizada con mix de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) y frambuesa (*Rubus idaeus* L.) orgánicos como materia prima, sellado al vacío y endulzado con azúcar granulada orgánica y/o stevia en polvo orgánica, para su posterior evaluación nutricional, sensorial

out, the problem does not lie in a lack of legislation on the matter, but in the absence of effective actions to address the roots of environmental problems, as well as governance approaches that involve society in the conservation process; It also implies a new look at the great Amazon forest which, in turn, deserves a new understanding of the best form of development to be applied, both internally and internationally.

Researchers from the Colegio de la Frontera Sur, Tapachula-Chiapas Unit, Mexico, have prepared the tenth work of this issue. It is titled “Planning a Conservative Urban Landscape in Southeastern Mexico? Reflections for the case of Tapachula, Chiapas”, this article provides us with first-hand information on the effects on urban landscaping and analyzes strategic aspects for future planning of public green areas, in order to identify useful tools for a correct design of the urban landscaping that promotes environmental conservation in urban spaces in southeastern Mexico, especially in the State of Chiapas, Mexico.

The eleventh article is contributed by the French Patrick Lavelle, world renowned scientist with a superlative impact factor (ih5 = 94), emeritus professor at the Université Pierre et Marie Curie, France; presents what is the synthesis of his work in his more than 40 years that has been addressing the dynamics of the physical, biological and chemical soil functioning, his contribution to humanity is indescribable and unquantifiable, as denoted by his multiple works published in scientific journals indexed around the world. On this occasion, he opens the Biological and Agricultural Sciences session with his article entitled “The self-organized soil”; It is a true honor to have such a remarkable scientific personality in the first edition of Magna Scientia UCEVA.

The twelfth work of this issue has been prepared by Pedro Martínez Gómez, who is currently editor-in-chief of the Q1 Elsevier journal Scientia Horticulturae; he is a researcher at the Higher Council for Scientific Research CSIC, Murcia, Spain; and presents a contribution, which is entitled “Development of new plant designs: plant breeding vs genetic transformation and gene editing”. The aim of this article is to carry out a comparative study on the efficacy, technical efficiency and cost of the most important technologies for the development of new plant designs, including plant breeding, genetic transformation and gene editing. Although obtaining modified organisms by means of genetic transformation and gene editing is a process with greater effectiveness and efficiency and at a lower cost, on the other hand, we must speak of a social rejection of these genetically modified organisms at the environmental, health level public, economic and religious in an anti-technological context of rejection.

The thirteenth work is contributed by a group of researchers belonging to the Autonomous University of Chiapas, Villaflores-Chiapas, Mexico. It is titled “Soil microorganisms and their potential use in agriculture in the face of the climate change scenario”, it should be noted that the article explores the growing role of soil microorganisms and their biotechnological potential in agricultural systems in the current scenario of change. climate. The authors conclude that there are sufficient reasons to verify the ecological importance of microbial populations in the face of the effects of climate change, as well as the potential use they have to contribute to a sustainable agroecosystem management.

The fourteenth article is authored by Nelson Eduardo Loyola López and Carlos Alberto Acuña, from the Universidad Católica del Maule, Maule Region, Chile; and is entitled “Blueberry and Raspberry Jam: Sensory, Nutritional and Acceptability Assessment.” The aim of this research was to obtain a jam made with a mix of organic blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) and raspberry (*Rubus idaeus* L.) as raw material, vacuum sealed and sweetened with organic granulated sugar and / or organic powdered stevia, for subsequent nutritional, sensory and acceptability evaluation. The panelists who participated in this research, classified this jam with a high level of acceptability.

y de aceptabilidad. Los panelistas que participaron de esta investigación, catalogaron a esta mermelada con un alto nivel de aceptabilidad.

Por último, el decimoquinto trabajo de esta primera edición de Magna Scientia UCEVA, lo clausura el aporte escrito por la pareja de esposos Miguel Ángel Altieri y Clara Nicholls, quienes desde la Universidad de Berkeley, California; elaboran una reflexión acerca de cómo se puede utilizar la agroecología en el desarrollo de un nuevo sistema agrícola post-COVID-19 como alternativa de desarrollo sostenible, revitalizando la agricultura campesina creando sistemas alternativos de producción animal y potencializando la agricultura urbana. Miguel Ángel Altieri es una autoridad mundial en Agroecología, entre sus logros más destacados, destaca la inducción al Salón de la Fama de la Tierra (Earth Hall of Fame) por la Prefectura de Kyoto, Japón. Clara Nicholls, por su parte, es presidenta honorífica de la Sociedad Científica Latinoamericana de Agroecología-SOCLA, coordinadora regional de REDAGRES y codirectora del Centro Latinoamericano de Investigaciones Agroecológicas (CELIA), es un verdadero honor contar con su participación en este número.

Para concluir, como acabamos de ver, los 15 artículos que componen esta primera edición de Magna Scientia UCEVA abordan diversas dimensiones. La producción científica presentada en este número, fue el resultado de contribuciones significativas en las ciencias de la vida y la salud, aportes que indudablemente, trascienden las fronteras colombianas y hacen de este primer ejemplar de Magna Scientia UCEVA, un insumo internacional que se acoge desde sus inicios, al cumplimiento de estándares de indexación y cualificación internacional, como lo es la endogamia editorial institucional. En este sentido, cabe anotar que en esta primera edición, solo se contó con la participación del 26.6% de autoría UCEVA y con base en este criterio, se atendió la demanda internacional. Este primer número de la revista, trajo consigo, la generación de diálogos interinstitucionales entre la comunidad académico-científica a nivel local e internacional, y al mismo tiempo, ofreció un espacio para fortalecer la cultura investigativa en la UCEVA. Del mismo modo, se insta a la comunidad Ucevista a que se apropie no solo de esta primera edición de Magna Scientia UCEVA, sino también de las venideras, para lograr la consolidación y posicionamiento de la revista hacia el futuro cercano.

Agradecemos la participación de la comunidad científica internacional que nos brindó su apoyo incondicional, autores reconocidos y consagrados que depositaron su confianza en nosotros y a todos y cada uno de los miembros del cuerpo editorial (Comité Editorial y Científico): sin sus valiosos aportes no hubiéramos podido completar esta primera edición.

Estimados y respetados lectores, esta es la primera de muchas ediciones pensada y concebida para ustedes; muchas gracias por ser parte integral y fundamental de nuestra Institución. Esperamos que sea de su total agrado y desde ya, le damos la bienvenida al año editorial 2022; donde se espera contar con la participación de diferentes grupos de investigación del ámbito nacional e internacional en pro del fortalecimiento, posicionamiento, reconocimiento e indexación de Magna Scientia UCEVA.

Finally, the fifteenth work of this first edition of Magna Scientia UCEVA, is closed by the contribution written by the married couple Miguel Ángel Altieri and Clara Nicholls, who from the University of Berkeley, California; elaborate a reflection on how agroecology can be used in the development of a new post-COVID-19 agricultural system as an alternative for sustainable development, revitalizing peasant agriculture, creating alternative animal production systems and enhancing urban agriculture.

Miguel Ángel Altieri is a world authority in Agroecology, among his most outstanding achievements, highlights the induction to the Earth Hall of Fame by the Kyoto Prefecture, Japan. Clara Nicholls, for her part, is honorary president of the Latin American Scientific Society of Agroecology-SOCLA, regional coordinator of REDAGRES and co-director of the Latin American Center for Agroecological Research (CELIA), it is a true honor to have her participation in this issue.

To conclude, as we have just seen, the 15 articles that make up this first edition of Magna Scientia UCEVA address various dimensions. The scientific production presented in this issue was the result of significant contributions in the life and health sciences, contributions that undoubtedly transcend Colombian borders and make this first edition of Magna Scientia UCEVA, an international input that has been welcomed since its beginnings, to the fulfillment of international indexing and qualification standards, such as institutional editorial inbreeding.

In this sense, it should be noted that in this first edition, only 26.6% of UCEVA authorship participated and based on this criterion, the international demand was met. This first issue of the journal, brought with it the generation of inter-institutional dialogues among the academic-scientific community at the local and international level, and at the same time, offered a space to strengthen the research culture at UCEVA. In the same way, the Ucevista community is urged to appropriate not only this first edition of Magna Scientia UCEVA, but also those to come, in order to achieve the consolidation and positioning of the journal in the near future.

We are grateful for the participation of the international scientific community that gave us their unconditional support, recognized and consecrated authors who placed their trust in us and each and every one of the members of the editorial board (Editorial and Scientific Committee): without their valuable contributions we would not have been able to complete this first edition.

Dear and respected readers, this is the first of many editions designed and conceived for you; Thank you very much for being an integral and fundamental part of our Institution. We hope you enjoy it and from now on, we welcome you to the editorial year 2022; where it is expected to have the participation of different research groups of the national and international scope in favor of the strengthening, positioning, recognition and indexing of Magna Scientia UCEVA.



Juan Carlos Urriago Fontal, PhD 

Rector Unidad Central del Valle del Cauca
Director de la revista Magna Scientia UCEVA



www.uceva.edu.co

COVID-19: Impact in endothelial function and therapy with Mesenchymal Stromal Cells

La COVID-19: Impacto en la función endotelial y terapia con células estromales mesenquimales

Carla Longo Freitas  Priscilla Yuri Okochi Alves da Silva  Maria do Carmo Pinho Franco  Danilo Candido de Almeida* 

Acceso Abierto

*Correspondence:
gudaalmeida@gmail.com
Department of Medicine. Nephrology
division. Federal University of São
Paulo, Brazil

First draft submitted: 15-05-2021
Accepted for publication:
23-07-2021
Published online: 09-09-2021

Key words:

COVID-19 pathophysiology;
endothelial dysfunction;
immune cells;
mesenchymal stromal cells;
pathogenesis.

Palabras clave:

Células estromales
mesenquimales;
células inmunes;
disfunción endotelial;
fisiopatología de la COVID-19;
patogénesis.

Abstract

The new pandemic of SARS-CoV-2 Betacoronavirus, has spread worldwide, and infected millions of individuals causing the disease denominated of COVID-19. Further on flu symptoms, due to the high tropism of virus, has most been observed in the COVID-19 pathophysiology: acute heart failure, thromboembolism events, acute renal failure, neurological and liver damage, and multiple organ failure, with special attention to endothelial dysfunction. Hence, elucidate whether virus target the endothelium is a crucial step to understand COVID-19 pathogenesis. However, the permissiveness of blood vessels during SARS-CoV-2 infection remains unclear, but regardless endothelial infection, the vascular dysfunction may occurred in response to molecular inflammatory signaling triggered by immune cells that attempt to limit infection. Thus, alternative therapies using mesenchymal stromal cells (MSCs) can change this scenario and help critically ill patients. In this reflection, we attempt to discuss COVID-19 pathophysiology with impact in endothelial function and explore the applicability of MSC-based therapies as alternative treatment.

Resumen

La nueva pandemia de Betacoronavirus SARS-CoV-2, se ha extendido por todo el mundo y ha infectado a millones de personas, causando la enfermedad denominada COVID-19. Además de los síntomas de gripe, debido al alto tropismo del virus, se han observado principalmente en la fisiopatología de la COVID-19: insuficiencia cardíaca aguda, eventos de tromboembolismo, insuficiencia renal aguda, daño neurológico y hepático, y falla multiorgánica, con especial atención a la disfunción endotelial. Por lo tanto, dilucidar si el virus se dirige al endotelio es un paso crucial para comprender la patogénesis de COVID-19. Sin embargo, la permisividad de los vasos sanguíneos durante la infección por SARS-CoV-2 sigue sin estar clara, pero independientemente de la infección endotelial, la disfunción vascular puede ocurrir en respuesta a la señalización inflamatoria molecular desencadenada por células inmunes que intentan limitar la infección. Por lo tanto, las terapias alternativas que utilizan células estromales mesenquimales (MSC) pueden cambiar este escenario y ayudar a los pacientes críticamente enfermos. En esta reflexión, intentamos discutir la fisiopatología de COVID-19 con impacto en la función endotelial y explorar la aplicabilidad de terapias basadas en MSC como tratamiento alternativo.

COVID-19 and Sars-Cov-2 pathophysiology

Currently, the world is facing the new pandemic of SARS-CoV-2 coronavirus, responsible for the COVID-19 disease. SARS-CoV-2 is a positive single-stranded RNA-virus belonging to subgroup of Betacoronavirus of the Coronaviridae family [1]. The disease is similar to the severe acute respiratory syndrome (SARS), which was the first coronavirus (SARS-CoV-1) epidemic in the world registered in southeastern China [2–4]. To date (September 2021) around 218.946.836 people, have been diagnosed worldwide with SARS-CoV-2 infection, with 4.539.723 deaths and 5.289.724.918 vaccine doses distributed. Specifically, in the American continent, was confirmed 84.498.889 cases, with 2.043.623 deaths, according to data from the World Health Organization (WHO) [5].

The most common symptoms in mild to moderate cases of the disease are fever, dry cough, throat irritation, breathing difficulty, myalgia, nausea and/or vomiting, diarrhea, headache [6,7]; and more specifically, anosmia or ageusia [8]. Additionally, critically ill patients also present profound lymphopenia, caused by SARS-CoV-2 infection [9–11].

Due to the high tropism of virus at tissues as heart, kidney and blood vessels has been observed in the pathophysiology of COVID-19: acute heart failure, dysrhythmia, myocarditis, thromboembolism events (arterial and venal) [7]; acute renal failure [12,13]; neurological damage such as impaired consciousness, stroke; liver dysfunction; blood dysfunction (i.e. metabolic acidosis) [6]; thrombosis [14]; septic shock and multiple organ failure [15,16].

In this context, to enter in host cell, the SARS-CoV-2 virus bind its surface protein (Spike S) with the angiotensin II converting enzyme (receptor ACE2), turning some subunits of its protein S editable by proteolytic enzyme as TMPRSS2, which cleaves protein S into S1, S2 and S2' counterparts promoting cellular infection [17,18]. Both ACE2 and TMPRSS2 receptors are widely distributed in alveolar cells, kidney, and also in many other organs, especially in the capillary endothelium [1].

The endothelium consists in a semi-permeable barrier between body fluids and tissues, comprising an extensive network for micro and macromolecules transportation including cells. Thus, elucidate whether virus target the endothelium in a direct way or as bystanders, is a crucial step to understand COVID-19 pathogenesis. The permissiveness of endothelial cells during SARS-CoV-2 infection is controversial and remains unclear. Wagner et al demonstrated that only human coronary artery endothelial cells (HCAECs) were infected by SARS-CoV-2 virus when compared to five other different endothelial cell lineages, however, did not promote virus replication [19]. Conversely, Liu et al. [20], identified in lungs of both nonhuman primates and autopsied COVID-19 patients that SARS-CoV-2 directly infects mature vascular endothelial cells [20]. However, regardless endothelial infection, the vascular dysfunction in COVID-19 patients may occurred as a result of molecular inflammatory signaling from infected cells or collateral tissue damage when immune cells attempt to limit infection.

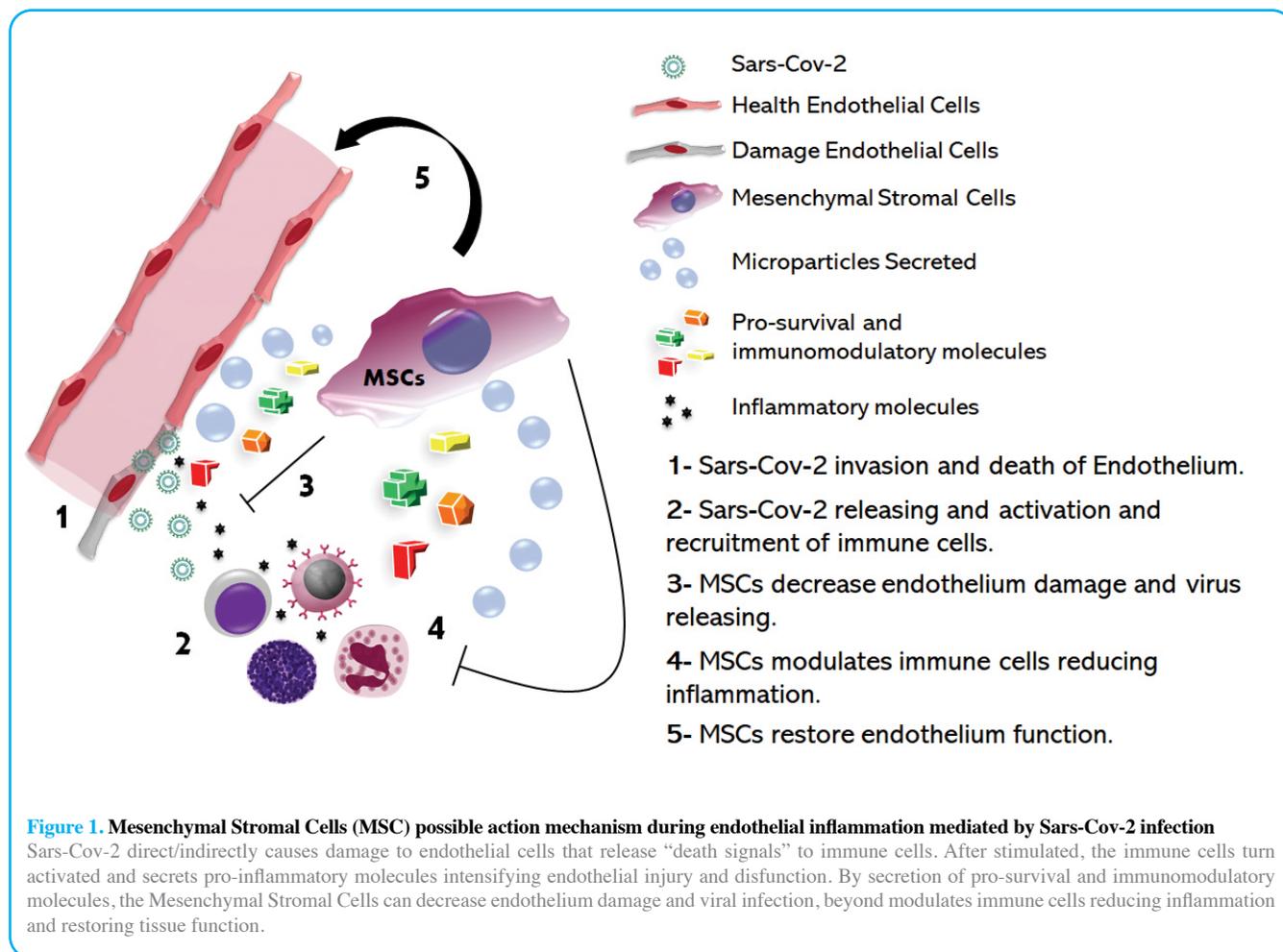
This step initiates in the early stages of SARS-CoV-2 infection mainly at nasal epithelial cells, bronchial cells, and pneumocytes. When the virus reaches the alveolar lumen, it triggers an inflammatory response that promote the recruitment of immune cells such as neutrophils, monocytes, and T cells, which become infected [21,22]. In sequence, the virus overactive an inflammatory cascade in these immune cells accompanied by extensive release of molecules (i.e., IL-2, IL-6, IL-7, GSCF, IP-10, MCP1, MIP1A and TNF- α), which was widely known as “*cytokine storm*”, that attack principally surround tissues as lung and endothelium [10]. Hence, this immunological disorder, in severe cases, affects the tissue homeostasis leading to even more serious secondary complications such as multiorgan failure..

MSC homing and immunomodulation

Over the last decade, mesenchymal stromal cells (MSCs) have been the focus of many cell-based therapies to treat various type of disorders, including metabolic, degenerative, and inflammatory diseases, with focus in supporting tissue repair and regeneration of damaged tissues (see Figure 1). MSCs have the ability to influence the tissue behavior (i.e., endothelial tissue), and vice-

versa. This crosstalk involves the selective migration ability of MSCs toward sites of injury, a phenomenon called “homing”. This homing process is promoted by specific chemokines and cytokines secreted by damage

cells (EGF, IGF, PDGF, VEGF, SDF-1, TNF- α , IL-1, IL-6, IL-8, VCAM-1, MCP-1, MCP-3, and G-CSF), which are chemo-attractive and trigger MSCs mobilization (Figure 1).



At injury site, ligand-receptor interactions with adhesion molecules (selectins and integrins) are necessary for MSCs adhesion and rolling into injured tissues [23]. After tissue internalization, the MSCs alter the microenvironment through secretion of paracrine regulatory factors such as cytokines, chemokines and growth factors (IDO-1, PGE-2, iNOS, IL-6, TGF- β , HGF, and HLA-G5), that not only modulates cells but present angiogenic, anti-inflammatory, anti-fibrotic and immunosuppressive properties, modulating the function of immune cell (i.e., B and T lymphocytes, dendritic cells, natural killer cells, monocytes, neutrophils, and macrophages), and promoting tissue repair [24]. Taken

together, these properties have led to the use of MSCs as an attractive and promising cell therapy in the context of acute respiratory distress syndrome (ARDS) seen in severe COVID-19 patients (Figure 1).

MSC and COVID-19: perspectives and new insights

Clinical applications of MSCs have been registered at the National Institute of Health Clinical Trials [25] about COVID-19. In fact, there are 39 recruiting and ongoing interventional trials studying MSCs to the treatment of

ARDS, pneumonia, cytokine storm, pulmonary infection, SARS-Cov-2 induced pulmonary fibrosis and acute kidney injury, in the context of COVID-19 complications (September, 2021). These clinical trials involve MSCs derived from Wharton Jelly, adipose tissue, umbilical cord, placenta and human dental pulp and bone marrow as source of treatment or combined with other drugs such as oseltamivir, hormones, azithromycin, antibiotics, or hydroxychloroquine. Although, cell source, dosage and timing has not been established yet, these clinical studies are critical and can bring encouraging results, considering that phase I and II trials, have already demonstrated a partial effectiveness of MSCs treatment, where a reduction in inflammatory serologic markers and shorter-time period of hospitalization were observed [26].

In summary, MSC-based therapies can provide valuable information in the course of new treatment and new strategies to modulate endothelial function, and other tissues, specifically in the context of COVID-19.

Consent for publication

Authors read and approved the final manuscript.

Competing interests

Authors declares have no competing interests. This document only reflects the points of view of the authors and not those of their institutions.

Author details

Carla Longo Freitas

Received his PhD degree in Immunology from Federal University of São Paulo, São Paulo, Brazil. Currently, she is pursuing a postdoctoral stay in the Department of Medicine, Discipline of Nephrology, Federal University of São Paulo-Escola Paulista de Medicina (UNIFESP/EPM). She aims to investigate the impact of COVID-19 on the kidneys and endothelium, studying the in vitro infection by SARS-CoV-2 in renal and endothelial cells; and the therapeutic potential of mesenchymal stem cells.



Priscilla Yuri Okochi Alves da Silva

She is a doctoral student in the Department of Immunology, Institute of Biomedical Sciences, University of São Paulo, Brazil (UNIFESP/Brazil). Her research line is defined as “use of organ-on-chip to study the endothelium-kidney axis in SARS-CoV-2 infection; and therapeutic strategies with Mesenchymal Stem Cells.”, graduated in Biomedicine at the University Center of Faculdades Metropolitanas Unidas (FMU/Brazil), completed in 2013. Areas of expertise: medicine, biological sciences, immunology and microbiology.



Maria do Carmo Pinho Franco

Studied Biomedicine and she started his research career at the department of pharmacology at the University of São Paulo where she also accomplished his doctoral thesis. In the following years she worked in the field of vascular biology with the focus on fetal programming. The main topics of her research group are fetal programming of cardiovascular diseases and exploration of novel targets involved in the development of cardiometabolic disease focusing on endothelial function as well as biomarker research.



Danilo Candido de Almeida

Is Doctor in Biomedical Sciences (Medicine-Nephrology) from the Federal University of São Paulo - UNIFESP with Post-doctorate at the Federal University of São Paulo (Nephrology), University of São Paulo (Immunology) and at the Helmholtz-Institute for Biomedical Engineering - RWTH Aachen University (Aachen, Germany). He is currently an Associate Professor and Advisor at the Department of Medicine, Discipline of Nephrology at the Federal University of São Paulo. Dr Almeida has experience in Cell Biology, Molecular Biology and Genetics, with an emphasis on the function of micromolecules. Main topics are as follows: mesenchymal stem cell, cell therapy, large-scale data analysis and experimental model of inflammatory and renal lesions.



References

- [1] Zhou P, Yang X-L, Wang X-G, Hu B, Zhang L, Zhang W, et al. A pneumonia outbreak associated with a new coronavirus of probable bat origin. *Nature* 2020;579. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2012-7>.

- [2] Tsang KW, Ho PL, Ooi GC, Yee WK, Wang T, Chan-Yeung M, et al. A Cluster of Cases of Severe Acute Respiratory Syndrome in Hong Kong. *New England Journal of Medicine* 2003;348. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa030666>.
- [3] Lee N, Hui D, Wu A, Chan P, Cameron P, Joynt GM, et al. A Major Outbreak of Severe Acute Respiratory Syndrome in Hong Kong. *New England Journal of Medicine* 2003;348. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa030685>.
- [4] Cheng VCC, Lau SKP, Woo PCY, Yuen KY. Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus as an Agent of Emerging and Reemerging Infection. *Clinical Microbiology Reviews* 2007;20. <https://doi.org/10.1128/CMR.00023-07>.
- [5] World Health Organization (WHO). WHO Coronavirus (COVID-19) Dashboard. WHO Covid-19 Homepage 2021. <https://covid19.who.int/>.
- [6] Mao R, Qiu Y, He J-S, Tan J-Y, Li X-H, Liang J, et al. Manifestations and prognosis of gastrointestinal and liver involvement in patients with COVID-19: a systematic review and meta-analysis. *The Lancet Gastroenterology & Hepatology* 2020;5. [https://doi.org/10.1016/S2468-1253\(20\)30126-6](https://doi.org/10.1016/S2468-1253(20)30126-6).
- [7] Levi M, Thachil J, Iba T, Levy JH. Coagulation abnormalities and thrombosis in patients with COVID-19. *The Lancet Haematology* 2020;7. [https://doi.org/10.1016/S2352-3026\(20\)30145-9](https://doi.org/10.1016/S2352-3026(20)30145-9).
- [8] Spinato G, Fabbris C, Polesel J, Cazzador D, Borsetto D, Hopkins C, et al. Alterations in Smell or Taste in Mildly Symptomatic Outpatients With SARS-CoV-2 Infection. *JAMA* 2020;323. <https://doi.org/10.1001/jama.2020.6771>.
- [9] Wu C, Chen X, Cai Y, Xia J, Zhou X, Xu S, et al. Risk Factors Associated with Acute Respiratory Distress Syndrome and Death in Patients with Coronavirus Disease 2019 Pneumonia in Wuhan, China. *JAMA Internal Medicine* 2020;180. <https://doi.org/10.1001/jamainternmed.2020.0994>.
- [10] Huang C, Wang Y, Li X, Ren L, Zhao J, Hu Y, et al. Clinical features of patients infected with 2019 novel coronavirus in Wuhan, China. *The Lancet* 2020;395. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30183-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30183-5).
- [11] Guan W, Ni Z, Hu Y, Liang W, Ou C, He J, et al. Clinical Characteristics of Coronavirus Disease 2019 in China. *New England Journal of Medicine* 2020;382. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa2002032>.
- [12] Chen Y-T, Shao S-C, Hsu C-K, Wu I-W, Hung M-J, Chen Y-C. Incidence of acute kidney injury in COVID-19 infection: a systematic review and meta-analysis. *Critical Care* 2020;24. <https://doi.org/10.1186/s13054-020-03009-y>.
- [13] de Almeida DC, Franco M do CP, dos Santos DRP, Santos MC, Maltoni IS, Mascotte F, et al. Acute kidney injury: Incidence, risk factors, and outcomes in severe COVID-19 patients. *PLOS ONE* 2021;16. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0251048>.
- [14] Yang X, Yu Y, Xu J, Shu H, Xia J, Liu H, et al. Clinical course and outcomes of critically ill patients with SARS-CoV-2 pneumonia in Wuhan, China: a single-centered, retrospective, observational study. *The Lancet Respiratory Medicine* 2020;8. [https://doi.org/10.1016/S2213-2600\(20\)30079-5](https://doi.org/10.1016/S2213-2600(20)30079-5).
- [15] Grasselli G, Zangrillo A, Zanella A, Antonelli M, Cabrini L, Castelli A, et al. Baseline Characteristics and Outcomes of 1591 Patients Infected With SARS-CoV-2 Admitted to ICUs of the Lombardy Region, Italy. *JAMA* 2020;323. <https://doi.org/10.1001/jama.2020.5394>.
- [16] Lam TT-Y, Jia N, Zhang Y-W, Shum MH-H, Jiang J-F, Zhu H-C, et al. Identifying SARS-CoV-2-related coronaviruses in Malayan pangolins. *Nature* 2020;583. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2169-0>.
- [17] Glowacka I, Bertram S, Muller MA, Allen P, Soilleux E, Pfefferle S, et al. Evidence that TMPRSS2 Activates the Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus Spike Protein for Membrane Fusion and Reduces Viral Control

by the Humoral Immune Response. *Journal of Virology* 2011;85. <https://doi.org/10.1128/JVI.02232-10>.

- [18] Hoffmann M, Kleine-Weber H, Schroeder S, Krüger N, Herrler T, Erichsen S, et al. SARS-CoV-2 Cell Entry Depends on ACE2 and TMPRSS2 and Is Blocked by a Clinically Proven Protease Inhibitor. *Cell* 2020;181. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2020.02.052>.
- [19] Fosse JH, Haraldsen G, Falk K, Edelmann R. Endothelial Cells in Emerging Viral Infections. *Frontiers in Cardiovascular Medicine* 2021;8. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2021.619690>.
- [20] Liu F, Han K, Blair R, Kenst K, Qin Z, Upcin B, et al. SARS-CoV-2 Infects Endothelial Cells In Vivo and In Vitro. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology* 2021;11. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2021.701278>.
- [21] Mancía G, Rea F, Ludernani M, Apolone G, Corrao G. Renin–Angiotensin–Aldosterone System Blockers and the Risk of Covid-19. *New England Journal of Medicine* 2020;382. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa2006923>.
- [22] Fosbøl EL, Butt JH, Østergaard L, Andersson C, Selmer C, Kragholm K, et al. Association of Angiotensin-Converting Enzyme Inhibitor or Angiotensin Receptor Blocker Use With COVID-19 Diagnosis and Mortality. *JAMA* 2020;324. <https://doi.org/10.1001/jama.2020.11301>.
- [23] Nassiri SM, Rahbarghazi R. Interactions of Mesenchymal Stem Cells with Endothelial Cells. *Stem Cells and Development* 2014;23. <https://doi.org/10.1089/scd.2013.0419>.
- [24] Saeedi P, Halabian R, Imani Fooladi AA. A revealing review of mesenchymal stem cells therapy, clinical perspectives and modification strategies. *Stem Cell Investigation* 2019;6:1–8. <https://doi.org/10.21037/sci.2019.08.11>.
- [25] ClinicalTrials.gov. Federally-funded clinical studies related to COVID-19. NIH US National Library of Medicine 2021. <https://clinicaltrials.gov/>.
- [26] Durand N, Mallea J, Zubair AC. Insights into the use of mesenchymal stem cells in COVID-19 mediated acute respiratory failure. *Npj Regenerative Medicine* 2020;5. <https://doi.org/10.1038/s41536-020-00105-z>.

Anisakidosis y otras ictiozoonosis ¿Qué riesgo representan para la salud humana en Colombia?

Anisakidosis and other ichthyozoonosis, what kind of risk represent for the human health in Colombia?

Jennifer Alejandra Castellanos Garzón*  Rubén Ángel Mercado Pedraza 

Acceso Abierto

*Correspondencia:

jacastellanos@uceva.edu.co
Facultad de Ingenierías. Programa de Ingeniería Biomédica. Unidad Central del Valle del Cauca

Sometido: 15-04-2021

Aceptado para publicación:
13-08-2021

Publicado en línea: 19-09-2021

Palabras clave:

Anisakidos;
enfermedad emergente;
infecciones humanas;
nemátodos;
parásitos;
salud pública.

Key words:

Anisakids;
emerging diseases;
human infections;
nematodes;
parasites;
public health.

Resumen

Anisakidosis es una parasitosis ocasionada por nematodos de la familia Anisakidae, la cual se ocasiona por el consumo de pescado crudo o poco cocido que tenga larvas de estadio infectivo (L3) de estos vermes. En España y Japón, la anisakidosis es considerada un importante problema de salud pública, aunque en Colombia y en otros países de América del Sur, sea considerada una enfermedad poco investigada. Esta reflexión presenta generalidades de las ictiozoonosis como enfermedades transmitidas al ser humano por parásitos, bacterias y virus, y en particular, de los nemátodos anisakidos, los cuales han sido reportados en Colombia en los últimos años por lo que constituyen un tema de interés en salud pública en general.

Abstract

Anisakidosis is a parasitic disease caused by nematodes of the Anisakidae family, which is caused by the consumption of raw or undercooked fish that have larvae (L3) of the infective stage from these worms. In Spain and Japan, anisakidosis is considered an important public health problem, although in Colombia and other South American countries, is considered a poorly researched disease. This reflection presents ichthyozoonoses generalities as diseases transmitted to humans by parasites, bacteria and viruses, and in particular, anisakid nematodes, which have been reported in Colombia in recent years and therefore, constitute a topic of interest in public health in general.

Introducción

Las ictiozoonosis son enfermedades producidas por la transmisión de un agente patógeno, virus, bacterias o parásitos a través del consumo de pescado infectado crudo o mal cocido [1]. Entre los parásitos, los helmintos, son los causantes del mayor número de ictiozoonosis en países en América Latina; sin embargo, son enfermedades desatendidas, poco pensadas y mínimamente investigadas. De estos parásitos, se conocen reportes de enfermedades como paragonimosis, gnatostomosis, anisakidosis y difilobotriasis. Las parasitosis mencionadas son consideradas enfermedades emergentes o reemergentes [2,3] donde la mayoría de casos clínicos se encuentran asociados a preparaciones de alimentos que incluyen la poca cocción del producto pesquero. En el caso particular de los nematodos, los anisakidos, especialmente la especie *Anisakis simplex*, presenta un interés particular a ser relacionada con la aparición de reacciones alérgicas (hipersensibilidad tipo I) del paciente [4].

La anisakidosis es una enfermedad ocasionada por las larvas de estadio L3, la forma infectiva de los nemátodos de la familia Anisakidae. Esta parasitosis es ocasionada en el humano por el consumo de pescado, crudo o con poca cocción parasitado con larvas de estos parásitos [5]. La parasitosis puede generar múltiples síntomas, aunque la mayoría de casos son asintomáticos [6]. En la literatura, se describen cuadros clínicos con afecciones gastrointestinales, reacciones alérgicas o gastroalérgicas, que se explican por una reacción de hipersensibilidad inmediata y una reacción inflamatoria [7]. La infección suele darse por una única larva, siendo las especies *Anisakis simplex*, *Anisakis physeteris*, *Pseudoterranova* spp., y el género *Hysterothylacium*, que son parásitos identificados en infecciones humanas [8,9]. Además, se ha descrito una relación entre el género de la larva y la respuesta inmunológica del hospedero; siendo más comunes los cuadros inflamatorios con parásitos del género *Pseudoterranova* y los de hipersensibilidad, por el género *Anisakis* [10].

Estos datos, han generado mucho interés y desarrollo de investigaciones en países europeos, es por ello, que la mayoría de casos reportados a nivel mundial, corresponden a países europeos y algunos asiáticos, donde la parasitosis representa un problema de

salud pública; lo que ha generado que los gobiernos, implementen leyes de control y prevención específicas, principalmente para el género *Anisakis*, específicamente la especie *Anisakis simplex*, presenta el mayor número de registros [11].

No obstante, en Colombia, aunque esta enfermedad es poco conocida, para el año 2015, se contaba con reportes de nemátodos de la Familia Anisakidae parasitando peces de agua dulce y en algunas especies icticas endémicas del Océano Atlántico [12]. Para el año 2017, se reportó el primer registro de parásitos anisakidos en peces de consumo habitual del Pacífico colombiano [13,14]. Posterior a los registros de peces parasitados por *Anisakis* en Colombia, en el año 2019, se reportó el primer caso de Anisakiasis gastro alérgica en una paciente colombiana; siendo diagnosticada a partir de la visualización de una larva de *Anisakis* sp. extraída por endoscopia [15].

Todo lo anterior, ha generado un gran interés en el escenario de la salud pública, específicamente en lo concerniente a enfermedades emergentes, las cuales podrían estar en aumento junto con el atractivo de la población por comer productos ictícolas crudos o mínimamente procesados. causada principalmente por la globalización que ha aumentado el interés por el consumo de platos exóticos y la difusión de la dieta mediterránea (rica en pescado) para la prevención de enfermedades cardiovasculares y el uso de microondas, que no permite la adecuada cocción de los alimentos, lo que favorece la supervivencia de agentes patógenos y la aparición de ictiozoonosis como la producida por los nematodos anisakidos [4].

Ictiozoonosis en América Latina

Colombia, es considerado uno de los países más diversos y ricos en recursos pesqueros, debido a que cuenta con dos Océanos, el Pacífico y Atlántico como mares territoriales limítrofes; a pesar de ello, el país registra un bajo consumo de pescado y mariscos, comparado con otros países de América del Sur y del mundo en general [1]. Sin embargo, la globalización ha impulsado el consumo de comidas a base de pescado con poca cocción; el sushi es uno de los casos más comerciales, con ello, ha aumentado el número de casos registrados con origen zoonótico alimentario [16].

Asimismo, en otros países de América Latina, se han llevado a cabo estudios sobre este tipo de parásitos, y con ello, se ha obtenido un incremento en los reportes. En el caso de Chile, para el año 2013, los casos de enfermedad alimentaria causadas por el consumo de pescado, aumentaron en un 100% respecto a los años anteriores, siendo el consumo de pescado crudo, marisco crudo o semicrudo; los alimentos asociados a enfermedades producidas por nemátodos, tremátodos, céstodos o protozoos [17]. Adicionalmente, se presentan cuadros clínicos relacionados principalmente con *Adenocephalus pacificus* (syn: *Diphyllobothrium pacificum*), *Pseudoterranova* spp. y *Anisakis* spp. [18–20]. Para el caso de Perú, Londoño et al. [21], determinaron la presencia de plerocercoides de *A. pacificus* en peces comercializados en la costa peruana; en adición a lo anterior, estudios recientes, consideran a la anisakidosis como una enfermedad emergente [22].

Por su parte, en Brasil los registros más comunes son por *Dibothriocephalus latus* (Syn: *Diphyllobothrium latum*) y *Ascocotyle*. En cuanto a Argentina, las descripciones de los casos de enfermedades transmitidas por pescado, están casi en su totalidad, relacionadas con *D. latus*, principalmente en la región de la Patagonia [20]. Además, la dibotriocefalosis (syn: difilobotriosis) también está descrita en Chile, Perú y Cuba [20]. Asimismo, la paragonimosis es considerada una enfermedad endémica en Ecuador y Perú, y con un mínimo de casos, en México, Costa Rica, Colombia y Venezuela. De igual manera, la gnatostomiosis, es una de las ictiozoonosis que se considera, afecta un número creciente de personas en América Latina, aunque, era considerada una enfermedad existente únicamente en Asia, en la última década se han reportado casos en Ecuador y México, lo que demuestra su existencia en esta región [23]. Sin embargo, en Colombia, son poco frecuentes los casos reportados de estas ictiozoonosis; no obstante, se encuentran registros de peces de consumo parasitados principalmente por nemátodos de la familia Anisakidae [23,24].

Anisakidosis

La infección por nemátodos anisakidos en el ser humano, puede cursar sin complicaciones, aunque también, puede presentar consecuencias graves en personas sensibilizadas, principalmente por la infección

causada por la especie *Anisakis simplex* [25]. Este tipo de enfermedad en general, es poco conocida y hasta la fecha, no se han evaluado las características de tales infecciones en los países de América del Sur en su conjunto [26]. Sin embargo, los reportes de infecciones humanas en algunos países, y su incidencia especialmente del género *Anisakis*, varía de un país a otro; siendo los países con tradición gastronómica basada en el consumo de pescado, los que presentan mayores reportes para América del Sur, destacándose Chile y Perú [26].

La presentación gastrointestinal depende de la ubicación de la larva en el tracto digestivo, esofágica, intestinal o gástrica; siendo esta última, la más común entre el 70 y 95 % de los casos [7]. Existen, además, reportes donde la larva se llegó a ubicar en laringe y lengua [9], o migrar hacia otros órganos, llegando a penetrar el hígado, bazo, páncreas, pulmones, ovarios y ganglios linfáticos [10].

En la figura 1, se presenta la identificación histoquímica de los nemátodos; resultados publicados por Castellanos et al. [27], donde se expone la diferenciación de estructuras anatómicas; resultados que complementan la identificación de los parásitos mediante el análisis de estructuras internas, principalmente cuando se encuentran en tejido y ocasionan lesiones histopatológicas (Figura 1) [27].

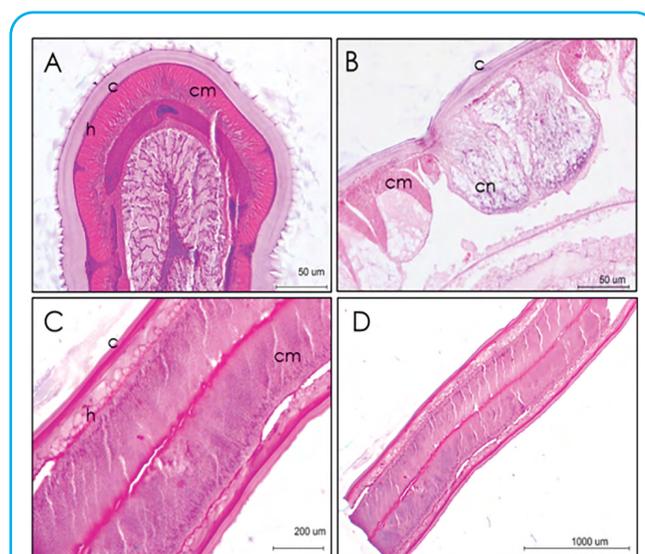


Figure 1. Larvas (L3) de nemátodos anisakidos. A-B. Secciones transversales 40x; C. 40x; D. Secciones longitudinales 10x. c. cutícula, h. hipodermis, cm. capa muscular, cn. Cordón nervioso. Fuente: Castellanos et al. [27].

Adicionalmente, la parasitosis puede desencadenar una reacción inmunológica, dependiendo del tiempo de permanencia de la larva en la cavidad, pudiendo ser aguda o crónica [22]. La infección, se caracteriza por generar una respuesta alérgica aguda, con cuadros clínicos de urticarias, angioedema y shock anafiláctico, los cuales presentan una apertura entre 4-24 horas, posterior al consumo del pescado parasitado [28]. Esta respuesta es ocasionada porque el sistema inmune reconoce los antígenos de excreción-secreción de larva viva (L3). En la literatura, se registran 14 alérgenos, siendo los antígenos *Ani s1* y *Ani s7*, los de más importancia, este último es el más reconocido por las personas que han estado en contacto con el parásito [29,30]. Los alérgenos, desencadenan una reacción de hipersensibilidad tipo I, mediada por anticuerpos de tipo IgE [31], la cual, requiere de una sensibilización previa de las células del sistema inmune, que está asociada a un cuadro intestinal asintomático de una infección previa [6,32].

Para el diagnóstico de anisakidosis, se tiene en cuenta el cuadro clínico del paciente, los antecedentes de consumo de pescado y el tipo de preparación culinaria del mismo. El diagnóstico para un cuadro gastrointestinal, se realiza por endoscopias, en la cual, se hace extracción e identificación del nemátodo [7]. Además, es importante un diagnóstico diferencial de otros cuadros gastrointestinales como gastritis, apendicitis aguda, obstrucción intestinal, apendicitis, infecciones por otros parásitos, gastroenteritis bacteriana, entre otros [7,10]. Para los cuadros alérgicos, se realizan pruebas serológicas para la detección de anticuerpos específicos, principalmente para *Anisakis*, de tipo IgM, IgG e IgE [6].

Anisakidos en Colombia

Para el año 2015, se reportaba para Colombia, la presencia de nemátodos de la Familia Anisakidae en peces de agua dulce y en algunas especies de peces de consumo que fueron capturados y comercializados en diferentes bahías del Océano Atlántico [12]. Para el año 2017, se publican las primeras investigaciones que confirmaron la presencia de *Anisakis* sp. en el Pacífico colombiano, donde se registraron los peces de consumo *Mugil cephalus* y Robalo, *Centropomus armatus*, en el puerto pesquero de Buenaventura. Ambas especies, consideradas de importancia económica y de consumo frecuente por la población [24,27].

Estos hallazgos generaron inquietud en la comunidad científica, desarrollando estudios que permitieron identificar ocho especies de peces como huéspedes de los géneros *Anisakis* y *Pseudoterranova*, estudios que fueron complementados con técnicas de biología molecular; permitiendo la identificación de las especies *A. pegreffii*, *A. physeteris* y *P. decipiens* con un porcentaje de infección entre el 18 y el 100% en peces de consumo del Pacífico [13,14].

En la Figura 2, se presenta el mapa de distribución de anisakidos en Colombia [23]. No obstante, las tasas de infección de peces no se traducen directamente en el nivel de exposición de los consumidores en determinadas áreas geográficas, debido a que la globalización ha facilitado en gran medida, el comercio intercontinental de productos del mar, incluido el pescado fresco [33].

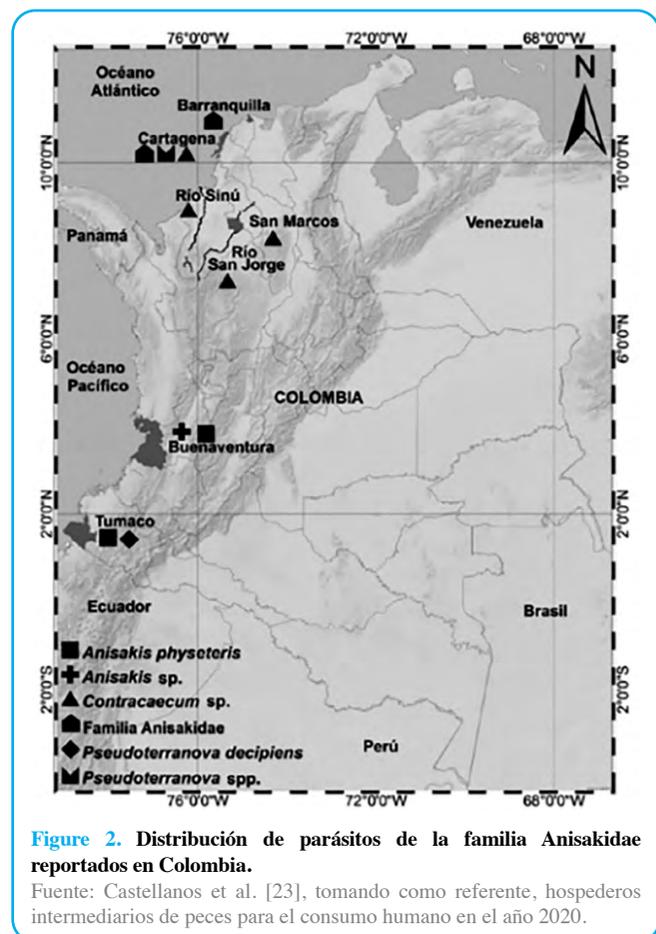


Figure 2. Distribución de parásitos de la familia Anisakidae reportados en Colombia.

Fuente: Castellanos et al. [23], tomando como referente, hospederos intermedios de peces para el consumo humano en el año 2020.

Estos hallazgos en Colombia, son similares a los encontrados en varias regiones del mundo, donde la anisakidosis, es considerada una enfermedad de salud

pública y por ende, ampliamente estudiada. Es así como los países ubicados en la zona geográfica que comprende el Mediterráneo y gran parte de Asia, son regiones que registran un elevado número de casos con síntomas alérgicos acompañados de anisakiasis (anisakiasis gastroalérgica) y con estos reportes, se ha incrementado el interés cosmopolita de investigar a las especies del género *Anisakis*, debido al potencial que presentan para inducir enfermedades alérgicas [34].

Por lo anterior, varias investigaciones afirman que *Anisakis* sp., puede constituir un problema de salud pública. Empero, es importante aclarar que las medidas de prevención primarias y secundarias para evitar los episodios alérgicos agudos, se realizan con prácticas sencillas, las cuales incluyen el procesamiento adecuado del pescado antes de consumirlo crudo o ligeramente cocido (congelación a -20°C durante al menos un rango de 24-48 h) [34]. Además, llama la atención, que posterior a los registros de peces parasitados por *Anisakis* en Colombia, se diera a conocer el primer reporte de un caso de anisakiasis gastroalérgica en una paciente colombiana, quien fuera diagnosticada luego de la visualización de una larva de *Anisakis* sp. extraída por endoscopia [15].

Conclusión

La Anisakidosis, está estrechamente relacionada con el consumo de pescado tipo cocción. En Colombia, la presencia de nemátodos de la familia Anisakidae en peces de consumo humano, pone en evidencia que la parasitosis es una enfermedad presente en Colombia, aunque por desconocimiento del personal de salud, pueda estar siendo subdiagnosticada. Aclarando, que es una parasitosis de fácil manejo, la cual implica el establecimiento de prácticas sencillas como la cocción y la congelación del pescado, previo al consumo.

Consentimiento de publicación

Los autores leyeron y aprobaron el manuscrito final.

Conflicto de interés

Los autores declaran no tener conflictos de interés. Este documento solo refleja sus puntos de vista y no los de las instituciones a las que cada autor pertenece.

Perfil de autoría

Jennifer Alejandra Castellanos Garzón

Obtuvo su doctorado en Ciencias Biomédicas en la Universidad del Valle; realizó estancias doctorales en la Universidad de Chile en Biología Molecular y en parasitología en la Universidad Complutense de Madrid, España; una estancia posdoctoral en la Universidad del Valle, Cali-Colombia. Es actualmente coordinadora del programa de Ingeniería en Biomédica en la Unidad Central del Valle del Cauca-UCEVA. Ha publicado sus resultados de investigación en revistas de alto impacto (Q1, Q2, Q3) en áreas relacionadas con la parasitología, inmunología, salud pública y ciencias biomédicas. Su labor como investigadora ha sido reconocida y galardonada en el ámbito nacional e internacional.



Rubén Ángel Mercado Pedraza

Profesor Asociado adscrito al Departamento de Pediatría y Cirugía Infantil de la Facultad de Medicina, Universidad de Chile. Obtuvo su doctorado en Parasitología de la Universidad Estadual de Campinas (UNICAMP), Brasil y su maestría en Parasitología de la Universidad de Chile. Sus líneas de investigación abarcan la parasitosis humana; enteroparasitosis en niños e inmunocomprometidos; el diagnóstico en laboratorio de las infecciones parasitarias; la epidemiología y salud pública, donde posee una amplia experiencia certificada y acreditada; sus resultados de investigación, han sido parte de ediciones de revistas de alto impacto y de renombre internacional (Q1, Q2, Q3).



Referencias

- [1] Castellanos-Garzon JA, Daschner A, Pustovrh M, Cuellar C. Characteristics related to fish consumption and the risk of ichthyozoonosis in a Colombian population. *Revista de Salud Pública* 2019;21:1–8. <https://doi.org/10.15446/rsap.v21n6.69898>.
- [2] Kuchta R, Serrano-Martínez ME, Scholz T. Pacific broad tapeworm *Adenocephalus pacificus* as a causative agent of globally reemerging diphyllbothriosis. *Emerging Infectious Diseases* 2015;21:1697–703. <https://doi.org/10.3201/eid2110.150516>.
- [3] Rodríguez-Pérez EG, Escandón-Vargas K, Castellanos JA. An unusual imported case of diphyllbothriosis in Mexico. *The Brazilian*

- Journal of Infectious Diseases 2017;21:355–6. <https://doi.org/10.1016/j.bjid.2016.10.015>.
- [4] Tuemmers C, Nuñez C, Willgert K, Serri M. Anisakiasis y Difilobotriasis. Ictiozoonosis de riesgo para la salud pública asociada al consumo del pescado crudo en Chile. *Revista De La Universidad Del Zulia* 2020; 5:27–39. <https://www.produccioncientificaluz.org/index.php/rfuz/article/view/31025>
- [5] Hochberg NS, Hamer DH. Anisakidosis: Perils of the Deep. *Clinical Infectious Diseases* 2010;51:806–12. <https://doi.org/10.1086/656238>.
- [6] Junior I, Vericimo M, Cardoso L, Clemente S, Nascimento E, Teixeira G. Cross-sectional study of serum reactivity to *Anisakis simplex* in healthy adults in Niterói, Brazil. *Acta Parasitologica* 2013; 58:399–404. <https://doi.org/10.2478/s11686-013-0157-3>.
- [7] Amo Peláez M, Muñoz Codoceo C, Martínez Montiel P, Sánchez Gómez F, Castellano G, Solís Herruzo J. Anisakiasis múltiple. *Rev Esp Enferm Dig (Madrid)* 2008;100:581–2. <https://scielo.isciii.es/pdf/diges/v100n9/imagenes2.pdf>
- [8] Cabrera R. Anisakiasis outbreak by *Anisakis simplex* larvae associated to Peruvian food in Spain. *Revista Española de Enfermedades Digestivas* 2010;102:610–1. <https://doi.org/10.4321/S1130-01082010001000011>.
- [9] Picó-Durán G, Pulleiro-Potel L, Abollo E, Pascual S, Muñoz P. Molecular identification of *Anisakis* and *Hysterothylacium* larvae in commercial cephalopods from the Spanish Mediterranean coast. *Veterinary Parasitology* 2016;220:47–53. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2016.02.020>.
- [10] Nieuwenhuizen NE. *Anisakis*. Immunology of a foodborne parasitosis. *Parasite Immunology* 2016;38:548–57. <https://doi.org/10.1111/pim.12349>.
- [11] Audicana MT, Ansotegui IJ, de Corres LF, Kennedy MW. *Anisakis simplex*: dangerous — dead and alive? *Trends in Parasitology* 2002; 18:20–5. [https://doi.org/10.1016/S1471-4922\(01\)02152-3](https://doi.org/10.1016/S1471-4922(01)02152-3).
- [12] Olivero Verbel J, Baldiris Ávila R. Parásitos en peces colombianos: Están enfermando nuestros ecosistemas? Cartagena, Colombia: 2008. https://www.rds.org.co/apc-aa-files/c1a230c6696a0e3d3ded4cbdbe1edfd7/Parasitos_Peces_Colombianos_Olivero_Baldiris_2009.pdf
- [13] Castellanos JA, Santana-Piñeros AM, Mercado R, Peña S, Pustovrh C, Cruz-Quintana Y. Presence of anisakid larvae in commercial fishes landed in the Pacific coast of Ecuador and Colombia. *Infectio* 2018; 22:206–12. <https://doi.org/10.22354/in.v22i4.739>.
- [14] Castellanos Garzon JA, Mercado P R, Peña F S, Pustovrh R MC, Salazar M L. *Anisakis physeteris* and *Pseudoterranova decipiens* in the *Mugil curema* fish caught in Tumaco, Colombia. *Revista MVZ Córdoba* 2020;25: e1781. <https://doi.org/10.21897/rmvz.1781>.
- [15] Patiño JA, Olivera MJ. Anisakiasis gastro-alérgica, primera descripción de un caso en Colombia y revisión bibliográfica. *Biomédica* 2019;39:241–6. <https://doi.org/10.7705/biomedica.v39i2.3936>.
- [16] Scholz T, Garcia HH, Kuchta R, Wicht B. Update on the human broad tapeworm (genus *Diphyllobothrium*), including clinical relevance. *Clinical Microbiology Reviews* 2009;22:146–60. <https://doi.org/10.1128/CMR.00033-08>.
- [17] Craig N. Fish tapeworm and sushi. Case report. *Can Fam Physician* 2012;58:654–8. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3374688/pdf/0580654.pdf>
- [18] Mercado R, Torres P, Muñoz V, Apt W. Human infection by *Pseudoterranova decipiens* (Nematoda, Anisakidae) in Chile: report of seven cases. *Memórias Do Instituto Oswaldo Cruz* 2001; 96:653–5. <https://doi.org/10.1590/S0074-02762001000500010>.
- [19] Mercado P R, Torres H P, Carlos Gil L L, Goldin G L. Anisakiasis en un paciente portadora de una pequeña hernia hiatal: Caso clínico. *Revista Médica de Chile* 2006; 134:1562–4. <https://doi.org/10.4067/S0034-98872006001200011>.

- [20] Quijada J, Lima dos Santos C, Avdalov N. Enfermedades parasitarias por consumo de pescado. Incidencia en América Latina. *Infopesca Internacional* 2005; 24:16–23. ftp://ftp.sp.gov.br/ftpesca/IIsimcope/palestra_nelson_avdalov.pdf
- [21] Londoño-Bailón P, Céspedes-Chombo R, Díaz Pereyra K. Evaluación de la presencia de *Adenocephalus pacificus* en pescados de mayor consumo en el Perú en el periodo 2016-2017. *Revista de Investigaciones Veterinarias Del Perú* 2020;31: e17552. <https://doi.org/10.15381/rivep.v31i1.17552>.
- [22] Cabrera R, Trillo Altamirano M. Anisakidosis: ¿Una zoonosis parasitaria marina desconocida o emergente en el Perú? *Rev Gastroenterol Perú* 2004; 24:335–42. <http://www.scielo.org.pe/pdf/rgp/v24n4/a06v24n4.pdf>
- [23] Castellanos-Garzón JA, Falla-Zúñiga LF, Salazar L, Pustovrh-Ramos MC. Anisákidos y anisakidosis: generalidades y su actualidad en Colombia. *Revisión bibliográfica. Iatreia* 2020;33:143–54. <https://doi.org/10.17533/udea.iatreia.47>.
- [24] Castellanos JA, Tangua AR, Mercado R, Salazar L. First reporting of *Anisakis* sp. in the Armed Snook fish (*Centropomus armatus*) caught and commercialized in Buenaventura, Colombia. *Infectio* 2018;22:136–40. <https://doi.org/10.22354/in.v22i3.724>.
- [25] Daschner A, Cuéllar C, Rodero M. The *Anisakis* allergy debate: does an evolutionary approach help? *Trends in Parasitology* 2012;28:9–15. <https://doi.org/10.1016/j.pt.2011.10.001>.
- [26] Eiras JC, Pavanelli GC, Takemoto RM, Nawa Y. Fish-borne nematodiasis in South America: neglected emerging diseases. *Journal of Helminthology* 2018;92:649–54. <https://doi.org/10.1017/S0022149X17001006>.
- [27] Castellanos JA, Tangua AR, Salazar L. *Anisakidae* nematodes isolated from the flathead grey mullet fish (*Mugil cephalus*) of Buenaventura, Colombia. *International Journal for Parasitology: Parasites and Wildlife* 2017;6:265–70. <https://doi.org/10.1016/j.ijppaw.2017.08.001>.
- [28] Jofré M L, Neira O P, Noemí H I, Cerva C JL. Pseudoterranovosis y sushi. *Revista Chilena de Infectología* 2008; 25:200–6. <https://doi.org/10.4067/S0716-10182008000300010>.
- [29] Prester L. Seafood allergy, toxicity and intolerance: a review. *Journal of the American College of Nutrition* 2016;35:271–83. <https://doi.org/10.1080/07315724.2015.1014120>.
- [30] Cuéllar C, Daschner A, Valls A, de Frutos C, Fernández-Fígares V, Anadón AM, et al. *Ani s 1* and *Ani s 7* recombinant allergens are able to differentiate distinct *Anisakis* simplex-associated allergic clinical disorders. *Archives of Dermatological Research* 2012;304:283–8. <https://doi.org/10.1007/s00403-012-1206-8>.
- [31] Shimamura Y, Muwanwella N, Chandran S, Kandel G, Marcon N. Common Symptoms from an Uncommon Infection: Gastrointestinal *Anisakiasis*. *Canadian Journal of Gastroenterology and Hepatology* 2016;2016:5176502. <https://doi.org/10.1155/2016/5176502>.
- [32] Martínez E, Loaiza L, Bastidas G. *Anisakiosis*. *Comunidad y Salud* 2009; 7:18–22. <http://ve.scielo.org/pdf/cs/v7n1/art04.pdf>
- [33] Daschner A, Levsen A, Cipriani P, Cuéllar del Hoyo C. *Anisakis* allergy: unjustified social alarm versus healthy diet. *Parasitology Research* 2021;120:769–71. <https://doi.org/10.1007/s00436-020-07029-z>.
- [34] Daschner A, Cuéllar C. Progress in *Anisakis* Allergy Research: Milestones and Reversals. *Current Treatment Options in Allergy* 2020; 7:457–70. <https://doi.org/10.1007/s40521-020-00273-9>.

Influencia del inmuno-metabolismo macrofágico en la sepsis humana: un nuevo paradigma

Influence of macrophage immuno-metabolism in human sepsis: a new paradigm

Juan Sebastián Henao Agudelo*  Rubén Eduardo Lasso Palomino 

Acceso Abierto

***Correspondencia:**
jshenao@uceva.edu.co
Facultad de Ciencias de la Salud.
Programa de Medicina. Unidad
Central del Valle del Cauca

Sometido: 15-04-2021
Aceptado para publicación:
23-06-2021
Publicado en línea: 09-09-2021

Palabras clave:

Enfoque terapéutico;
inmunometabolismo macrofágico;
reprogramación inmunometabólica;
respuesta inmune;
sepsis humana.

Key words:

Macrophagic immunometabolism;
human sepsis;
immune response;
immunometabolic reprogramming;
therapeutic approach.

Resumen

El objetivo de esta reflexión es resaltar la importancia de la influencia del inmunometabolismo macrofágico y su respuesta dirigida a la sepsis humana como un enfoque terapéutico en el futuro cercano. La sepsis es un problema significativo de salud pública en todo el mundo. A pesar de su existencia desde la época de Hipócrates (470 a.C.), la sepsis continua siendo un problema clínico de marcada importancia con relevante crecimiento y tasas significativas de incidencia a nivel mundial. La exploración de las vías inmunometabólicas en la sepsis, es un área importante de investigación y la focalización en las vías metabólicas, puede representar una estrategia novedosa y prometedora como terapia de la sepsis. Por lo tanto, es vital el comprender la reprogramación inmunometabólica durante la sepsis para diseñar futuras terapias basadas en objetivos en función de la gravedad. Avances en las nuevas tecnologías como la secuenciación genética, la generación de proteínas recombinantes, citometría de flujo, terapia génica, entre otras, han permitido elucidar un concepto más multidisciplinar de la sepsis y se entiende con mayor precisión, que es un proceso que altera las vías metabólicas relacionadas con la inflamación; volviéndose claramente vital, para potenciar un enfoque terapéutico que busca restaurar el sistema inmunológico del paciente séptico.

Abstract

The aim of this reflection is to highlight the importance of macrophagic immuno-metabolism influence and its targeting response in human sepsis as therapeutic approach in a near future. Sepsis is a significant public health problem worldwide. Despite its existence since the time of Hippocrates (470 BC), sepsis continues to be a highly important clinical problem with significant growth and significant incidence rates worldwide. The exploration of the immunometabolic pathways in sepsis is an important area of research, and the targeting of metabolic pathways may represent a promising novel strategy as a therapy of sepsis. Thus, it becomes vital to understand the immunometabolic reprogramming during sepsis to design future target-based therapeutics depending on the severity. Advances in new technologies such as genetic sequencing, the generation of recombinant proteins, flow cytometry, gene therapy, among others, have made it possible to elucidate a more multidisciplinary concept of sepsis and it is understood with greater precision that it is a process that alters the metabolic pathways related to inflammation; becoming clearly vital, to enhance a physiological approach that seeks to restore the immune system of the septic patient.

Introducción

En mayo de 2017, la 70ª Asamblea de la Organización Mundial de la Salud adoptó la resolución A70/13 [1], con el objetivo de brindar pautas para optimizar la prevención, el diagnóstico y el mantenimiento de la sepsis a escala global; reconociendo a la sepsis como un problema de salud pública que requiere atención prioritaria debido a que anualmente cobra la vida de millones de personas en todo el mundo y se estima que más de 31.5 millones de personas son afectados por sepsis [2].

La comunidad científica ha generado diferentes guías de atención con el objetivo de orientar a nivel mundial el manejo de la sepsis resaltándose las campañas de “sobreviviendo a la sepsis” (desde su creación en el año 2001), con sus distintas versiones hasta el año 2016 [3] y por primera vez, la edición pediátrica de esta en el año 2020 [4]. La carga de esta enfermedad a nivel mundial, deja casi 6 millones de muertes en población adulta, y 1.200.000 año⁻¹ casos en niños con una mortalidad entre el 4 y el 50%; siendo Latinoamérica, claramente, la región más susceptible [5].

A nivel de Latinoamérica, un estudio llevado a cabo por Machado et al. [6] en Unidades de Cuidado Intensivo (UCI) en Brasil, expuso una mortalidad hospitalaria del 55% en pacientes con sepsis y una incidencia proyectada de 290 casos por 100.000 habitantes [6]. Cabe anotar que estos hallazgos, junto con la alta prevalencia de comorbilidades como el VIH, la malaria y el dengue, son factores documentados que aumentan la mortalidad en los países de ingresos bajos y medios (también llamados LMIC, del inglés: Low-to-Middle-Income Country) [7]. Se estima que la mortalidad hospitalaria en los países de ingresos altos está entre el 25 y el 30%, mientras que en los países de ingresos bajos y medianos, la tasa es del 40 al 50% [5,6]. Por ello, la resolución elaborada por la OMS, la cual está dirigida a 194 Estados miembros, tiene como objetivo principal, reducir el impacto sanitario y económico que produce la sepsis a escala global [8].

Entre las medidas propuestas, se encuentran las siguientes: *i*) protocolos para el control de la infección intrahospitalaria; *ii*) medidas para combatir la resistencia microbiana; *iii*) programas educativos sobre el reconocimiento temprano de la sepsis y *iv*) el desarrollo de guías especializadas para optimizar

la atención de la sepsis en las salas de emergencia y UCIs. la resolución propone además que se desarrollen proyectos destinados a mejorar el tratamiento, el diagnóstico y la comprensión fisiopatológica de la sepsis [1]. El objetivo de esta reflexión es resaltar la importancia de la influencia del inmunometabolismo macrofágico y su respuesta dirigida a la sepsis humana como un enfoque terapéutico en el futuro cercano.

El papel de la inflamación y el inmunometabolismo en la sepsis

Avances en las nuevas tecnologías como la secuenciación genética, la generación de proteínas recombinantes, citometría de flujo, terapia génica, entre otras, han permitido elucidar un concepto más multidisciplinar de la sepsis y se entiende con mayor precisión, que es un proceso que altera las vías metabólicas relacionadas con la inflamación [9]. No obstante, en la convergencia de todos los eventos desregulados, el punto central de la patogénesis de la sepsis corresponde a la disfunción del sistema inmune, debido a que es responsable de la eliminación del agente patógeno. Hay que mencionar además que la erradicación del microorganismo, dependerá fundamentalmente de factores intrínsecos involucrados con: *i*) la alteración del sistema inmune del huésped; *ii*) el estado nutricional; *iii*) la presencia de comorbilidades; *iv*) estados proinflamatorios; *v*) los extremos de la vida y *vi*) la inmunocompetencia del paciente.

Adicionalmente, existen sólidas evidencias que demuestran que adultos jóvenes con sistema inmunológico alterado o inmunosuprimido, con padecimiento de enfermedades crónicas o que han sido incluso, sometidos a trasplantes de órganos sólidos; poseen un mayor riesgo de sepsis en comparación con los adultos jóvenes inmunocompetentes [10]. En este contexto, se deduce finalmente el papel del sistema inmunológico en la erradicación del patógeno y resolución de la sepsis.

Inmunometabolismo de la hiperinflamación de la sepsis

Es evidente, que durante el proceso inflamatorio de la sepsis, se hace necesario un soporte energético que apoye los procesos efectores destinados a eliminar rápidamente los microorganismos, por lo tanto, la

energía es generada por el conocido *efecto Warburg*, el cual consiste en cambiar una fuente de energía producida por fosforilación oxidativa (OXPHOS) por una fuente de energía más rápida formada a partir de la glucólisis aeróbica [11]. Por ende, esta nueva fuente, proporciona el sustento suficiente para que funciones efectoras como la fagocitosis, la producción de especies reactivas de oxígeno y la secreción de mediadores inflamatorios, actúen cuanto antes en la respuesta inmune [11].

Desde el punto de vista energético, la vía glucolítica genera 2 ATP por molécula de glucosa (mientras OXPHOS genera 38); sin embargo, es un metabolismo ideal para que la respuesta inmune responda rápidamente a los requerimientos de una infección [12]. El metabolismo glucolítico se caracteriza por la alta producción de lactato, el cual es un sustrato derivado de la glucólisis y enzimas que ayudan a mantener el perfil proinflamatorio de las células de la inmunidad innata [13]. Por ejemplo, la enzima PKM2 se asocia con la producción de IL-1 β en macrófagos M1, con participación conjunta del factor nuclear HIF-1 α [14]. Además, durante la inflamación, otras vías se regulan positivamente, como la vía de la pentosa que produce NADPH para generar especies reactivas de oxígeno. Al final, estos cambios, acaban proporcionando una estructura energética suficiente para que los macrófagos mantengan la polarización M1 y las células dendríticas, el fenotipo proinflamatorio característico de la fase hiperinflamatoria de la sepsis [12–14].

Inmunometabolismo de la hipoinflamación (inmunoparálisis) de la sepsis

En el caso específico de la sepsis, se trata de un síndrome multifásico. En esta fase, el metabolismo sufre cambios significativos que terminan afectando la inflamación. A diferencia de la fase hiperinflamatoria, las células priorizan la energía generada a través del ciclo de Krebs, la fosforilación oxidativa y el metabolismo de los ácidos grasos; los cuales por el mismo uso de la glucólisis aeróbica, reducen el sustento del *efecto Warburg*, que es generado para mantener la hiperinflamación [15]. Trabajos recientes han demostrado que el aumento del metabolismo de los ácidos grasos, promueve el estado M2 de los macrófagos [16] (Figura 1), perfil que se caracteriza por la producción de citocinas antiinflamatorias y quimiocinas asociadas con los linfocitos Th2 [17].

Los macrófagos M2 (Figura 1), secretan citocinas y factores antiinflamatorios como IL-10, TGF β , IL-1RA y quimiocinas como CCL22 y CCL18, los cuales promueven un entorno antiinflamatorio e inmunotolerante suficiente para promover la inmunosupresión de la sepsis [18]. Adicionalmente, se ha estudiado la comunicación del macrófago con los linfocitos T durante la inmunoparálisis; la interacción PD1 presente en los linfocitos y PDL-1 de los macrófagos, los cuales son responsables de la pérdida de MHC de clase II en macrófagos [19], un fenómeno que está asociado a un pronóstico deficiente y a la severidad presentada en pacientes sépticos. Las evidencias revelan, que la reducción de HLA-DR(MHCII) en monocitos de pacientes sépticos, es un factor de riesgo para el aumento de infecciones nosocomiales y mortalidad durante la fase de inmunoparálisis de la sepsis [20]. El macrófago juega una papel fundamental durante la hiperinflamación o hipoinflamación de la sepsis, siendo determinante en la resolución o severidad del evento séptico. Sin embargo, el fenotipo, la activación y el comportamiento inmunometabólico del macrófago durante la sepsis humana, sigue siendo un campo amplio de investigación por discernir en la medicina moderna.

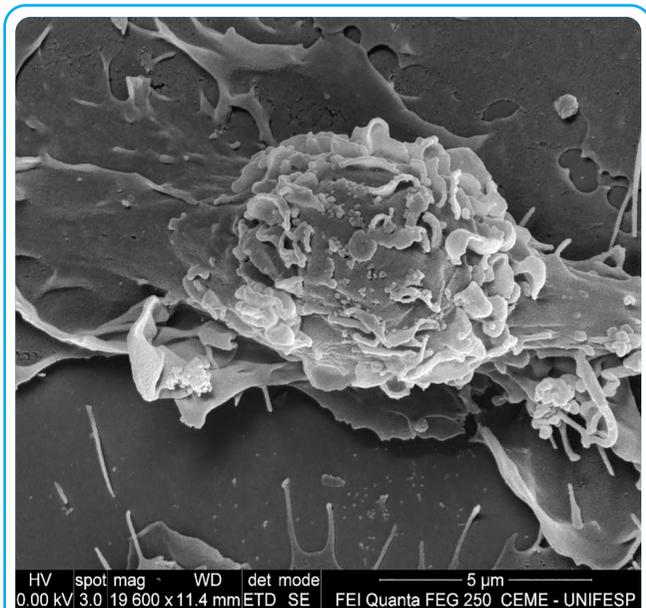


Figure 1. Macrófago adherido a placa de cultivo celular

Macrófago con membrana celular irregular que presenta una fuerte adherencia al plástico y múltiples pseudópodos, los cuales son esenciales para el proceso de fagocitosis. Este macrófago fue derivado a partir de progenitores de médula ósea humana y diferenciado durante 7 días con el factor de crecimiento GM-CSF (factor estimulante de colonias de granulocitos y macrófagos).

Papel de los macrófagos y monocitos durante la inmunoparálisis de la sepsis

Durante la inmunoparálisis de la sepsis, los monocitos se someten a una reprogramación inmunometabólica e epigenética, la cual provoca fallas en funciones efectoras como la presentación de antígenos y la secreción de citocinas proinflamatorias [21]. Además, la reprogramación de macrófagos, implica que estas células expresen marcadores asociados a M2 como CD36, IL-10 y VEGF- α , afectando en gran medida, su potencial antimicrobiano [21,22]. En consecuencia, se reportan defectos en la expresión de genes asociados al inflamossoma [23] y de moléculas co-estimuladoras como el CD86.

En un estudio llevado a cabo por Ferreira et al. [24], se pudo evidenciar que los monocitos sépticos, aumentan la expresión del ligando PDL-1, el cual es una proteína transmembranal relacionada con funciones anérgicas que son encontradas en algunas respuestas inmunes frente al cáncer; exponiendo similitudes con los procesos fisiopatológicos que ocurren durante la inmunoparálisis de la sepsis [24].

Igualmente, cuando se revisó el transcriptoma derivado de monocitos de pacientes sépticos con monocitos de pacientes en recuperación [22], se evidenció que los monocitos sépticos, a diferencia de los monocitos en recuperación; presentaron un fenotipo asociado a M2, revelando los siguientes aspectos: *i*) aumento de la angiogénesis; *ii*) secreción de mieloperoxidasas; *iii*) capacidad deficiente para presentar antígenos microbianos y *iv*) limitada actividad para promover la proliferación de linfocitos efectores [25,26].

Buscando un mecanismo biológico que explicara el comportamiento del macrófago durante la inmunoparálisis, los investigadores Shalova et al. [22], encontraron que HIF1 α , estaría regulado positivamente en monocitos de pacientes sépticos. En otra investigación, quedó en evidencia que las células mononucleares de sangre periférica (PBMCs) de pacientes sépticos, exhibieron una reducción en la vía de señalización del factor NF-KB en comparación con mononucleares de

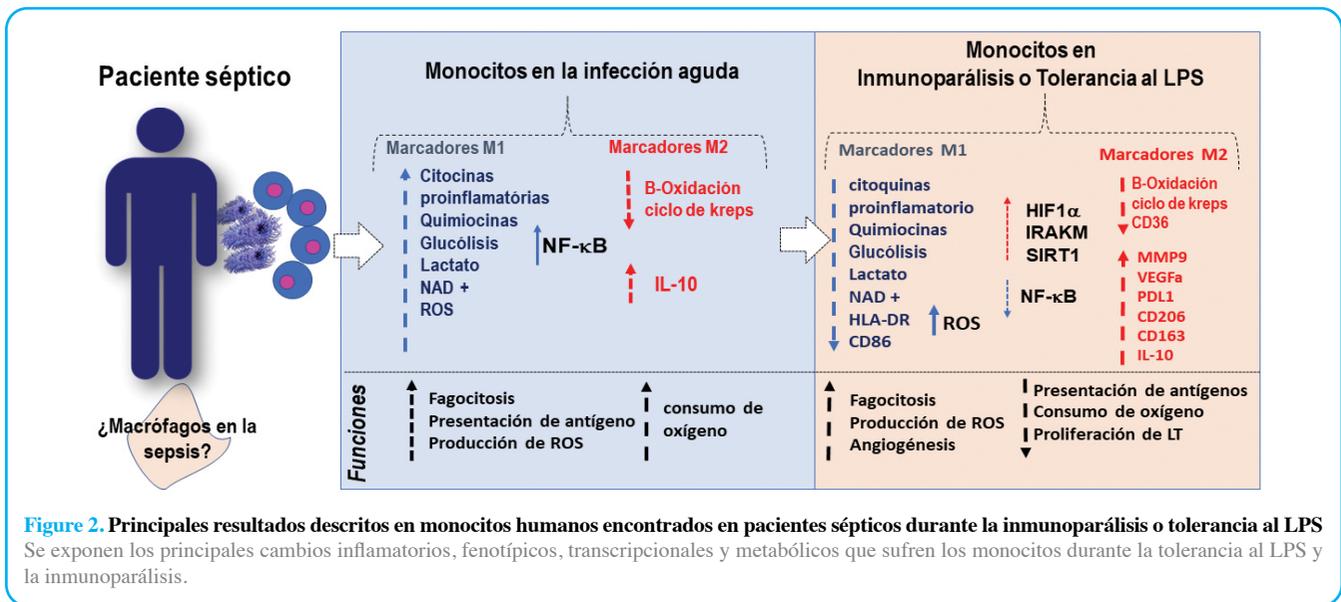
voluntarios sanos; reportando además, la producción de IL-10 en los monocitos de pacientes sépticos [27]. Estos eventos, refuerzan las características inmunosupresoras y fenotípicas que aparentemente adquiere el macrófago durante la fase hipoinflamatoria de la sepsis.

No obstante, recientes investigaciones revelan que, estos cambios fenotípicos y transcripcionales sufridos durante la inmunoparálisis, son promovidos principalmente por cambios metabólicos [28]. Un estudio reciente, liderado por el grupo de Netea MG [29], mostró que durante la infección por sepsis aguda, los monocitos exhiben un perfil metabólico glucolítico con características fenotípicas asociadas con la polarización M1, también conocida como la proinflamación del macrófago [30]. Sorprendentemente, cuando se examinaron los monocitos durante el período de inmunoparálisis, los resultados mostraron que estos monocitos exhibían represión no solo en las vías glucolíticas, sino inesperadamente en las vías de b-oxidación y ciclo de Krebs. Estos monocitos también mostraron un perfil similar a M2, con marcada expresión de IL-10, CD36 y CD163 [31].

Curiosamente, algunas funciones macrofágicas, como la fagocitosis y la expresión de ROS, usualmente tienden a permanecer inalteradas en los macrófagos durante la inmunoparálisis [32]. Sin embargo, aunque estas funciones se conservan, cada vez es más claro que estos mecanismos por sí solos, no son suficientes para controlar el microorganismo y resolver el proceso infeccioso [33].

La tolerancia a LPS como modelo de inmunoparálisis

La activación macrofágica tipo M2, descrita durante la inmunoparálisis de la sepsis, es en gran medida, muy similar al perfil observado durante el fenómeno de tolerancia al LPS. Por ello, este modelo *in vitro*; el cual, sigue siendo conveniente para comprender en el laboratorio los mecanismos que gobiernan los cambios fenotípicos y transcripcionales que tienen lugar en los monocitos durante la sepsis (Figura 2).



La tolerancia a LPS (Figura 2), ha sido ampliamente estudiada por diversos grupos de investigación, quienes han demostrado que monocitos humanos tolerantes a LPS, reducen la producción de IL-6 y retienen la capacidad de fagocitar bacterias, además de mantener intacta la capacidad de producir ROS [32]. Por otro lado, en el contexto de la sepsis, Delano y Ward [34], dejaron en evidencia que los monocitos de pacientes sépticos cuando se desafiaban con LPS, exhibieron un detrimento significativo en la producción de TNF- α , acompañada de una producción exacerbada de ROS en comparación con voluntarios sanos [35]. Halbach et al. [36], en este mismo escenario, reportaron que los monocitos de pacientes sépticos, poseen cierta similitud con el perfil M2 de los macrófagos, debido a que exhiben una reducción en la expresión de HLA-DR y un aumento en CD206 y CD163 [36].

Conclusión

El enfoque terapéutico, se torna claramente vital, debido a que persigue la restauración del sistema inmunológico del paciente séptico, logrando ser más específico a la respuesta inmune y a los diferentes fenotipos de presentación. Así mismo, el enfoque terapéutico se convierte en una alternativa de solución eficaz frente a los tratamientos usuales de la sepsis, que incluyen la administración precoz de antibióticos y el mantenimiento hemodinámico de los pacientes.

El macrófago, como célula efectora de la inflamación y responsable de la contención del microorganismo, juega un papel central en la comprensión de la inmunopatología de la sepsis. Por consiguiente, comprender la polarización de los macrófagos, sus cambios metabólicos y los cambios epigenéticos que estos puedan sufrir durante el desarrollo de la sepsis, se vuelve fundamental a la hora de generar conocimiento sobre la respuesta inmune de la sepsis y buscar posibles biomarcadores y dianas terapéuticas.

Se reconoce a la sepsis como una enfermedad con gran variedad de presentación, y heterogeneidad en su expresión clínica, que no puede ser encasillada a un manejo único definido; por esta razón, conceptos y trabajos en medicina de precisión, generan una visión futura de lo que en los siguientes años se deberá realizar de manera individual en pacientes sépticos.

Consentimiento de publicación

Los autores leyeron y aprobaron el manuscrito final.

Conflicto de interés

Los autores declaran no tener conflictos de interés. Este documento solo refleja sus puntos de vista y no los de las instituciones a las que cada autor pertenece.

Perfil de autoría

Juan Sebastián Henao Agudelo

Obtuvo su doctorado y maestría en Ciencias Biomédicas de la Universidad Federal de São Paulo, Brasil. Tiene experiencia en investigación clínica relacionada con pacientes trasplantados, pacientes con enfermedad renal crónica, cáncer y epidemiología clínica. Sus líneas de investigación son la inmunología, la biología molecular, la terapia celular y la inmunoterapia del cáncer. Ha publicado en varias revistas de alto impacto (Q1) en el área de inmunología, terapia celular y enfermedades renales. Ha sido galardonado como mejor Joven Investigador de la Fundación Bill y Melinda Gates, segundo lugar otorgado por la Federación Europea de Sociedades de Inmunología, y mejor trabajo científico en el Foro de Inmunoterapia del Cáncer, realizado en la ciudad de Madrid, España.



Rubén Eduardo Lasso Palomino

Médico y cirujano de la Universidad del Cauca. Especialista en Pediatría de la Universidad CES., actualmente trabaja en la Unidad de Cuidados Críticos Pediátricos de la Fundación Valle del Lili, Cali-Colombia. Jefe médico en UCIP. Miembro de LARed (Red Colaborativa Pediátrica Latinoamericana); enfoque: PIC-S, familias en UCIP, enfermedad crónica de cuidados críticos y AKI.



Referencias

- [1] World Health Organization (WHO). <https://mca.essensys.ro/news-room/fact-sheets/detail/sepsis>.
- [2] Fleischmann C, Scherag A, Adhikari NKJ, Hartog CS, Tsaganos T, Schlattmann P, et al. Assessment of global incidence and mortality of hospital-treated sepsis. current estimates and limitations. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* 2016;193. <https://doi.org/10.1164/rccm.201504-0781OC>.
- [3] Rhodes A, Evans LE, Alhazzani W, Levy MM, Antonelli M, Ferrer R, et al. Surviving sepsis campaign: international guidelines for management of sepsis and septic shock: 2016. *Intensive Care Medicine* 2017;43. <https://doi.org/10.1007/s00134-017-4683-6>.
- [4] Weiss SL, Peters MJ, Alhazzani W, Agus MSD, Flori HR, Inwald DP, et al. Surviving sepsis campaign international guidelines for the management of septic shock and sepsis-associated organ dysfunction in children. *Intensive Care Medicine* 2020;46. <https://doi.org/10.1007/s00134-019-05878-6>.
- [5] Rudd KE, Johnson SC, Agesa KM, Shackelford KA, Tsoi D, Kievlan DR, et al. Global, regional, and national sepsis incidence and mortality, 1990–2017: analysis for the Global Burden of Disease Study. *The Lancet* 2020;395. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(19\)32989-7](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(19)32989-7).
- [6] Machado FR, Cavalcanti AB, Bozza FA, Ferreira EM, Angotti Carrara FS, Sousa JL, et al. The epidemiology of sepsis in Brazilian intensive care units (the Sepsis prevalence assessment database, spread): an observational study. *The Lancet Infectious Diseases* 2017;17. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(17\)30322-5](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(17)30322-5).
- [7] Rudd KE, Kisoorn N, Limmathurotsakul D, Bory S, Mutahunga B, Seymour CW, et al. The global burden of sepsis: barriers and potential solutions. *Critical Care* 2018;22. <https://doi.org/10.1186/s13054-018-2157-z>.
- [8] Paoli CJ, Reynolds MA, Sinha M, Gitlin M, Crouser E. Epidemiology and Costs of Sepsis in the United States—An analysis based on timing of diagnosis and severity level*. *Critical Care Medicine* 2018;46. <https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000003342>.
- [9] Hotchkiss RS, Moldawer LL, Opal SM, Reinhart K, Turnbull IR, Vincent J-L. Sepsis and septic shock. *Nature Reviews Disease Primers* 2016;2. <https://doi.org/10.1038/nrdp.2016.45>.
- [10] Bouza C, López-Cuadrado T. Epidemiology and trends of sepsis in young adults aged 20–44 years: A nationwide population-based study. *Journal of Clinical Medicine* 2019;9. <https://doi.org/10.3390/jcm9010077>.
- [11] Arts RJW, Gresnigt MS, Joosten LAB, Netea MG. Cellular metabolism of myeloid cells in sepsis. *Journal of Leukocyte Biology* 2017;101. <https://doi.org/10.1189/jlb.4MR0216-066R>.

- [12] O'Neill LAJ, Kishton RJ, Rathmell J. A guide to immunometabolism for immunologists. *Nature Reviews Immunology* 2016;16. <https://doi.org/10.1038/nri.2016.70>.
- [13] Geeraerts X, Bolli E, Fendt S-M, van Genderachter JA. Macrophage metabolism as therapeutic target for cancer, atherosclerosis, and obesity. *Frontiers in Immunology* 2017;8. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2017.00289>.
- [14] Diskin C, Pålsson-McDermott EM. Metabolic modulation in macrophage effector function. *Frontiers in Immunology* 2018;9. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2018.00270>.
- [15] van Wyngene L, Vandewalle J, Libert C. Reprogramming of basic metabolic pathways in microbial sepsis: therapeutic targets at last? *EMBO Molecular Medicine* 2018;10. <https://doi.org/10.15252/emmm.201708712>.
- [16] Batista-González A, Vidal R, Criollo A, Carreño LJ. New Insights on the role of lipid metabolism in the metabolic reprogramming of macrophages. *Frontiers in Immunology* 2020;10. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2019.02993>.
- [17] Braga TT, Agudelo JSH, Camara NOS. Macrophages During the Fibrotic Process: M2 as Friend and Foe. *Frontiers in Immunology* 2015;6. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2015.00602>.
- [18] Kumar V. Targeting macrophage immunometabolism: Dawn in the darkness of sepsis. *International Immunopharmacology* 2018;58. <https://doi.org/10.1016/j.intimp.2018.03.005>.
- [19] Venet F, Lukaszewicz A-C, Payen D, Hotchkiss R, Monneret G. Monitoring the immune response in sepsis: a rational approach to administration of immunoadjuvant therapies. *Current Opinion in Immunology* 2013;25. <https://doi.org/10.1016/j.coi.2013.05.006>.
- [20] Denstaedt SJ, Singer BH, Standiford TJ. Sepsis and nosocomial infection: patient characteristics, mechanisms, and modulation. *Frontiers in Immunology* 2018;9. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2018.02446>.
- [21] Ono S, Tsujimoto H, Hiraki S, Aosasa S. Mechanisms of sepsis-induced immunosuppression and immunological modification therapies for sepsis. *Annals of Gastroenterological Surgery* 2018;2. <https://doi.org/10.1002/ags3.12194>.
- [22] Shalova IN, Lim JY, Chittezhath M, Zinkernagel AS, Beasley F, Hernández-Jiménez E, et al. Human monocytes undergo functional reprogramming during sepsis mediated by hypoxia-inducible factor-1 α . *immunity* 2015;42. <https://doi.org/10.1016/j.immuni.2015.02.001>.
- [23] Esquerdo KF, Sharma NK, Brunialti MKC, Baggio-Zappia GL, Assunção M, Azevedo LCP, et al. Inflammasome gene profile is modulated in septic patients, with a greater magnitude in non-survivors. *Clinical & Experimental Immunology* 2017;189. <https://doi.org/10.1111/cei.12971>.
- [24] Ferreira da Mota NV, Brunialti MKC, Santos SS, Machado FR, Assuncao M, Azevedo LCP, et al. Immunophenotyping of Monocytes During Human Sepsis Shows Impairment in Antigen Presentation: A Shift Toward Nonclassical Differentiation and Upregulation of FC γ R1-Receptor. *Shock* 2018;50. <https://doi.org/10.1097/SHK.0000000000001078>.
- [25] Rimmelé T, Payen D, Cantaluppi V, Marshall J, Gomez H, Gomez A, et al. Immune cell phenotype and function in sepsis. *Shock (Augusta, Ga)* 2016;45. <https://doi.org/10.1097/SHK.0000000000000495>.
- [26] Mussbacher M, Salzman M, Brostjan C, Hoesel B, Schoergenhofer C, Datler H, et al. Cell type-specific roles of nf- κ b linking inflammation and thrombosis. *Frontiers in Immunology* 2019;10. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2019.00085>.
- [27] Salomao R, Brunialti MKC, Gomes NE, Mendes ME, Diaz RS, Komninakis S, et al. Toll-like receptor pathway signaling is differently regulated in neutrophils and peripheral mononuclear cells of patients with sepsis, severe sepsis, and septic shock*. *Critical Care Medicine* 2009;37. <https://doi.org/10.1097/CCM.0b013e318192fbaf>.

- [28] Weiss SL, Zhang D, Bush J, Graham K, Starr J, Murray J, et al. Mitochondrial dysfunction is associated with an immune paralysis phenotype in pediatric sepsis. *Shock* 2020;54. <https://doi.org/10.1097/SHK.0000000000001486>.
- [29] Netea MG, Joosten LAB, Latz E, Mills KHG, Natoli G, Stunnenberg HG, et al. Trained immunity: A program of innate immune memory in health and disease. *Science* 2016;352. <https://doi.org/10.1126/science.aaf1098>.
- [30] Cheng S-C, Scicluna BP, Arts RJW, Gresnigt MS, Lachmandas E, Giamarellos-Bourboulis EJ, et al. Broad defects in the energy metabolism of leukocytes underlie immunoparalysis in sepsis. *Nature Immunology* 2016;17. <https://doi.org/10.1038/ni.3398>.
- [31] Viola A, Munari F, Sánchez-Rodríguez R, Scolaro T, Castegna A. The Metabolic Signature of Macrophage Responses. *Frontiers in Immunology* 2019;10. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2019.01462>.
- [32] Salomao R, Brunialti MKC, Rapozo MM, Baggio-Zappia GL, Galanos C, Freudenberg M. Bacterial sensing, cell signaling, and modulation of the immune response during sepsis. *Shock* 2012;38. <https://doi.org/10.1097/SHK.0b013e318262c4b0>.
- [33] López-Collazo E, del Fresno C. Pathophysiology of endotoxin tolerance: mechanisms and clinical consequences. *Critical Care (London, England)* 2013;17. <https://doi.org/10.1186/cc13110>.
- [34] Delano MJ, Ward PA. The immune system's role in sepsis progression, resolution, and long-term outcome. *Immunological Reviews* 2016;274. <https://doi.org/10.1111/imr.12499>.
- [35] Stortz JA, Raymond SL, Mira JC, Moldawer LL, Mohr AM, Efron PA. Murine Models of Sepsis and Trauma: Can We Bridge the Gap? *ILAR Journal* 2017;58. <https://doi.org/10.1093/ilar/ilx007>.
- [36] Halbach JL, Wang AW, Hawisher D, Cauvi DM, Lizardo RE, Rosas J, et al. Why Antibiotic Treatment Is Not Enough for Sepsis Resolution: An evaluation in an experimental animal model. *Infection and Immunity* 2017;85. <https://doi.org/10.1128/IAI.00664-17>.

The power of health economics and outcomes research (HEOR) in making decisions that matter

El poder de la economía de salud e investigación de resultados en salud en la toma de decisiones que importan

Oscar Herrera Restrepo 

Acceso Abierto

*Correspondence:

oscar.x.herrera-restrepo@gsk.com
US Health Outcomes & Epidemiology, Glaxo Smith Kline (GSK), Crescent Drive, Philadelphia, PA, 19112, USA.

First draft submitted: 12-02-2021

Accepted for publication: 15-04-2021

Published online: 09-09-2021

Key words:

Burden of illness (BOI); epidemiology; healthcare decision-making; health economics; outcomes research.

Palabras clave:

Economía de la salud; epidemiología; investigación de resultados en salud; secuela de la enfermedad; toma de decisiones en salud.

Abstract

Deciding on approving and granting market access to new medical technologies such as pharmaceutical products, vaccines, or medical devices is a multifactorial research problem. Balancing out clinical performance, epidemiological implications, burden of disease, economic value, and patient preferences, among other factors, is in itself a challenging endeavor. However, this should be a mandatory requirement when making approval and market access decisions that might affect millions of people in a specific country setting. The aim of this reflection research article is twofold; first, it provides context on the important role that health economics and outcomes research (HEOR) plays in informing decision-making for market access and reimbursement of new medical technologies. Second, it outlines the power of HEOR studies in guiding discussions when assessing the value of new medical technologies. Overall, this article aims at highlighting key HEOR considerations for healthcare professionals, students, and institutions interested in building analytical capabilities around this exciting and uninterrupted growing field of knowledge.

Resumen

Decidir sobre la aprobación y acceso al mercado de nuevas tecnologías médicas, como por ejemplo: productos farmacéuticos, vacunas, o dispositivos médicos) es un problema de investigación multifactorial. Encontrar el balance entre desempeño clínico, implicaciones epidemiológicas, secuela de la enfermedad, valor económico, y preferencias de pacientes, entre otros factores, es en sí mismo un tema retador. Sin embargo, esto debería ser un requerimiento obligatorio para tomar decisiones que afectarían millones de personas en un país determinado. El objetivo de este artículo de reflexión es doble; primero, contextualiza el importante rol que la economía de la salud juega en informar la toma de decisiones en cuanto acceso al mercado y reembolso de nuevas tecnologías médicas. Segundo, resalta el poder de los estudios en economía de la salud con respecto a guiar discusiones sobre el valor añadido propuesto por nuevas tecnologías médicas. En general, este artículo proporciona consideraciones claves para profesionales de la salud, estudiantes e instituciones interesadas en consolidar capacidades analíticas alrededor del excitante y creciente campo de la economía de la salud.

Introduction

Recently, there has been a growing interest in health economics across the world, especially in developing countries. This highlights the importance of the healthcare sector in any economy. Indeed, political stability and economic growth go hand in hand with improved societal health and well-being. To achieve the latter, implementing decision making processes where equity on healthcare coverage and access are needed [1].

Latin America have a greater need to prioritize the use of scarce resources when compared with developed countries [2]. Increased awareness of the importance of health economics and outcomes research (HEOR), for evidence-based decision making, has been reported in the region. Several cases of country-specific economic evaluations for health policy decision making can be found in the literature [3].

The continuous growth of disease burden has created a sense of urgency around the economic appraisal of health interventions and/or new medical technologies. The main goal is then to prioritize health interventions and/or new medical technologies offering better value for money in a given setting [4]. Countries such as Australia, United States (US), Canada and the United Kingdom (UK) can be considered examples to follow regarding the implementation of evidence-based decision making in healthcare [4,5].

Within this context, the main objective of this article is to provide an overview of the important role that HEOR plays in informing decision-making for market access and reimbursement of new medical technologies. Moreover, this article highlights the power of HEOR studies in guiding discussions when assessing the value of new medical technologies. Finally, this reflection also outlines key HEOR considerations for healthcare professionals, students, and institutions interested in building analytical capabilities around this exciting and uninterrupted growing field of knowledge.

HEOR role in informing market access and reimbursement decision making

We all make decisions everyday: where to go, what to do, and when to do it are examples of decisions driven

by reasons, prompting actions, and hence, producing specific results. Decision making is fully engrained in human actions, and its analysis leads to understand *what decisions are based on, how they are made, who makes them, what evidence is used to support them, what (un)intended consequences those decisions have for decision makers and other individuals, and how uncertainty can affect choices and results?* Decision making analysis as a formalized approach to make optimal choices is not exclusive of healthcare settings; indeed, it is widely used in fields such as engineering, finances, public administration, information technologies, etc. However, the use of decision-making analysis in healthcare is key due to the direct impact that medical technologies have on millions of lives across the world.

How healthcare systems should allocate limited resources (i.e., financial, human, infrastructure) to maximize the value of health outcomes to patients, health plans, providers, and society? HEOR can provide answers to this question. Traditionally, clinical development research (i.e., clinical trials assessing efficacy and safety) has been the strongest source of evidence to make regulatory decisions for approval of new medical technologies. The recent COVID-19 vaccine clinical trials are examples of clinical development research being used to make decisions on vaccine approval, vaccination roll-out, and disease monitoring. Nevertheless, HEOR as a discipline driven by decision-making analysis provides an evidence-driven framework that complements clinical development research evidence. HEOR considers concerns on resource allocation when comparing the impact of a new medical technology versus the current standard of care. For instance, under a scenario where a new drug A shows a better efficacy than the current treatment B, but its probability of adverse events (which can lead to further complications) is higher than treatment B as well as its costs, *should drug A being granted market access and reimbursement by healthcare payers only based on clinical development data?* Definitely, a more robust approach to guide this decision would be to incorporate HEOR, leveraging a more holistic concept of comparability. HEOR-driven comparisons assess new medical technologies versus current treatments through a multi-factorial perspective. Not only clinical benefits are considered, but also aspects associated to quality-of-life (QoL) of patients,

resource allocation of providers/payers, and societal burden. Note that HEOR does not look at suggesting substitution of current medical technologies by new ones, but to objectively inform about the performance of both technologies from multiple dimensions (e.g., clinical, direct and indirect costs, QoL, etc.). Figure 1 shows examples of key HEOR modeling domains as well as concepts or inputs considered when assessing new medical technologies in oncology.

Surprisingly and despite of its value, HEOR is not widely incorporated into medical school curricula [7]. Colombia is not the exception to this trend.¹ HEOR commonly takes a place within economics and pharmacy educational curricula, providing an opportunity for interdisciplinary research and collaboration among healthcare professionals. In the US, HEOR has gained traction at the graduate education level (masters and doctoral degrees), nurturing a research-driven professional base that keeps growing in numbers, presence, relevance, and influence with respect to both regulatory public health policy and market access decision making. Examples of HEOR-driven organizations are the International Society for Pharmacoeconomics and Outcomes Research (ISPOR [8]) and the Institute for Clinical and Economic Review (ICER [9]).

Speaking about Colombia, Restrepo et al. [10] studied the evolution of HEOR in the country. This study points at a prolific nationwide growth in HEOR publications and professional events since the 1993 health reform. However, it also highlights challenges for the future development of HEOR in the country, namely: *i)*

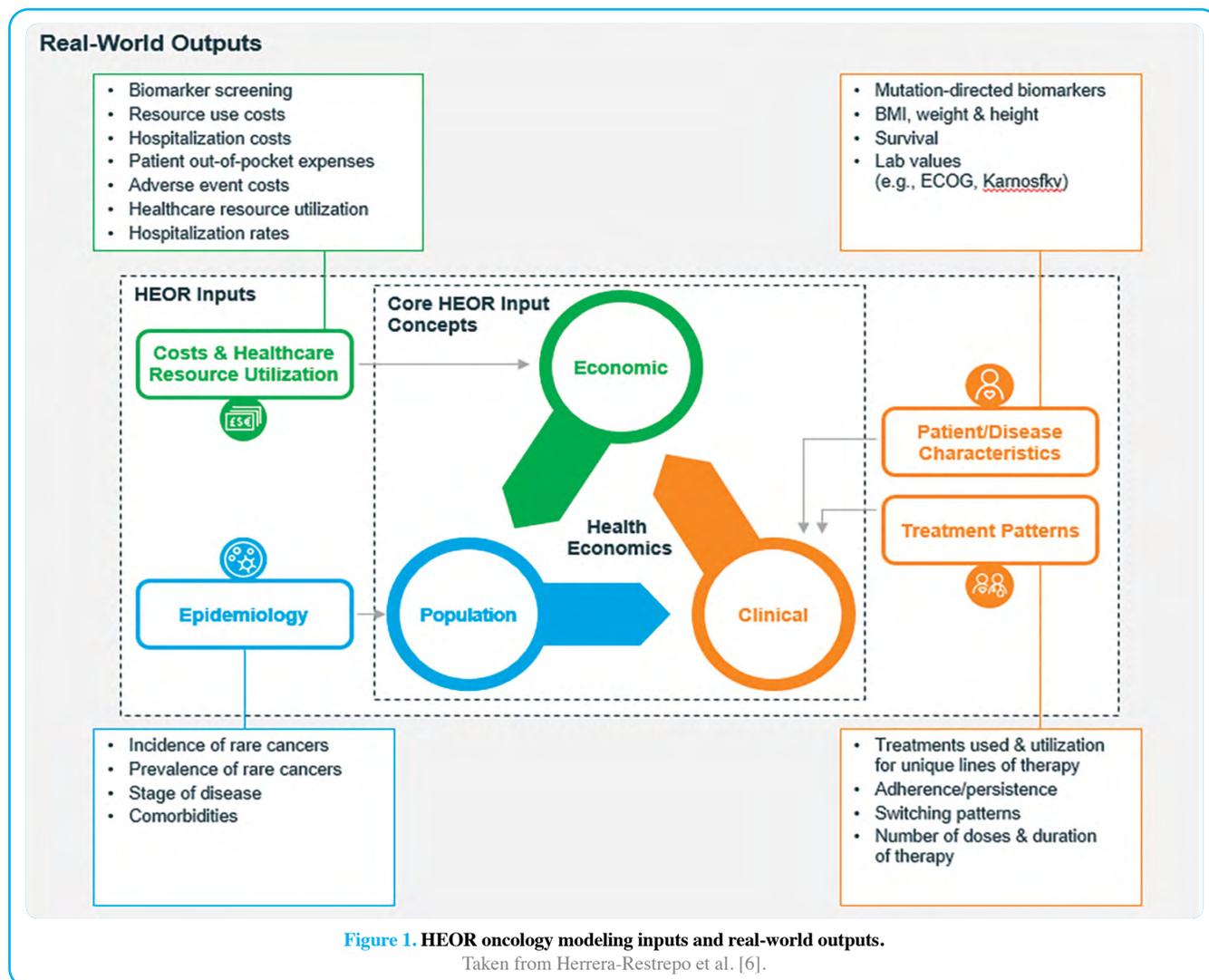
¹ HEOR training is mainly offered at the graduate level in selected Universities across the country; e.g., Universidad CES, Universidad Pontificia Bolivariana, Universidad de Antioquia, Universidad Nacional de Colombia, etc.

ii) promoting new research among undergraduate and graduate students, and academic research groups across the country; *iii)* consolidating HEOR topics in undergraduate and graduate curricula of medical and non-medical programs; *iv)* supporting joint academic ventures/research via events, projects, congresses and conferences and *v)* strengthening the role of the Asociación Colombiana de Economía de la Salud (ACOES, Colombian Association of Health Economics in English).

The latter, as ISPOR equivalent in Colombia, can certainly play a key role in shaping the future of HEOR in the country by leading and guiding HEOR activities, leveraging its deep knowledge of the country's needs, while collaborating with and following guidance from international peers such as ISPOR or advisory organizations as The National Institute for Health and Care Excellence (NICE [11]) in the UK.

HEOR studies guiding value-driven decision-making

Moving from the general HEOR context toward the technicalities of its application, let us touch base on the methodological aspects of HEOR. HEOR studies help in guiding relevant discussions among key healthcare stakeholders when assessing the value of new medical technologies. For the sake of simplicity, a selection of some of the most common HEOR studies are described below. For readers interested in getting a deeper understanding of each type of HEOR study along with others not included here, please refer to MacKinnon III [12] and check the references provided below.



Burden of illness (BOI) studies

Burden of illness or disease studies help in answering how much a disease costs and what its consequences are regarding deaths and loss of health for a country, region, municipality, or healthcare system. BOI studies are observational and non-technology specific in nature. Their importance resides in providing objective evidence to inform public health policy, budgetary prioritization for medical interventions, and alignment with national and international healthcare goals (e.g., global vaccination roll-out during a pandemic) [12]. BOI is heavily supported by disease-specific HEOR data collected by public and private sources. The collection, analysis and interpretation of different data sources allow to put together a story on the burden of

a disease, quantifying metrics as the number of years of life a person loses as a consequence of dying early because of the disease (Years of Life Lost [YLL]); and the number of years of life a person lives with disability caused by the disease (called Years of Life lived with Disability [YLD]) [13]. As mentioned by the World Health Organization (WHO [13]), “adding together the Years of Life Lost and Years of Life lived with Disability gives a single-figure estimate of disease burden, called the Disability Adjusted Life Year (or DALY). One DALY represents the loss of one year of life lived in full health.” Other important concept is quality-adjusted life-years (QALY), which combines both the quality and quantity of life lived. For more details on BOI studies, please refer to the *Practical Guide on National Burden of Disease Studies* by WHO [14].

Limitations of BOI studies include: *i*) lack of generalizability when available national-level data is incomplete or not reliable; *ii*) risk of bias regarding data source selection and analysis and *iii*) lack of national-level data on specific population or therapeutic area of interest, especially when relating to rare diseases.

Systematic literature review (SLR)

There can be many published studies regarding disease-specific medical technologies derived from clinical studies. These clinical studies can certainly relate to the same technology, but their design, patient population, and outcomes definitions can vary. One of the main challenges when assessing new medical technologies versus the current standard of care (including no intervention) lies on the difficulty of comparing and combining different studies to draw robust insights on clinical performance in a population of interest. The purpose of an SLR is to provide an objective overview and summary of primary studies on a medical technology used as an intervention in a population of interest suffering a disease. What makes a SLR an objective type of HEOR study is that it contains a statement of objectives and methods that ensure reproducibility, encouraging transparency and reducing bias [12].

SLR results have allowed understanding treatment effects magnitude when considering multiple studies, their similarities and differences. As an observational method, SLRs do not substitute experimental studies such as clinical trials, but provide the possibility of comparing available evidence while acknowledging heterogeneity and guiding decisions with scientific rigor. Common steps in the development of SLRs include: *i*) Definition of objectives and eligibility criteria of studies to be included in the review; *ii*) literature search according to eligibility criteria; *iii*) data extraction per outcomes and/or patient characteristics of interest; *iv*) analysis of results of eligible studies (use of statistical techniques for comparative purposes) and *v*) final report highlighting the fulfillment of objectives, methodological considerations and challenges, as well as study limitations [15].

Regarding limitations, risk of bias is common in relation to study selection, inclusion and exclusion criteria, and study review. Other technical limitations

can include incomplete number of relevant studies (either because of ill-defined search terms or incomplete databases) and incorrect or inconsistent statistical analysis techniques when comparing different types of outcomes (e.g., nominal or continuous outcomes). For more methodological details on SLRs, please refer to Cochrane Training [16].

Retrospective studies

Clinical evidence from randomized clinical trials (RCTs) is considered the gold standard when making regulatory decisions for new medical technologies market access. However, developing RCTs implies ethical considerations along with vast financial and human resources. Within this context, HEOR studies looking at clinical performance (e.g., effectiveness, adverse events) and/or healthcare-related resource use (HRCU – along with costs) can leverage existing data in the form of medical claims data, disease registries, and/or electronic medical records (EMR), among others [17].

Advantages of retrospective studies include: *i*) data availability, which nowadays is a growing field bringing together advanced techniques as machine learning [18]; *ii*) usefulness in detecting and characterizing patients with rare diseases who are difficult to recruit in RCTs; and *iii*) the possibility of exploring HEOR outcomes of interest for long follow-up periods, which is very costly in RCTs or other type of prospective studies.

Common steps in the development of retrospective studies include: *i*) definition of study type. Typical studies include cohort-based or case-control [10]; *ii*) definition of inclusion/exclusion eligibility criteria; *iii*) identification of interest variables; *iii*) definition of index dates (i.e., period of time of interest) along with time required for prior enrollment; *iv*) data analysis through consistent, relevant and reproducible statistical techniques (e.g., multivariate regression models) and *v*) interpretation of results based on the objective study and level of statistical difference regarding the outcomes of interest. For best practices related to retrospective studies, refer to Berger et al. [17,19]. The main limitation of retrospective studies is the fact that their insights do not determine causality as in the case of RCTs. Additionally, data quality issues during the phases of collection, archiving and processing

can lessen the quality of the results. As in the case of other HEOR studies, other limitations include selection bias regarding databases, patient population, and result interpretation, among others.

Cost-effectiveness analysis (CEA)

Clinical performance and healthcare resource use by themselves do not allow to quantify the incremental health and cost benefits generated by the adoption of a new medical technology in a specific patient population. Important concepts to quantify those benefits include setting (e.g., region, country); time horizon (e.g., 20 years or lifetime), and perspective (e.g., provider, healthcare sector, an/or societal perspective). Cost effectiveness analysis (CEA) allows comparison, via mathematical modeling, of the projected health benefits and costs of a new medical technology versus the current standard of care. The projection of health benefits follows rigorous statistical techniques to ensure that treatment effects, fed from RCTs, are accurately extrapolated over time. The projection of costs considers the natural history of the disease, where multiple disease-related complications and comorbidities might arise, and hence, the accrual of direct and indirect costs over time is required. Direct costs relate to disease and comorbidity management, while indirect costs can include productivity loss and caregiving costs. The final goal of a CEA is to report an incremental metric combining costs and health benefits called incremental cost-effectiveness ratio [9].

When using QoL as a surrogate for measuring health benefits, the ICER can be interpreted as the additional amount of costs assumed (\$) for each additional quality-adjusted life year (QALY). Regulatory agencies around the world use ICER thresholds for discussing on the approval of new medical technologies [20].

The rationale for establishing thresholds for cost-effectiveness is driven by the fact that financial resources for healthcare systems are limited, and therefore, decisions on approval must balance out both value regarding health benefits and economic burden for the overall system (i.e., costs). Examples of cost-effectiveness analysis developed in the Colombian setting are presented in Londoño et al. 2019 [21] and Aponte et al. [22]. For well-known international best modeling practices for cost-effectiveness analysis, refer to ISPOR [23,24].

Budget impact analysis (BIA) is another type HEOR study focusing on the budgetary (or fiscal year) implications that adopting a new medical technology have for a health plan offered by insurers. For the sake of simplicity, BIA is not included in this article. For readers interested in this type of HEOR study, some publications in the Colombian setting relate to the work carried out by Gomez et al. [25] and Guevara et al. [26], while international best modeling practices for BIA are reported in Sullivan et al. [27].

Bringing together multiple perspectives: the power of HEOR

HEOR studies are far from being the solution to all healthcare problems or the perfect tools for market access and reimbursement decisions on new medical technologies. Though, they have shown multiple strengths in bringing together fundamental concepts from key healthcare fields as medicine and pharmacy along with humanistic ones as economics, and numerical-driven fields as engineering and computational science. Those strengths have allowed to assess medical technologies defining *value to patients* as a multidimensional construct, where not only clinical performance is important, but also patient preferences, resource allocation, and long-term humanistic and economic burden matter. These are certainly exciting times to keep diving into the importance and application of HEOR to country settings such as Colombia; more so when considering its recent entry to the Organization for Economic Cooperation and Development (OECD) [28]. Joining this club of industrialized economies brings many opportunities to promote and enhance biopharma research, access to new medical technologies, and transferring cutting-edge knowledge in areas such as oncology, vaccinology, and rare diseases, among others. The call to action is then for relevant decision-makers to fine tune their HEOR skills looking at improving the country's health and well-being.

To round up the two-fold intention of this article, it is important to highlight key HEOR considerations for healthcare professionals, students, and healthcare-related institutions interested in building HEOR capabilities. Note that these considerations are not by any mean comprehensive, but they provide a good departure point for those interested in HEOR.

Learn and share. HEOR is a multidisciplinary domain, and hence, sharing perspectives, knowledge, practices and anecdotes with professionals outside your professional, research or study field enriches the conversation. Indeed, this multidisciplinary exercise strengthens the results of any HEOR analysis. Keep in mind that economists, statisticians, engineers (disease modelers), and epidemiologists are some professionals to keep in mind.

Learn by design. Although there are many ways to learn HEOR methods/techniques, as for example, tutorials, trainings or workshops at conferences (e.g., ISPOR, including its Latin American edition [29]). the reality is that HEOR should be included as a core (or elective) course or series of courses into the undergraduate and graduate curricula of medical, pharmacy, economy and statistical programs. Engineering curricula should also include elective courses on healthcare-specific modeling and simulation techniques, especially in the case of industrial engineering, systems engineering, and bioengineering programs.

Look, find and connect. Epidemiological surveillance will certainly help in understanding the following aspects: *i*) country-specific disease priorities and their implications for resource allocation, e.g., Centers for Disease Control and Prevention (CDC) in the US [30] or the Instituto Nacional de Salud en Colombia [31]; *ii*) monitoring the availability of formal and continuing HEOR education programs can help in providing options to those interested in fine tuning HEOR skills for health technology assessment, and market access and reimbursement decision-making and *iii*) finding and connecting with local and international HEOR organizations can provide a better understanding of current HEOR capabilities, best practices, and opportunities for networking and research collaboration (e.g., Asociación Colombiana de Economía de la Salud (ACOES) [32]; Instituto de Evaluación Tecnológica en Salud (IETS) [33] and Grupo de Economía de la Salud (GES) of the Universidad de Antioquia [34]. Do not forget to monitor research and development pipelines of pharmaceutical companies since they provide valuable information on what is coming, and what is important about different therapeutic areas.

Identify, follow, and reach out. HEOR studies must be reflective of current needs and grounded on discussions involving key decisions makers, e.g., government,

pharmaceutical companies, healthcare providers, insurers, etc. Consequently, keeping up to date on public announcements, meetings and documents from regulatory bodies (e.g., CDC in the US, INS and IETS in Colombia, or any other country-specific institution) is critical to make HEOR studies reflective of real-world needs, to gather concerns and recommendations from key stakeholders, and to provide feasible guidance to decision making.

As pointed by MacKinnon III [12], “*the challenge for the 21st century will be to find ways to bring innovative, effective therapies to patients faster, without sacrificing quality and safety, to improve health outcomes, and at the same time lower health care costs*” [12]. To overcome this ambitious challenge, universities and colleges have a key role to play. Therefore, this reflection article leaves an open invite to institutions as the Unidad Central del Valle del Cauca (UCEVA) [35] to pioneer education in HEOR while fostering relationships with Colombian government agencies and local/international medical and HEOR organizations.

Consent for publication

The author read and approved the final manuscript.

Competing interests

Author declares have no competing interests. This document only reflects the points of view of the author and not those of GlaxoSmithKline (GSK)

Author details

Oscar Herrera Restrepo

Received his PhD degree in Industrial and Systems Engineering from Virginia Tech, USA. Currently, he is a Director and US Health Outcomes Scientist at Glaxo Smith Kline (GSK). Crescent Drive, Philadelphia, PA, 19112, USA. His current research interests include healthcare decision-making; health economics modeling and outcomes research; and real-world evidence studies on healthcare with emphasis on vaccines.



References

- [1] Collazo Herrera M, Cárdenas Rodríguez J, González López R, Abreu RM, María Gálvez González A, Casulo JC. Temas de actualidad / Current topics La economía de la salud: ¿debe ser de interés para el campo sanitario? 1. vol. 12. 2002. <https://www.scielosp.org/pdf/rpsp/2002.v12n5/359-365/es>
- [2] Santos J, Palumbo F, Molsen-David E, Willke RJ, Binder L, Drummond M, et al. ISPOR Code of Ethics 2017 (4th Edition). *Value in Health* 2017;20. <https://doi.org/10.1016/j.jval.2017.10.018>.
- [3] Hughes VS, Ferreira De Azeredo-Da-Silva AL, Hincapie AL. Health Economics and Outcomes Research (HEOR) Knowledge Needs Assessment for Latin America. *Value in Health Regional Issues* 2019;20. <https://doi.org/10.1016/j.vhri.2018.10.006>.
- [4] Zarate Víctor. Evaluaciones económicas en salud: Conceptos básicos y clasificación. *Rev Med Chile* 2010;138:93–7. <http://dx.doi.org/10.4067/S0034-98872010001000007>
- [5] National Association of Pharmacy Regulatory Authorities (NAPRA). Health Canada Document: Recommended Guidance for Community Pharmacists. Ottawa, Ontario: 2019. <https://napra.ca/general-practice-resources/health-canada-document-recommended-guidance-community-pharmacists>
- [6] Herrera-Restrepo O, Ruthwik Anupindi V, Wehler E, Kowal S. US Healthcare Databases for Health Economic Modeling in Precision Medicine: An Oncology-Based Comparative Landscape Assessment (CLA). . Copenhagen, Denmark: 2019.
- [7] Beecroft C. Why health economics deserves a place in the medical curriculum Editorial 2016. <https://doi.org/10.2217/cer-2016-0028>.
- [8] International Society for Pharmacoeconomics and Outcomes Research (ISPOR). The leading professional society for health economics and outcomes research (HEOR) globally. The Society's mission is to promote HEOR excellence to improve decision making for health globally 2021. <https://www.ispor.org/>
- [9] Institute for Clinical and Economic Review (ICER). Fair Pricing, Fair Access, Future Innovation 2021. <https://icer.org/>
- [10] Restrepo Zea JH, Ramírez Gómez L. Dos décadas de economía de la salud en Colombia. *Cuadernos de Economía* 2020;39. <https://doi.org/10.15446/cuad.econ.v39n79.73067>.
- [11] National Institute for Health and Care Excellence (NICE). Guidance and advice list 2021. <https://www.nice.org.uk/guidance/published?type=apg,csg,cg,cov,mpg,ph,sg,sc,dg,hst,ipg,mtg,qs,ta>
- [12] Alkhateeb FM, Osias K, MacKinnon III, G. Understanding Health Outcomes and Pharmacoeconomics. Burlington, MA. Jones & Bartlett Learning 2011. *American Journal of Pharmaceutical Education* 2012;76. <https://doi.org/10.5688/ajpe76235>.
- [13] World Health Organization (WHO). Burden of disease: what is it and why is it important for safer food? . 2004. https://www.who.int/foodsafety/foodborne_disease/Q%26A.pdf
- [14] World Health Organization (WHO). National burden of disease studies: a practical guide. Geneva: 2001. <https://www.who.int/healthinfo/nationalburdenofdiseasemanual.pdf>
- [15] University of Maryland. Steps to conducting a systematic review. University Libraries 2021. <https://lib.guides.umd.edu/SR/steps>
- [16] Higgins JPTT, Chandler J, Cumpston M, Li T, Page M. *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions*. 2nd edition. Cochrane Training 2021. <https://training.cochrane.org/handbook>
- [17] Berger ML, Mamdani M, Atkins D, Johnson ML. Good Research Practices for Comparative Effectiveness Research: Defining, Reporting and

- Interpreting Nonrandomized Studies of Treatment Effects Using Secondary Data Sources: The ISPOR Good Research Practices for Retrospective Database Analysis Task Force Report—Part I. *Value in Health* 2009;12. <https://doi.org/10.1111/j.1524-4733.2009.00600.x>.
- [18] Corey KM, Kashyap S, Lorenzi E, Lagoodeenadayalan SA, Heller K, Whalen K, et al. Development and validation of machine learning models to identify high-risk surgical patients using automatically curated electronic health record data (Pythia): A retrospective, single-site study. *PLOS Medicine* 2018;15. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1002701>.
- [19] Berger ML, Sox H, Willke RJ, Brixner DL, Eichler H-G, Goettsch W, et al. Good practices for real-world data studies of treatment and/or comparative effectiveness: Recommendations from the joint ISPOR-ISPE Special Task Force on real-world evidence in health care decision making. *Pharmacoepidemiology and Drug Safety* 2017;26. <https://doi.org/10.1002/pds.4297>.
- [20] Schwarzer R, Rochau U, Saverno K, Jahn B, Bornschein B, Muehlberger N, et al. Systematic overview of cost-effectiveness thresholds in ten countries across four continents. *Journal of Comparative Effectiveness Research* 2015;4. <https://doi.org/10.2217/cer.15.38>.
- [21] Londoño Trujillo D, Sandoval Reyes NF, Taborda Restrepo A, Chamorro Velasquez CL, Dominguez Torres MT, Romero Ducuara SV, et al. Cost-effectiveness analysis of newborn pulse oximetry screening to detect critical congenital heart disease in Colombia. *Cost Effectiveness and Resource Allocation* 2019;17. <https://doi.org/10.1186/s12962-019-0179-2>.
- [22] Aponte-González J, Fajardo-Bernal L, Diaz J, Eslava-Schmalbach J, Gamboa O, Hay JW. Cost-Effectiveness Analysis of the Bivalent and Quadrivalent Human Papillomavirus Vaccines from a Societal Perspective in Colombia. *PLoS ONE* 2013;8. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0080639>.
- [23] Husereau D, Drummond M, Petrou S, Carswell C, Moher D, Greenberg D, et al. Consolidated Health Economic Evaluation Reporting Standards (CHEERS)—Explanation and Elaboration: A Report of the ISPOR Health Economic Evaluation Publication Guidelines Good Reporting Practices Task Force. *Value in Health* 2013;16. <https://doi.org/10.1016/j.jval.2013.02.002>.
- [24] Caro JJ, Briggs AH, Siebert U, Kuntz KM. Modeling Good Research Practices—Overview. *Medical Decision Making* 2012;32. <https://doi.org/10.1177/0272989X12454577>.
- [25] Gomez J, Moreno LE, Constenla D, Caceres D, Rodriguez E. Budget impact analysis of pneumococcal conjugate vaccines in Colombia. *Expert Review of Pharmacoeconomics & Outcomes Research* 2021;21. <https://doi.org/10.1080/14737167.2021.1855978>.
- [26] Guevara-Cuellar CA, Soto VE, Molina-Echeverry MI. Budget impact analysis of the adoption of new hypertension guidelines in Colombia. *Cost Effectiveness and Resource Allocation* 2018;16. <https://doi.org/10.1186/s12962-018-0152-5>.
- [27] Sullivan SD, Mauskopf JA, Augustovski F, Jaime Caro J, Lee KM, Minchin M, et al. Budget Impact Analysis—Principles of Good Practice: Report of the ISPOR 2012 Budget Impact Analysis Good Practice II Task Force. *Value in Health* 2014;17. <https://doi.org/10.1016/j.jval.2013.08.2291>.
- [28] Organization for Economic Cooperation and Development (OECD). The OECD and Colombia: A mutually beneficial relationship 2021. <https://www.oecd.org/latin-america/countries/colombia/>
- [29] International Society for Pharmacoeconomics and Outcomes Research (ISPOR). Latin America Consortium. The Professional Society for Health Economics and Outcomes Research 2021. <https://www.ispor.org/member-groups/global-groups/consortia/latin-america-consortium>
- [30] Centers for Disease Control and Prevention (CDC). Division of Health Informatics and Surveillance 2021. <https://www.cdc.gov/>

- [31] Instituto Nacional de Salud (INS). Epidemiología aplicada 2021. <https://www.ins.gov.co/Direcciones/Vigilancia/Paginas/Epidemiolog%C3%ADa-aplicada.aspx>
- [32] Asociación Colombiana de Economía de la Salud (ACOES). Boletines ACOES. Universidad de Antioquia Facultad de Ciencias Económicas 2021. <https://www.acoes.org.co/boletines>
- [33] Instituto de Evaluación Tecnológica en Salud (IETS). Evaluación de efectividad y seguridad 2021. <https://www.iets.org.co/Busqueda/FrmResumen.aspx?valor=Efectividad%20y%20seguridad>
- [34] Universidad de Antioquia. Grupo Economía de la Salud (GES). Acerca del grupo 2021. <https://www.udea.edu.co/wps/portal/udea/web/generales/interna/>
- [35] Unidad Central del Valle del Cauca (UCEVA). Facultad de Ciencias de la Salud 2021. <https://www.uceva.edu.co/facultad-de-ciencias-de-la-salud/>

El impacto sobre la salud colectiva de las conductas censurables en la investigación sanitaria

The impact on collective health of unacceptable behaviors in health research

Luis Carlos Silva Ayçaguer 

Acceso Abierto

***Correspondencia:**
lcsilvaa@yahoo.com
Escuela Nacional de Salud Pública.
Universidad de Ciencias Médicas de
La Habana, Cuba.

Sometido: 14-03-2021
Aceptado para publicación:
15-05-2021
Publicado online: 09-09-2021

Palabras clave:

Big farma;
conflicto de interés;
COVID-19;
epidemia;
investigación en salud.

Key words:

Big pharma;
competing interest;
COVID-19;
epidemic;
health research.

Resumen

Se desarrollan argumentos que fundamentan los peligros para la salud colectiva que se derivan de la manipulación que padece una parte de la investigación sanitaria contemporánea. Se exponen y discuten cuatro ejemplos que recorren diferentes tipos de problemas de salud y que ilustran la magnitud del problema. Las epidemias de enfermedad renal crónica en Centroamérica, de muertes por consumo de opiáceos en Estados Unidos, de obesidad en casi todo el mundo y el empleo de la hidroxycloroquina para encarar la pandemia de COVID-19 conforman los ejemplos seleccionados por su alto nivel de actualidad.

Abstract

Arguments are developed that support the damage to collective health derived from the manipulation suffered by a part of contemporary health research. Four examples concerning different types of health problems are exposed and discussed. They properly illustrate the magnitude of the problem. Considering the high level of actuality, they have the examples selected, which are linked with the epidemics of chronic kidney disease in Central America, of deaths from opiate use in the United States, of obesity in almost the entire world and the use of hydroxychloroquine to face the present COVID-19 pandemic.

Introducción

El mundo actualmente atraviesa diversas problemáticas relacionadas con la salud colectiva y la pandemia causada por Covid-19. Recientemente, las discusiones surgidas a partir de aquí, se han dirigido al entendimiento de la salud colectiva como una representación social de los derechos humanos. Es decir, se pensará en el paciente no sólo como un ser biológico, sino como el objetivo último de la ciencia, situado por encima de cualquier razón instrumental pragmática. En el contexto de gran desigualdad social, como lo que se observa en muchos países de Latinoamérica, el cumplimiento de los principios éticos es particularmente desafiante, tanto en la investigación como en la práctica de la Epidemiología [1].

Si bien la base de la salud colectiva es la realidad social, uno de los principales desafíos es el entender que el objeto de conocimiento y transformación, se definen finalmente en medio de adversidades, posibilidades y construcción de utopías para avanzar en el propósito de promover y defender la vida [2].

La práctica epidemiológica está estrechamente relacionada con la salud colectiva, lo cual se refleja en la superposición de sus principios éticos [1]. Estas prácticas involucran investigación académica y se realizan en respuesta a demandas de servicios para la vigilancia epidemiológica, en procesos de auditoría o en investigaciones realizadas por requerimiento legal para investigar un caso en particular que ha representado un conflicto de interés [3]. En estos últimos casos, se emplearán indudablemente, los resultados como evidencia; en la vigilancia epidemiológica, particularmente, los dilemas éticos, son los que circunscriben situaciones en las que los conflictos de intereses surgen entre los derechos individuales y el interés público [4,5].

Desde su brote a principios de 2020, la nueva neumonía por coronavirus COVID-19 [6], ha infectado a un total estimado de 172 millones de personas en prácticamente todos los países del mundo con más de 3.5 millones de muertes relacionadas registradas en todo el mundo [7]. El predecir la propagación y pronosticar la gravedad de la pandemia COVID-19, se ha convertido en el enfoque de muchos equipos de investigación en todo el mundo [8]. En medio de la urgencia por resolver innumerables y severos problemas de salud, preguntar qué es la salud o quién puede y debe tenerla puede parecer una pérdida

de tiempo; sin embargo, algunas respuestas pueden revelar prácticas imperantes que desvían la atención de los problemas fundamentales, manteniendo privilegios y profundizando las inequidades en salud [9].

Aunque el pronosticar la propagación regional de la gravedad de la COVID-19 de un país y su mortalidad asociada, es fundamental para implementar cambios operativos en la atención médica y medidas de control epidemiológico, esto fue casi imposible de lograr dada la falta de datos fácilmente disponibles al comienzo de la emergente SARS-CoV-2. La determinación social es un concepto clave en el movimiento de la salud colectiva (latinoamericano), subyace a perfil determinado. Sin embargo, la salud colectiva es una de las periferias que presenta necesidades únicas en cuanto a la participación, investigación y políticas inclusivas para la promoción descolonial de estilos de vida saludables [10].

La presente reflexión aborda otros contextos de pandemia dada su alto nivel de complejidad y actualidad a la luz de la salud colectiva en cuanto a las epidemias de enfermedad renal crónica en Centroamérica, de muertes por consumo de opiáceos en Estados Unidos, de obesidad en casi todo el mundo y el empleo de la hidroxiquina para encarar la pandemia de la COVID-19.

Los conflictos de interés

Considerando un escenario en el que un ciudadano que trabaje en una empresa de transgénicos; debido a que este empleo es su sustento y el de su familia, se hace obvio que dependen del éxito de la empresa. El individuo tiene un interés natural, incluso instintivo, en que la compañía esté sólidamente instalada en el mercado y consiga altos niveles de prosperidad. Pero este mismo ciudadano es un ferviente integrante de una ONG cuyo objetivo es defender la ecología y la alimentación, basada en productos naturales. Desde ese compromiso, posee interés en que las compañías que comercializan alimentos genéticamente modificados sean denunciadas y, si fuera posible, que quiebren, de manera que cese su producción; eso abarca, ineludiblemente la empresa en que trabaja. Obviamente, este ciudadano está en un conflicto: intereses contrapuestos anidan en él.

No se pretende ofrecer soluciones para esta encrucijada moral. Simplemente, se subraya qué conflictos como

el esbozado, pueden surgir de manera natural y no necesariamente entrañan una actitud; ocasionalmente son dilemas en los que alguien puede verse envuelto sin que pueda optar entre tenerlos o no [11]. Los conflictos de interés (CDI), se producen cuando las facultades de una persona para con-formar un juicio o tomar una decisión, incluso cuando tuviera las mejores intenciones, deliberada o involuntariamente, directamente o no, pudieran verse menoscabadas debido al efecto potencial de tales acciones sobre sus intereses personales o el de las instituciones con las que se relaciona.

Conflictos en el marco de la investigación

En el campo investigativo, los CDI pueden aparecer tanto en el dominio de las ciencias básicas, como en el de la clínica o de la epidemiología, y pueden vincularse las muy diversas áreas involucradas en ese proceso. A diferencia del ejemplo arriba expuesto, en la esfera investigativa lo que ocurre con mucha frecuencia es que el conflicto se produce entre el deber de ser íntegro y el afán de enriquecerse. No se trata del enfrentamiento entre dos intereses moralmente comprensibles. El sacrificio de la ética en el altar del mercado puede llegar, incluso, a ser simplemente criminal.

Trátase de alimentos, de medicamentos, de vacunas, de pesticidas, o de la industria azucarera; la lógica del mercado es la misma. Para alcanzar resultados favorables, llegado el caso, los mercaderes, sabedores de que sus embustes son más efectivos si cuentan con investigaciones que los respalden, no dudan en apelar a recursos censurables que recorren una amplia gama de manipulaciones. El cúmulo de evidencias que lo demuestran, es abrumador [12].

Cuatro ejemplos actuales especialmente elocuentes

Las ilustraciones posibles sobre las manifestaciones del problema expuesto son de diversa índole y muy numerosas; a continuación, se expondrán algunos ejemplos de máxima actualidad. Cada uno de ellos pudiera merecer un examen detallado y un nutrido conjunto de argumentos y referencias adicionales; pero a los efectos de proporcionar un panorama global, bastará con trazar

en cada caso una pincelada básica del problema sanitario en juego y compartir una parte mínima de los elementos que revelan cómo las conductas inmorales generan graves problemas para la salud colectiva.

La epidemia de enfermedad renal crónica (ERC)

Desde finales del siglo XX, se viene constatando la trágica irrupción de una dolencia que ha alcanzado proporciones epidémicas y que se ensaña en hombres jóvenes de comunidades agrícolas de Nicaragua y El Salvador, la ERC [13]. Para por lo menos un tercio de las decenas de miles de afectados por ERC, puede descartarse que las causas sean las que típicamente determinan el daño renal crónico: hipertensión y diabetes [14]. Esta modalidad epidémica ha sido bautizada de varios modos, especialmente como Enfermedad Renal Crónica de Causas no Tradicionales (ERCnT) [15].

Obviamente, para revertir una epidemia, es crucial conocer sus causas. Cuando se trata dolencias crónicas, suelen aflorar diversas hipótesis para explicarla. Los CDI se presentan con fuerza en este punto, ya que las conjeturas posibles suelen apuntar a respectivos responsables, y esta responsabilidad, si bien puede asociarse a elementos socialmente neutros o no controlables (por ejemplo, de tipo climático), puede afectar intereses corporativos.

Dos posibles explicaciones para el comportamiento epidémico de la ERCnT; han acaparado desde hace años, la mayor atención por ser las más verosímiles, el estrés por calor, la deshidratación y la exposición sostenida a diversos agroquímicos [16]. La presente reflexión no pretende pronunciarse al respecto; pero permite ver el desconcierto respecto al desconocimiento de normatividad específica que mencione la hipótesis que atribuya responsabilidad a los agroquímicos y a la vez, omita toda alusión al posible aporte del calor y la hidratación inadecuada; en cambio, no son pocos los que se circunscriben a mencionar solo la segunda conjetura [17–19].

La explicación para tamaña asimetría es simple: mientras el calor ambiental no es atribuible a empresa alguna y la deficiente hidratación puede responder a la imprudencia de las víctimas, el bien documentado empleo intensivo

de agrotóxicos en la región es responsabilidad directa de las compañías. A diferencia de lo que ocurre con los agroquímicos, que se trabaje en condiciones de calor extremo no incrimina especialmente a las empresas, pues obtener el máximo rédito está en el ADN del mercado y no es algo que se considere intrínsecamente inmoral.

Por otra parte, los fabricantes y usuarios de agroquímicos tienen antecedentes de acciones similares a los de las tabacaleras, de la industria alimentaria y de los laboratorios farmacéuticos. En un informe presentado ante el Consejo de Derechos Humanos de Naciones Unidas se declara que *“los pesticidas constituyen una amenaza global contra los Derechos Humanos; han sido responsables de la muerte de 200000 personas cada año”*, [20] y se acusa con crudeza a las grandes multinacionales del sector por negar sistemáticamente los daños derivados de los agroquímicos, empleando tácticas de marketing poco éticas. La investigación orientada ahuyentar toda suspicacia y exonerar de responsabilidad a la industria azucarera, ha sido pormenorizadamente estudiada y denunciada [21].

El Comité Nacional de Productores de Azúcar de Nicaragua, por ejemplo, ha entregado cien-tos de miles de dólares para la investigación de la ERC. Pero solo se benefician los grupos de investigación que defienden la hipótesis del estrés térmico. El administrador general de este órgano empresarial se declara completamente convencido de que no existe relación directa entre la ERC y las actividades conducidas por la industria azucarera y, sin el menor pudor, agrega que el apoyo financiero que otorgan a los estudios es una consecuencia de dicha convicción [22]. Cabe apuntar que las subvenciones no se entregaron a raíz de un proceso abierto de licitación, sino que los beneficiados, responsables de varias de las investigaciones que explican la epidemia con el argumento del calor y la escasa hidratación, las obtuvieron mediante su propia iniciativa ante los administradores del dinero proveído por la industria [23].

En definitiva, la realidad de hoy es que la epidemia no ha cedido en absoluto y que se mantiene sin modificaciones el empleo de agrotóxicos. Incluso, en el país más castigado, El Salvador, el bloqueo a una iniciativa de 2013 para regular su empleo, fue paralizada *sine die* a raíz de la presión ejercida por la industria.

La epidemia de muertes por consumo de opioides

Una devastadora crisis sanitaria relacionada con el consumo de narcóticos opiáceos se ha instalado en la sociedad norteamericana desde hace más de dos décadas. Las acciones directas de las empresas que los comercializan, nítidamente determinadas por la defensa de sus intereses financieros, no solo lesionan el manejo de la emergencia sanitaria, sino que la han generado. Por tratarse de una epidemia de muertes y por su magnitud, se considera la más grave de la historia de EEUU en relación con las drogas.

Anualmente, se producen alrededor de 70000 muertos por sobredosis, más víctimas que las atribuidas al VIH-SIDA en su peor año (43000 fallecidos en 1995) y que las debidas a accidentes automovilísticos en el año récord (55000 en 1972) [24]. La situación es tan dramática que se presencia un hecho único en el mundo, la esperanza de vida de los norteamericanos se redujo por segundo año consecutivo en 2016, y por primera vez en 100 años, como consecuencia de las muertes precoces debidas a sobredosis [25].

Entre los opioides más empleados con fines analgésicos o directamente como droga se halla la oxicodona (OxyContin®, cuyo fabricante es Purdue Pharma, responsable directo de la muerte de 200 mil norteamericanos). La causa de las muertes es la sobredosis, pero la causa de la epidemia nos remite a los diversos actores sociales que interactuaron en una despiadada articulación lucrativa. Resulta difícil hallar un ejemplo más escandaloso sobre el grado en que un entramado de intereses se configura para generar una catástrofe de ese calibre. La máxima responsabilidad corresponde a las empresas que, gracias a la producción y comercialización de opioides, han amasado verdaderas fortunas. Aunque todas han actuado de manera similarmente inescrupulosa, la más siniestra ha sido Purdue. Sus dueños, la familia Sackler, es en la actualidad la decimosexta más rica de los Estados Unidos [26], en gran medida gracias a las ventas indiscriminadas de OxyContin®, que le han reportado ganancias ascendentes a nada menos que 35 mil millones de dólares [26].

Fría y calculadamente, las empresas inundaron el mercado con opioides y desarrollaron una agresiva campaña promocional que superó todo precedente

de indecencia en esta materia. Entre 1996 y 2002, Purdue duplicó su equipo de ventas. Respalados científicamente por voceros contratados por la propia empresa desde 1989, sus representantes manejaban el concepto de pseudo-adicción y desacreditaban cualquier recelo, que atribuían a lo que bautizaron como opiofobia, repitiendo como un mantra que menos del 1% de los pacientes se convierten en adictos. A esa mentira, adicionaban la recomendación de elevar las dosis y prolongar los lapsos de uso, y culpaban a las víctimas cuando se convertían en adictos [27].

Todo acto de corrupción necesita corruptibles, de modo que otros notables actores se articularon en la madeja criminal para avalar, ocultar o secundar los desmanes empresariales. Entre ellos, puede citarse a la Food and Drug Administration (FDA), muchos de cuyos expertos fueron directamente sobornados [28,29] y a la Agencia Antidroga de Estados Unidos (DEA), que desoyó reiteradas advertencias y obstaculizó de modo sistemático la justicia [30].

¿Cuál ha sido el impacto sobre la salud colectiva de este CDI resuelto a favor del afán de lucro frente a la responsabilidad e integridad de los actores ante la sociedad? La respuesta es que la crisis, lejos de detenerse, se ha agudizado. En los 12 meses previos a junio de 2020 se produjeron alrededor de 81000 muertes por sobredosis, el mayor número registrado en un período de 12 meses (10 muertos por hora), algo especialmente relevante debido a que revela una agudización del problema en el marco de la pandemia de coronavirus [31].

La epidemia de muertes por consumo de opioides

La epidemia de obesidad y el papel de la industria alimentaria es frondoso y también está profusamente documentado. La industria azucarera, en particular, tiene su propia historia de fechorías. Revelaciones recientes, han dado cuenta de escandalosas maniobras a cargo del llamado *Big Sugar* [32], con claras implicaciones causales sobre la expansión de la obesidad.

Las causas de la epidemia de obesidad que padecen muchos países no han sido establecidas desde el campo de la nutrición, sino que tienen profunda implicación social. Epidemiólogos y sociólogos han identificado

que dicha epidemia se deriva (entre otros factores, el sedentarismo) del cambio dietético científicamente diseñado y publicitado para conseguir un aumento global de la ingesta de alimentos con abundantes grasas y azúcares [33].

Uno de los ejemplos más expresivos lo ofrece un artículo publicado en JAMA Medicina Interna por Kearns et al. [34], donde se descubrió que, entre los años 1950 y 1960, una asociación de comercio de azúcar, digitó expresamente la investigación para exonerar al azúcar como un factor de riesgo importante para la enfermedad coronaria. Para conseguirlo, pagó el equivalente de más de 48000 en dólares de hoy a tres profesores de nutrición de la Universidad de Harvard a cambio de que elaboraran y publicaran una revisión que refutara la evidencia que vinculaba los azúcares a la enfermedad coronaria [35].

En 2015, el *Tampa Bay Times*, obtuvo mensajes de correo electrónico que revelaban las relaciones subrepticias de Coca-Cola con investigadores patrocinados que realizaban estudios destinados a minimizar los efectos de las bebidas azucaradas en la obesidad [36]. Más recientemente, *Associated Press*, obtuvo mensajes electrónicos que muestran cómo la industria alimentaria financió e influyó en los estudios para demostrar que los niños con-sumidores de golosinas tienen un peso corporal más favorable que aquellos que no lo hacen.

En noviembre de 2016, *Annals of Internal Medicine* publicó una investigación llevada a cabo por Schillinger et al. [37], sobre la manipulación de la controversia científica a cargo de la industria alimentaria. Se analizaron 60 estudios publicados entre 2001 y 2016. En ninguno de los 26 financiados por la industria se comunicó la existencia de vínculos entre el consumo de azúcar y la obesidad o diabetes; de los otros 34, financiados por otras fuentes, solo uno no halló asociación entre consumo y enfermedad.

En síntesis, estas conductas inmorales que producen estudios manipulados tienen graves implicaciones para la salud pública [38]. Por ejemplo, entre 1999 y 2018, la prevalencia de obesidad se incrementó en un 12% a partir de un inquietante 30.5%, se pasó a un muy alarmante 42.4% de norteamericanos obesos, en tanto que la forma severa de la dolencia se duplicó [39].

Los medicamentos para enfrentar la COVID-19

No son pocos los recelos que ha venido despertando la gestión con que se enfrenta la actual pandemia de COVID 19. Ellos han emergido tanto en materia de políticas sociales, de vacunación y de otras medidas preventivas, como en el marco de los recursos terapéuticos que se han sugerido. Para ilustrarlo nos concentraremos en esta última esfera. Y más específicamente, en uno de los fármacos más controvertidos: la HidroxicloroquinaTM, el cual es un antiplásmico comercializado por la poderosa transnacional SanofiTM. El apremio por controlar la epidemia y minimizar sus efectos es natural y justificado. Pero el afán de lucro y la lucha por conseguir prominencia mediática, así como su politización, han añadido elementos especialmente inquietantes al conflictivo panorama ya existente.

La catarata de despropósitos relacionados con la hidroxicloroquina se inicia con la publicación de un *Preprint* (manuscrito no revisado por pares), el cual la erigía a poco menos que a la condición de panacea terapéutica [40]. El estudio adolecía de notables fallos de diseño, pero fue aprobado en solo 24 horas. El medicamento contó con la insólita e insistente promoción a cargo de Donald Trump, quien proclamó que él mismo se había curado gracias a los efectos de ese *producto milagroso* (conclusión ajena a los estándares de la ciencia, por ser una anécdota y por constituir una opinión personal sin fundamento). Sobre esas bases el mandatario presionó con éxito a instituciones de salud para que otorgaran, sin ninguna evidencia significativa, una *Autorización de Uso de Emergencia* para la HidroxicloroquinaTM.

De tal suerte, se avivó el interés por el fármaco, a tal magnitud que, el precio de las acciones de SanofiTM aumentó en un 16% [41]. El incremento del beneficio para Sanofi fue descomunal; se trató de la farmacéutica que más partido sacó a la crisis sanitaria del COVID el propio año en que se declaró la pandemia, de ganar alrededor de 3 mil millones de Euros en 2019, saltó a la astronómica cifra de 12300 millones de ganancias en el año 2020 [42]. El escándalo de la HidroxicloroquinaTM fue de tal magnitud que, por primera vez en su historia, las prestigiosas revistas como *Scientific American* y *Nature*, hicieron un pronunciamiento que solicitaban no votar por Donald Trump [43,44].

Luego, se produjeron diversas marchas y contramarchas, pero lo cierto es que un muy reciente informe de la OMS [45], revela que su voluminoso ensayo clínico ya concluido, no convalida la proclamada capacidad del fármaco para reducir el riesgo de muerte de los enfermos, gracias a la cual la farmacéutica Sanofi había tenido millonarias ganancias. La amañada autorización extendida por la FDA el 28 de marzo fue revocada tres meses después, y la propia agencia declara que jamás debería haberse producido [46].

El impacto negativo que pudo haber tenido el empleo intensivo de un fármaco que carece de propiedades para enfrentar los efectos del SARCOV-2 parece fuera de duda. Supuso enormes gastos estériles para los sistemas de salud, produjo cuantiosos efectos adversos y ahora se considera que ha sido responsable de un aumento de la mortalidad, según un reciente meta-análisis basado en ensayos clínicos [47].

Comentario final

El impacto sobre la salud colectiva de las conductas censurables en materia de investigación no ha sido evaluado aún en toda su magnitud. Pero los desmanes están tan bien documentados y han sido tan reiterados que hoy se contempla la pertinencia de prohibir toda publicación financiada por la industria. Algunos autores como Kearns et al. [48], urgen a quienes diseñan políticas a que miren con escepticismo todo trabajo financiado por ella. Y eminentes personalidades como lo acentúan Smith et al. [49], han sostenido que, teniendo en cuenta tan bochornoso expediente, los trabajos así financiados, simplemente no deberían ser siquiera publicados, como ya es una norma para las tabacaleras.

Consentimiento para publicación

El autor leyó y aprobó la versión final del manuscrito.

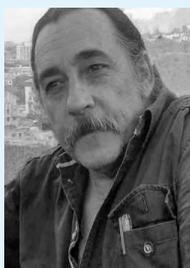
Conflicto de interés

El autor declara no tener conflicto de interés. Este documento solo refleja el punto de vista del autor y no el de la Institución a la que pertenece.

Perfil de autoría

Luis Carlos Silva Ayçaguer

Nacido en Durazno, Uruguay (1951), reside en Cuba desde 1962, donde es investigador titular y profesor de la Universidad de Ciencias Médicas de La Habana. Licenciado en Matemática en la Universidad de la Habana, (1975). Realizó estudios de posgrado sobre técnicas muestrales en la Universidad de Michigan, Ann Arbor (1979). Alcanzó su doctorado en Ciencias Matemáticas (PhD) en la Universidad de Carlos (Praga, 1982) y un segundo doctorado en Ciencias de la Salud en el Instituto Superior de Ciencias Médicas de la Habana (1998). Es profesor titular de la Escuela Nacional de Salud Pública de Cuba y Profesor Colaborador Asociado de la Escuela Nacional de Sanidad de España. En julio de 2020 fue elegido para integrar el Panel médico Mundial Interacadémico (<https://www.interacademies.org/>) para asesoría sobre la pandemia de la COVID19. Actualmente, su actividad docente y de investigación abarca la salud pública en general, la estadística bayesiana, los métodos estadísticos en epidemiología, las técnicas de muestreo, los problemas de metodología de la investigación en salud, la historia de la bioestadística, la problemática de la comunicación científica e Internet, la medición de las desigualdades en salud y los problemas éticos en el uso de la estadística.



Referencias

- [1] Santana VS, de Castilho EA. Pontuações sobre ética na saúde coletiva. *Revista Da Associação Médica Brasileira* 2011;57. <https://doi.org/10.1590/S0104-42302011000300002>.
- [2] López López MV, Arias López BE, Gaviria Noreña DL. Masters in Collective Health: pathway of challenges and possibilities. *Investigación y Educación En Enfermería* 2015;33. <https://doi.org/10.17533/udea.iee.v33n2a01>.
- [3] Malagón-Oviedo R. Epidemiología, saberes y prácticas: un análisis crítico. *Revista de Salud Pública* 2017;19. <https://doi.org/10.15446/rsap.v19n3.68468>.
- [4] Kass NE. An Ethics Framework for Public Health. *American Journal of Public Health* 2001;91. <https://doi.org/10.2105/AJPH.91.11.1776>.
- [5] Unger J-P, Morales I, de Paepe P, Roland M. Integrating clinical and public health knowledge in support of joint medical practice. *BMC Health Services Research* 2020;20. <https://doi.org/10.1186/s12913-020-05886-z>.
- [6] Li Q, Guan X, Wu P, Wang X, Zhou L, Tong Y, et al. Early Transmission Dynamics in Wuhan, China, of Novel Coronavirus-Infected Pneumonia. *New England Journal of Medicine* 2020;382. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa2001316>.
- [7] Turiel J, Fernandez-Reyes D, Aste T. Wisdom of crowds detects COVID-19 severity ahead of officially available data. *Scientific Reports* | 123AD;11:13678. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-93042-w>.
- [8] Roosa K, Lee Y, Luo R, Kirpich A, Rothenberg R, Hyman JM, et al. Real-time forecasts of the COVID-19 epidemic in China from February 5th to February 24th, 2020. *Infectious Disease Modelling* 2020;5:256–63. <https://doi.org/10.1016/J.IDM.2020.02.002>.
- [9] Baquero OS. One Health of Peripheries: Biopolitics, Social Determination, and Field of Praxis. *Frontiers in Public Health* 2021;9. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2021.617003>.
- [10] Kou H, Zhang S, Li W, Liu Y, Participatory Y. Participatory Action Research on the Impact of Community Gardening in the Context of the COVID-19 Pandemic: Investigating the Seeding Plan in Shanghai, China 2021. <https://doi.org/10.3390/ijerph18126243>.
- [11] Smith R. The trouble with medical journals. vol. 99. 2006. <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/014107680609900311>
- [12] Gilbert SG. Doubt Is Their Product: How Industry's Assault on Science Threatens Your Health. *Environmental Health Perspectives* 2009;117. <https://doi.org/10.1289/ehp.117-a218a>.
- [13] Ordunez P, Nieto FJ, Martinez R, Soliz P, Giraldo GP, Mott SA, et al. Chronic kidney disease mortality trends in selected Central America countries, 1997–2013: clues to an epidemic of chronic interstitial nephritis of agricultural communities. *Journal of Epidemiology and Community Health* 2018;72. <https://doi.org/10.1136/jech-2017-210023>.

- [14] Manuel Orantes-Navarro C, Almaguer-López MS MM, Alonso-Galbán PM, Díaz-Amaya M, Hernández S, Herrera-Valdés DrSc R, et al. The chronic kidney disease epidemic in El Salvador: A cross-sectional study. *MEDICC Review* 2019;21:29–37. <https://doi.org/10.37757/MR2019.V21.N2-3.7>
- [15] Wesseling C, Glaser J, Rodríguez-Guzmán J, Weiss I, Lucas R, Peraza S, et al. Chronic kidney disease of non-traditional origin in Mesoamerica: a disease primarily driven by occupational heat stress. *Rev Panam Salud Publica* 2020;44:1–13. <https://doi.org/10.26633/RPSP.2020.15>.
- [16] Silva Aycaguer LC, Orduñez P. Chronic kidney disease in central american agricultural communities: challenges for epidemiology and public health. *MEDICC Review* 2014;16:66–71. <https://doi.org/10.37757/MR2014.V16.N2.11>.
- [17] Crowe J, Moya-Bonilla M, Román-Solano B, Robles-Ramírez A. Heat exposure in sugarcane workers in Costa Rica during the non-harvest season. *Global Health Action* 2010; 3:5619. <https://doi.org/10.3402/gha.v3i0.5619>.
- [18] Gallo-Ruiz L, Sennett CM, Sánchez-Delgado M, García-Urbina A, Gámez-Altamirano T, Basra K, et al. Prevalence and Risk Factors for CKD Among Brickmaking Workers in La Paz Centro, Nicaragua. *American Journal of Kidney Diseases* 2019;74. <https://doi.org/10.1053/j.ajkd.2019.01.017>.
- [19] Crowe J, Nilsson M, Kjellstrom T, Wesseling C. Heat-Related symptoms in sugarcane harvesters. *American Journal of Industrial Medicine* 2015;58. <https://doi.org/10.1002/ajim.22450>.
- [20] Fakhri M. Right to food. Report of the special rapporteur on the right to food. Rome, Italy: 2021. <https://undocs.org/A/HRC/46/33>
- [21] Kearns CE, Glantz SA, Schmidt LA. Sugar industry influence on the scientific agenda of the National Institute of Dental Research's 1971 National Caries Program: A historical analysis of internal documents 2015. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1001798>.
- [22] Chavkin S. CDC launches industry-financed studies of deadly kidney disease in Central America. 2014. <https://publicintegrity.org/health/cdc-launches-industry-financed-studies-of-deadly-kidney-disease-in-central-america/>
- [23] Winkler K. Agrotóxicos en el cultivo de la caña de azúcar y sus impactos en la salud humana. Ciudad de Guatemala, Guatemala: 2017. https://latin.weeffect.org/app/uploads/2018/07/ESTUDIO-AGROTOX_11-jul-2018_VF.pdf
- [24] Wilson N, Kariisa M, Seth P, Smith H, Davis NL. Morbidity and Mortality Weekly Report Drug and Opioid-Involved Overdose Deaths-United States, 2017-2018. <https://www.shadac.org/opioid-epidemic-united-states>
- [25] DeWeerd S. Tracing the US opioid crisis to its roots. *Nature* 2019;573. <https://doi.org/10.1038/d41586-019-02686-2>.
- [26] Maloney CB. Committee releases documents showing Sackler family wealth totals \$11 billion. House Committee on Oversight and Reform 2021. <https://oversight.house.gov/news/press-releases/committee-releases-documents-showing-sackler-family-wealth-totals-11-billion>.
- [27] Dowell D, Haegerich TM, Chou R. CDC Guideline for Prescribing Opioids for Chronic Pain-United States, 2016 2016. <https://doi.org/10.1001/jama.2016.1464>.
- [28] Dobson J. Opioids and a failure to declare competing interests. *BMJ* 2019. <https://doi.org/10.1136/bmj.l5321>.
- [29] Piller C. Is FDA's revolving door open too wide? *Science* 2018;361. <https://doi.org/10.1126/science.361.6397.21>.
- [30] Kolodny A. How FDA failures contributed to the opioid crisis. *AMA Journal of Ethics* 2020;22:E743-750. <https://doi.org/10.1001/amajethics.2020.743>.
- [31] Katz J, Goodnough A, Sanger-Katz M. In shadow of pandemic, U.S. drug overdose deaths resurge to record. *The New York Times* 2020. <https://www.nytimes.com/interactive/2020/07/15/upshot/drug-overdose-deaths.html>

- [32] Gornall J. Sugar: spinning a web of influence. *BMJ* 2015;350. <https://doi.org/10.1136/bmj.h231>.
- [33] Barruti S. Mala leche: El supermercado como emboscada. Por qué la comida ultraprocesada nos enferma desde chicos. 1st ed. Buenos Aires, Argentina: Planeta Argentina; 2020.
- [34] Kearns CE, Schmidt LA, Glantz SA. Sugar Industry and Coronary Heart Disease Research. *JAMA Internal Medicine* 2016;176. <https://doi.org/10.1001/jamainternmed.2016.5394>.
- [35] Nestle M. Food Industry Funding of Nutrition Research. *JAMA Internal Medicine* 2016;176. <https://doi.org/10.1001/jamainternmed.2016.5400>.
- [36] O'Connor A. Coca-Cola funds scientists who shift blame for obesity away from bad diets. *Tampa Bay Times* 2015. <https://www.tampabay.com/news/nation/coca-cola-funds-scientists-who-shift-blame-for-obesity-away-from-bad-diets/2240652/>
- [37] Schillinger D, Tran J, Mangurian C, Kearns C. Do Sugar-Sweetened Beverages Cause Obesity and Diabetes? Industry and the Manufacture of Scientific Controversy. *Annals of Internal Medicine* 2016;165. <https://doi.org/10.7326/L16-0534>.
- [38] Choi C. AP Exclusive: How candy makers shape nutrition science. *AP News* 2016. <https://apnews.com/article/science-nutrition-healthy-eating-archive-only-on-ap-f9483d554430445fa6566bb0a-aa293d1>
- [39] Hales CM, Fryar CD, Carroll MD, Freedman DS, Aoki Y, Ogden CL. Differences in Obesity Prevalence by Demographic Characteristics and Urbanization Level Among Adults in the United States, 2013-2016. *JAMA* 2018;319:2419–29. <https://doi.org/10.1001/jama.2018.7270>.
- [40] Gautret P, Lagier J-C, Parola P, Hoang VT, Meddeb L, Mailhe M, et al. Hydroxychloroquine and azithromycin as a treatment of COVID-19: results of an open-label non-randomized clinical trial. *International Journal of Antimicrobial Agents* 2020;56. <https://doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2020.105949>.
- [41] Baker P, Enrich D, Haberman M, Rogers D. Trump's aggressive advocacy of malaria drug for treating coronavirus divides medical community. *The New York Times* 2020. <https://www.nytimes.com/2020/04/06/us/politics/coronavirus-trump-malaria-drug.html>
- [42] Escobar A. Las 'big farma' globales engrosan su beneficio un 5% en el año del Covid-19. *Planta Doce Diario Económico de La Agencia de La Salud* 2021. <https://www.plantadoce.com/empresa/las-big-farma-globales-engrosan-su-beneficio-un-5-en-el-ano-del-covid-19.html>
- [43] Scientific American Editorial. Scientific American Endorses Joe Biden. *Scientific American* 2020. <https://www.scientificamerican.com/article/scientific-american-endorses-joe-biden1/>
- [44] Nature Editorial. Why Nature supports Joe Biden for US president. *Nature* 2020;586. <https://doi.org/10.1038/d41586-020-02852-x>.
- [45] Hongchao P, Peto R, Henao Restrepo AM, Preziosi MC. Repurposed Antiviral Drugs for Covid-19 — Interim WHO Solidarity Trial Results. *New England Journal of Medicine* 2021;384:497–511. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa2023184>.
- [46] Thomson K, Nachlis H. Emergency Use Authorizations During the COVID-19 Pandemic. *JAMA* 2020;324. <https://doi.org/10.1001/jama.2020.16253>.
- [47] Axfors C, Schmitt AM, Janiaud P, van't Hooft J, Abd-El salam S, Abdo EF, et al. Mortality outcomes with hydroxychloroquine and chloroquine in COVID-19 from an international collaborative meta-analysis of randomized trials. *Nature Communications* 2021;12. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-22446-z>.
- [48] Kearns CE, Glantz SA, Schmidt LA. Sugar Industry Influence on the Scientific Agenda of the National Institute of Dental Research's 1971 National Caries Program: A Historical Analysis of Internal Documents. *PLOS Medicine* 2015;12. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1001798>.
- [49] Smith R, Gotzsche PC, Groves T. Should journals stop publishing research funded by the drug industry? *BMJ* 2014;348. <https://doi.org/10.1136/bmj.g171>.

Atención en salud a las mujeres víctimas de violencia sexual en un municipio de Colombia

Health care for women victims of sexual violence in a municipality of Colombia

Damaris Barragán Gamba*  Luz Damaris Rojas Rodríguez 

Acceso Abierto

*Correspondencia:
dbarragan@uceva.edu.co
Facultad de Ciencias Jurídicas y
Humanísticas. Unidad Central del
Valle del Cauca-UCEVA.

Sometido: 24-04-2021
Aceptado para publicación:
17-05-2021
Publicado online: 19-09-2021

Palabras clave:

Factor de riesgo;
protocolo integral;
salud pública;
servicios a víctimas;
violencia sexual

Key words:

Comprehensive protocol;
public health;
risk factor;
sexual violence;
victim services.

Resumen

El objetivo de esta investigación fue evaluar la atención en salud a mujeres víctimas de violencia sexual en el municipio de Tuluá-Valle del Cauca, Colombia. La investigación tuvo un enfoque evaluativo guiado por parámetros del método cualitativo; las técnicas de recolección de información empleadas fueron: i) entrevista semiestructurada; ii) observación; iii) aplicación de listas de chequeo y iv) análisis documental. La evaluación, se focalizó en dos aspectos: i) las percepciones de las mujeres víctimas de violencia sexual respecto a la calidad de la atención y los servicios de salud recibidos y ii) las capacidades institucionales de las entidades prestadoras de los servicios de salud a nivel local. Los resultados indican que la mayoría de las mujeres víctimas de violencia sexual, perciben la calidad de la atención como deficiente y poco humanizada. Se constató que existen barreras actitudinales y administrativas, las cuales terminan revictimizando a las pacientes y vulnerando sus derechos. De igual manera, no se evidenció la aplicación de manera oportuna y efectiva de todos los procedimientos establecidos en el protocolo de atención en salud integral para víctimas de violencia sexual.

Abstract

The aim of this research was to present the application results of a comprehensive healthcare protocol for victims of sexual violence in the municipality of Tuluá-Valle del Cauca, Colombia. The research had an evaluative approach guided by parameters of the qualitative method; the information gathering techniques used were: i) semi-structured interview; ii) observation; iii) checklists application and iv) documentary analysis. The evaluation focused on two aspects: i) perceptions of women victims of sexual violence respect to the quality of care and health services received and ii) institutional capacities of the entities that provide health services at local level. The results indicate that the majority of the women victims of sexual violence, perceive the quality of care as deficient and not very humanized. It was found that there are attitudinal and administrative barriers, which end up re-victimizing patients and violating their rights. The same way, a timely and effective application of all the procedures established in the comprehensive health care protocol for victims of sexual violence, was not evidenced.

Introducción

La violencia sexual contra la mujer es un fenómeno mundial para cuyo análisis y tratamiento, se requiere de enfoques diversos, puesto que son muchas las dimensiones implicadas y/o afectadas [1]. La Organización Mundial de la Salud (OMS), define violencia sexual como *“todo acto sexual, la tentativa de consumir un acto sexual, los comentarios o insinuaciones sexuales no deseados, o las acciones para comercializar o utilizar de cualquier otro modo la sexualidad de una persona mediante coacción por otra persona, independientemente de la relación de ésta con la víctima, en cualquier ámbito, incluidos el hogar y el lugar de trabajo”* [2].

Una de cada tres mujeres entre 15 y 49 años en todo el mundo, se ven afectadas negativamente por la violencia física, psicológica, sexual y el acoso a lo largo de su vida [3]. Las raíces de la violencia contra la mujer, se remontan al sistema patriarcal que reproduce relaciones desiguales de género. Estos, a su vez, son complementarios, jerárquicamente ordenados en la estructura social y se configuran como un producto de la amplia difusión y aceptación de la ideología sexista [4]. Es desde esta perspectiva que todavía hoy, se percibe a las mujeres como un *“segundo sexo”*, ciudadanas de segunda clase, restringidas a un marco de cultura patriarcal, que impone varios límites a su acceso efectivo a la ciudadanía [4,5].

Investigaciones realizadas en distintos países de América Latina y referenciadas por la Organización Panamericana de la Salud (OPS), los Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades de los Estados Unidos y la Organización Mundial de la Salud (OMS) [6], demuestran las graves consecuencias de la violencia de género en la salud y el bienestar de las mujeres. El impacto fisiológico de la violencia sexual en mujeres, abarca desde problemas cardiovasculares (p.ej., hipertensión y dolor en el pecho), gastrointestinales (p.ej., síndrome del intestino irritable crónico, pérdida del apetito, trastornos alimentarios), reproductivos (lesiones en los genitales), problemas musculoesqueléticos (p. ej., lesión craneofacial) y puede afectar el sistema nervioso típicamente a través de una lesión cerebral traumática [7].

Esta violencia, además de los costos humanos, tiene importantes implicaciones económicas para los países, debido a los gastos que conlleva tratar a las sobrevivientes

[8]; la disminución de la productividad laboral y de los ingresos, así como el ausentismo [9]. Cuando el abuso sexual ocurre en la niñez o la adolescencia, existe mayor riesgo de ser nuevamente víctima en el futuro, iniciar muy temprano la actividad sexual, abusar de sustancias psicoactivas y tener múltiples parejas sexuales [8].

El Protocolo [10], es reconocido como una importante herramienta conceptual y metodológica dirigida a los profesionales de la salud para abordar los casos de violencia sexual, atendiendo al enfoque diferencial y de derechos humanos [10,11]. También adopta como principio prevalente, el respeto que deben tener los profesionales de la salud por la autonomía de las víctimas para aceptar o no las recomendaciones médicas: exámenes profilácticos, médico-legales y demás [12,13].

Con base en las altas cifras de violencia sexual en mujeres que se presentan en el municipio de Tuluá, Valle del Cauca-Colombia [14,15] y las distintas barreras que impiden a las víctimas, acceder a los servicios de salud; se plantea el objetivo de esta investigación, el cual, está orientado a evaluar la aplicación de un protocolo de atención en salud integral para víctimas de violencia sexual en el municipio de Tuluá- Valle del Cauca, Colombia.

Materiales y métodos

Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en el municipio de Tuluá-Valle del Cauca, Colombia entre el año 2016-2017 con mujeres víctimas de violencia sexual a quienes se les brindó información y asesoría frente a sus derechos y el debido procedimiento para la respectiva atención en salud.

Método de evaluación

La investigación fue de corte evaluativa y se realizó bajo el modelo pragmático y focalizado de Patton [16]. De acuerdo con este modelo, la evaluación debe ser útil para los usuarios, esto es, que les sirva para mejorar las prácticas humanas. En este sentido, el evaluador focaliza o selecciona el aspecto o proceso relevante del programa que le interesa evaluar y sobre el cual, se obtendrá información útil para la toma de decisiones; propone Patton identificar los actores relevantes en el

programa (usuarios) para focalizar los problemas y conocer cómo perciben el programa [16].

Categorías de análisis

Se focalizaron dos objetos de evaluación: *i*) la calidad de la atención en salud que reciben las mujeres víctimas de violencia sexual del municipio de Tuluá-Valle del Cauca, Colombia y *ii*) las capacidades institucionales para brindar la atención integral que establece el protocolo de atención. El primer foco se analizó a partir de las opiniones y percepciones de las mujeres víctimas frente a la satisfacción con la atención recibida, la garantía y goce de derechos. El segundo foco, se abordó teniendo en cuenta las condiciones de las IPS en términos de las instalaciones físicas, talento humano e insumos.

Instrumentos de recolección de información

Para recolectar la información, se realizaron entrevistas semiestructuradas a diez (10) mujeres víctimas y a seis (6) funcionarios de salud de las IPS participantes, así como también, funcionarios de la Secretaría Municipal de Salud de Tuluá-Valle del Cauca, Colombia. Se aplicó la observación *in situ* a las Instituciones de salud participantes y listas de chequeo construidas a partir de los requerimientos específicos que establece el Protocolo de Atención en Salud Integral a Víctimas de Violencia Sexual respecto a infraestructura, insumos y talento humano.

Tipo de muestra y población

El tipo de muestra fue no probabilística y la técnica de muestreo empleada fue Bola de Nieve [17], este método ayuda a los investigadores a encontrar una muestra cuando son difíciles de localizar [18]. Los investigadores utilizan esta técnica cuando el tamaño de la muestra es pequeño y no está fácilmente disponible [17,18]. Para efectos del presente estudio, resultó útil la aplicación de Bola de Nieve, y se logró acceder a este tipo de población (mujeres víctimas de violencia sexual); que es considerada de difícil acceso.

Para efectuar el muestreo, se contactaron dos lideresas de organizaciones feministas, quienes conocían a mujeres víctimas de violencia sexual y se construyó la red de informantes clave, hasta completar una muestra de diez (10) mujeres, a quienes se les aseguró el cumplimiento de los siguientes criterios: *i*) ser mujer mayor de 18 años víctima de violencia sexual; *ii*) haber recibido atención médica por violencia sexual en las IPS participantes en el estudio y *iii*) disposición a participar en la investigación voluntariamente y conceder entrevista. Respecto a las instituciones de salud, la muestra estuvo representada por cuatro (4) IPS (tanto de carácter público como privado), las cuales aceptaron participar y permitieron que los profesionales responsables de la aplicación del protocolo, participaran en la entrevista.

Análisis de datos

La información fue procesada y analizada con la ayuda del paquete informático The Ethnograph 5.07® [19]. Este software procesa información cualitativa y establece segmentos de información en forma organizada, categorizando el análisis.

Resultados y Discusión

Caracterización de la población evaluada

La Tabla 1, permite establecer una aproximación a las diez (10) mujeres que de manera voluntaria participaron en el estudio. Ellas tienen puntos en común como: pertenecer a estratos socioeconómicos bajos, ocupaciones inestables y mal remuneradas que en varios casos las lleva a depender económicamente de sus parejas actuales; bajo nivel educativo, solo dos (2) han alcanzado el nivel de educación técnico y tecnológico; cuatro (4) son jefas de hogar y deben responder por sus hijos y padres (Tabla 1). Las edades oscilan entre 18 y 50 años, algunas de las entrevistadas, han sufrido episodios de desplazamiento forzado, debido a que han vivido en zonas de conflicto armado.

Tabla 1. Caracterización sociodemográfica

Entrevistada	Edad	Ocupación	Escolaridad	Año Agresión	Agresor	Tipo de agresión
Mujer 1	20	Desempleada	Bachillerato Incompleto	2015	Amigo familia	
Mujer 2	24	Empleada informal	Bachillerato Completo	2014	Novio y amigos	Violación sexual, desnudez forzada
Mujer 3	40	Ama casa	Bachillerato Incompleto	2015	Expareja	Abuso sexual
Mujer 4	32	Vendedora ambulante	Primaria	2010	Vecino	Violación sexual
Mujer 5	29	Empleada almacén	Técnica laboral	2014	Pareja	Abuso sexual, aborto forzado.
Mujer 6	50	Ama casa	Primaria	2017	Pareja	
Mujer 7	48	Empleada Doméstica	Bachillerato Incompleto	2010	Actor armado	Violación sexual, torturas
Mujer 8	31	Estudia	Tecnología SENA	2015	Expareja	Violación sexual, golpes, intento de homicidio
Mujer 9	18	Ama de casa	Primaria	2013	Amigo familia	
Mujer 10	39	Empleada Doméstica	Bachillerato Incompleto	2016	Desconocido	
				2013	Actor armado	Abuso sexual, violación

Respecto al régimen de salud, seis (6), se encuentran vinculadas al régimen subsidiado y cuatro (4), en el contributivo; todas han sido atendidas por los servicios de salud del municipio de Tuluá, como víctimas de violencia sexual entre los años 2013 y 2017, haciendo claridad que algunas solicitaron la atención médica meses después de ocurridos los hechos victimizantes (Tabla 1).

La situación actual de las mujeres estudiadas no dista de la realidad nacional de las mujeres, donde es común la falta de oportunidades laborales, los bajos niveles de educación, la dependencia económica, lo que hace que se establezcan relaciones claras frente a determinantes sociales como la clase social y el género, además de la violencia sexual que marca sus vidas, deben experimentar la falta de oportunidades [20] (Tabla 1).

Atención recibida en las entidades prestadoras de salud. Garantía de los derechos de las víctimas

La violencia sexual es una urgencia médica que compromete la salud física y psíquica de las víctimas, pero por falta de conocimiento, temor, poca confianza en las instituciones, cuatro (4) entrevistadas, dejaron pasar varios años y solo en consulta general y de ginecología, decidieron romper su silencio y hablar de los actos de violencia sexual vividos. Por estas razones y acudiendo a la Ley 1164 de 2007 [21], la atención integral debe darse con total respeto, trato digno, prudente y reparador, actitud de escucha y lenguaje asertivo, oportunidad, calidad y humanización en

la prestación. Sin embargo, las experiencias vividas por las mujeres entrevistadas, permitieron identificar barreras actitudinales como: *i)* atención negligente; *ii)* falta de empatía con las mujeres víctimas de violencia sexual; *iii)* poco apoyo emocional y *iv)* largas esperas para la realización de exámenes. A continuación, se enuncian los derechos vulnerados a las víctimas estudiadas:

Derecho al consentimiento informado

Según lo manifestado por la población estudiada (mujeres víctimas de violencia sexual en el municipio de Tuluá-Valle del Cauca, Colombia), la información sobre los procedimientos clínicos y los exámenes a realizar, resultó poco clara y hasta amenazante.

Derecho a la atención psicosocial

La Ley 1257 de 2008 en su artículo 8, numeral g [22], establece como derecho de las mujeres víctimas de violencia de género, “*recibir asistencia médica, psicológica, psiquiátrica y forense especializada e integral en los términos y condiciones establecidos en el ordenamiento jurídico para ellas y sus hijos e hijas*” [22,23]. Sin embargo, en la presente investigación, no se constató la debida atención en salud mental recibida, se evidenciaron barreras administrativas para acceder al tratamiento psicoterapéutico. Se constató que las EPS no brindan atención prioritaria a estos casos y la citas de psiquiatría o psicología, tardan hasta tres meses

para ser asignadas, además, no realizan el tratamiento terapéutico especializado y exigen que las víctimas realicen copagos para cada cita, resultando oneroso para las mujeres víctimas de violencia sexual.

En todos los casos analizados, las EPS violaron las normas colombianas que garantizan el derecho a la salud de las víctimas de violencia de género, entre ellas, la violencia sexual [24]. En ese sentido, la atención integral conlleva el respeto y la garantía de los derechos que han sido reconocidos en Colombia. Estos derechos son de obligatorio cumplimiento para los operadores de justicia, administrativos, de policía y para los prestadores de servicios de salud [24]. La Resolución 5521 del 27 de diciembre de 2013 [25], por la cual, se definió y actualizó integralmente el Plan Obligatorio de Salud (POS), introdujo avances importantes para la atención en salud mental para las mujeres víctimas de violencias así: *i*) amplió la cobertura de la psicoterapia ambulatoria (art. 66) hasta 60 sesiones de psicoterapia individual en total y hasta 60 sesiones de terapias grupales, familiares y de pareja en total durante el año calendario; *ii*) amplió la cobertura de la hospitalización cuando sea pertinente la atención con internación en salud mental (art. 68), hasta por 180 días en la fase aguda, continuos o discontinuos por año calendario [25].

Por su parte, la Ley 1719 de 2014 en su artículo 23 [26], establece que las víctimas de violencia sexual, tienen derecho a recibir atención gratuita y prioritaria dentro del sector salud, independientemente del tiempo transcurrido entre el momento de la agresión y la consulta, y de la existencia de denuncia penal [26].

Derecho a la interrupción voluntaria del embarazo (IVE)

La interrupción voluntaria del embarazo (IVE) [27], es un derecho fundamental de las niñas y mujeres, el cual fue reconocido como tal, por la Corte Constitucional Colombiana mediante la Sentencia C-355 de 2006 [28], sentencia que despenalizó el aborto en los casos extremos. En la presente investigación, dos (2) de las entrevistadas, quedaron embarazadas por violación, una no tuvo ninguna orientación sobre la interrupción voluntaria del embarazo, prefirió callar su dolor y ante el temor de cargar con otra culpa, decidió llevar a cabo su embarazo. Sin embargo, debido a los graves problemas ginecológicos que le dejó la violación, a los cuatro (4) meses, presentó aborto involuntario. La otra víctima, acudió a la IVE [27], pero debió superar

muchos trámites y trabas de la IPS, quien en un primer momento quiso evitar este procedimiento, manifestando que no podían obligar a ningún médico a realizarlo.

Realización de exámenes profilácticos para detectar infecciones de transmisión sexual, VIH/sida, embarazo y exámenes médico-legales

Únicamente a seis (6) de las mujeres que hicieron parte del presente estudio, se les practicó exámenes para enfermedades de transmisión sexual, y pruebas para VIH/sida. Lo que sugiere que, no a todas las víctimas, les realizan los exámenes establecidos por los organismos internacionales de salud para descartar infecciones de transmisión sexual. A las mujeres que acudieron antes de las 72 horas de ocurrida la violencia sexual, les suministraron la anticoncepción de emergencia, como lo establece la normatividad [23–27].

Capacidades institucionales para atender las víctimas de violencia sexual

Con la expedición de la Resolución 0459 de 2012 [29], por la cual, se adopta el Protocolo de Atención Integral en Salud para Víctimas de Violencia Sexual, se definieron las competencias institucionales del sector salud y con estas, la obligación de que cada institución prestadora, creará las condiciones necesarias para garantizar oportunidad, calidad, respeto y humanidad en la atención [29]. Cada IPS debe integrar un equipo interdisciplinario conformado por profesionales de las áreas de salud mental, área social y área de atención médica, y designar una persona como referente o facilitador responsable del seguimiento a las acciones definidas en el plan de atención y la verificación de su cumplimiento [27,29].

Actualmente, todas las IPS de nivel I y II, están aplicando la Resolución 459 de 2012 [29] y disponen de los equipos interdisciplinarios mencionados aquí, sin embargo, estos equipos, tienen poca disponibilidad de tiempo para capacitarse y vincularse con el programa de atención a la violencia de género. La falta de capacitación es precisamente, una de las barreras más significativas para cumplir a cabalidad con los objetivos del Protocolo [29]; aunque se reconoce la necesidad e importancia de actualizarse en este tema y en otros afines como los derechos humanos, enfoque de género, derechos de las víctimas, derechos sexuales, reproductivos y violencias de género.

Otro aspecto abordado con los profesionales de la salud entrevistados, fue la percepción que tienen frente a la calidad y oportunidad de la atención que brindan a las mujeres víctimas de violencia sexual. En general, manifestaron que la implementación del Protocolo de Atención Integral a las Víctimas de Violencia Sexual [29], ha sido lenta y no exenta de fallas en algunos procedimientos, como en el embalaje y rotulado adecuado de evidencias forenses, el registro de la información en las historias clínicas y en el sistema de información institucional RIPS, SIVIGILA [30].

Adicionalmente, se evidenció una demora significativa en la realización de los exámenes profilácticos. La mayoría de los funcionarios prestadores de salud entrevistados, coincidió en que una debilidad, es la no presencia del equipo interdisciplinario en horas de la noche y los fines de semana. También indicaron que aún persisten debilidades en la coordinación interinstitucional, especialmente con la Unidad de Reacción Inmediata (URI) de la Fiscalía General de la Nación, quienes ponen trabas para recibir las denuncias de las víctimas; de la misma manera, el Instituto Colombiano de Bienestar Familiar (ICBF) y la Policía, no suelen responder oportunamente a las solicitudes realizadas para la protección y restablecimiento de derechos de los menores. Frente al trabajo que realizan con la comunidad, para sensibilizarla e informarla, sobre el acceso a los servicios de salud dirigidos a víctimas de violencia sexual (paso 1 del Protocolo) [29], las IPS públicas ubicadas en el área de estudio, indicaron que lo hacen a través del Programa de Atención Primaria establecido a partir de la Ley 1438 de 2011 [31], mientras que las IPS privadas en el mismo sector, reconocieron debilidades en este aspecto. Los funcionarios entrevistados, aunque saben que tienen responsabilidades en la denuncia de los casos, no lo hacen, para evitar verse comprometidos en asuntos judiciales y asumen que le corresponde a la víctima instaurar la denuncia.

Frente a la disponibilidad de un espacio para la atención de estos eventos, las IPS han dispuesto los consultorios de otros profesionales (ginecólogo) o del equipo psicosocial, para atender las víctimas de violencia sexual; pero en algunos casos, particularmente los fines de semana, por falta de acceso a los consultorios asignados, la atención se ha brindado en la misma sala de urgencias, donde el espacio es dividido por una cortina, no existen paredes que garanticen privacidad y tranquilidad a las víctimas. Ello indica, la falta de rigor que tienen algunos profesionales

en la aplicación del Protocolo [29], propiciando revictimizaciones y vulneración a los derechos de las víctimas que se ven expuestas a esta situación.

Cabe anotar que la presente investigación, arrojó resultados similares a los que halló la Mesa de seguimiento a la Ley 1257 de 2008 [32], relacionados con las barreras administrativas que se presentan actualmente para el acceso a la atención especializada en salud mental y psicosocial de las mujeres víctimas de violencia sexual. Los hallazgos y resultados expuestos aquí, se pueden convertir en insumos para que los entes gubernamentales de salud como la Secretaria Departamental y Secretaría Municipal localizados en el área de estudio, fortalezcan el acompañamiento a las IPS locales, en su propósito de lograr efectividad en la aplicación del Protocolo de Atención Integral en Salud a las Víctimas de Violencia Sexual [29] y de esta manera, contribuir a la función estatal de protección, garantía y restablecimiento de los derechos de las víctimas de violencia sexual.

Conclusión

La atención que reciben las mujeres víctimas de violencia sexual, por parte de las IPS del municipio de Tuluá-Valle del Cauca, Colombia, permitió visibilizar las falencias al momento de implementar los procedimientos establecidos en el Protocolo. En este sentido, se evidenció que en el caso particular de la aplicación de la Resolución 459 de 2012, existe una brecha entre lo que promulga el Estado como el “*deber ser*” de la atención en salud a las víctimas de violencia sexual y su aplicación en las entidades territoriales por parte de las EPS e IPS.

Se evidenció que la implementación del Protocolo es lenta y presenta fallas en procedimientos como el embalaje y rotulado adecuado de evidencias forenses, el registro de la información en las historias clínicas y en el sistema de información institucional. Las víctimas del presente estudio, no fueron contactadas ni visitada por algún funcionario(a) para monitorear el tratamiento recibido y la evolución de su salud física y emocional.

Se identificó que si bien, el Modelo de Atención establece como uno de sus criterios el enfoque diferencial, en el Protocolo no tiene una aplicación expresa, pues no contempla especificidades para una atención diferenciada que responda a las necesidades particulares desde las perspectivas de

ciclo vital, género, orientaciones sexuales, etnia, etc., quedando subsumidas en la categoría genérica de “víctimas de violencia sexual”. Para futuras investigaciones, es importante realizar monitoreo y seguimiento a las instituciones prestadoras de salud con el objeto de verificar el avance de aplicación de este protocolo.

Consentimiento para publicación

Las autoras leyeron y aprobaron la versión final del manuscrito.

Conflicto de interés

Las autoras declaran no tener conflicto de interés. Este documento solo refleja el punto de vista de las autoras y no el de la Institución a la que pertenecen.

Perfil de autoría

Damaris Barragán Gamba

Trabajadora Social, Especialista en Teoría, Métodos y Técnicas de Investigación Social; Especialista en Justicia de Género y Políticas Públicas; Magister en Políticas Públicas. Es actualmente Docente Asociada de la Unidad Central del Valle del Cauca-UCEVA. Fundadora e integrante del grupo de investigación “Derecho, Cultura y Sociedad” de la Facultad de Ciencias Jurídicas y Humanísticas de la UCEVA. Sus intereses académicos e investigativos giran alrededor de los problemas relacionados con género, políticas públicas y derechos humanos, temas sobre los cuales, posee experiencia en publicaciones indexadas.



Luz Damaris Rojas Rodríguez

Es actualmente, Docente Tiempo Completo adscrita a la Facultad de Ciencias de la Salud, Área materna perinatal de la Unidad Central del Valle del Cauca-UCEVA. Obtuvo su grado de Enfermera en la Universidad del Valle, Colombia, donde culminó también sus estudios de Maestría en Enfermería Materno Perinatal. Sus intereses de investigación están relacionados con la salud sexual reproductiva, que implica aspectos como la salud de la mujer, la salud materno perinatal al igual que salud mental de esta población. Actualmente, es directora del grupo de investigación “Salud, Cuidado y Sociedad” de la Facultad de Ciencias de la Salud de la UCEVA y realiza procesos investigativos en lactancia materna, ruta de atención en salud para las mujeres víctimas de violencia, prevalencia de suicidio, entre otras.



Referencias

- [1] Tinjaca Uriza K, Santos Pérez ML. La violencia sexual contra la mujer en zonas de conflicto armado en Colombia: un enfoque a partir de un modelo logit. *Asparkía Investigació Feminista* 2021;125–48. <https://doi.org/10.6035/Asparkia.2021.38.7>.
- [2] World Health Organization (WHO), United Nations Office on Drugs and Crime (UNODC). *Strengthening the medico-legal response to sexual violence*. Genève, Switzerland: 2016. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/197498>
- [3] Emezue C, Bloom TL. Protocol: Technology-based and digital interventions for intimate partner violence: A meta-analysis and systematic review. *Campbell Systematic Reviews* 2021; 17:1–20. <https://doi.org/10.1002/cl2.1132>.
- [4] Albuquerque IM, Rosas Torres AR, Álvaro Estramiana JL, Garrido Luque A, Pereira Rodrigues DM. Police inquiries: types of violence against women. *Athenea Digital Revista de Pensamiento e Investigación Social* 2021;21: e2703. <https://doi.org/10.5565/rev/athenea.2703>.
- [5] Connor RA, Glick P, Fiske ST. Ambivalent Sexism in the Twenty-First Century. In: Sibley CG, Barlow FK, editors. *The Cambridge Handbook of the Psychology of Prejudice*, Cambridge: Cambridge University Press; 2017, p. 295–320. <https://doi.org/10.1017/9781316161579.013>.
- [6] Organización Panamericana de la Salud (OPS), Organización Mundial de la Salud (OMS), Centers for Disease Control and Prevention (CDC). *Violencia contra las mujeres en América Latina y el Caribe. Análisis comparativos de datos poblacionales de 12 países*. 1st ed. Washington, DC., USA: Organización Panamericana de la Salud (OPS). Organización Mundial de la Salud (OMS).; 2014. https://www3.paho.org/hq/index.php?option=com_docman&view=download&category_slug=violencia-5197&alias=24353-violencia-contra-mujeres-america-latina-caribe-analisis-comparativo-datos-poblacionales-12-paises-353&Itemid=270&lang=en

- [7] Peterson C, Kearns MC, McIntosh WL, Estefan LF, Nicolaidis C, McCollister KE, et al. Lifetime economic burden of intimate partner violence among U.S. adults. *American Journal of Preventive Medicine* 2018;55:433–44. <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2018.04.049>.
- [8] Cuesta J, Alda E. Evaluating a citizen security pilot in Honduras: The economic benefits of a much-reduced murder rate. *Development Policy Review* 2021;39:848–64. <https://doi.org/10.1111/dpr.12530>.
- [9] Mittal S, Singh T. Gender-based violence during Covid-19 pandemic: A mini-review. *Frontiers in Global Women's Health* 2020;1:1–7. <https://doi.org/10.3389/fgwh.2020.00004>.
- [10] Murphy M, Ellsberg M, Balogun A, Garcia-Moreno C. Risk and protective factors for GBV among women and girls living in humanitarian setting: systematic review protocol. *Systematic Reviews* 2021;10:238. <https://doi.org/10.1186/s13643-021-01795-2>.
- [11] Gallardo-Nieto EM, Gómez A, Gairal-Casadó R, del Mar Ramis-Salas M. Sexual orientation, gender identity and gender expression-based violence in Catalan universities: qualitative findings from university students and staff. *Archives of Public Health* 2021; 79:1–13. <https://doi.org/10.1186/s13690-021-00532-4>.
- [12] Cifuentes Osorio S. Exámenes médico legales por presunto delito sexual. Colombia, 2015. 1st ed. Bogotá, Colombia: Grupo Centro de Referencia Nacional sobre Violencia. Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses; 2015. <https://www.medicinalegal.gov.co/documents/20143/49523/Violencia+sexual.pdf>
- [13] Calbet N. La violencia sexual en Colombia, mujeres víctimas y constructoras de paz. 1st ed. Barcelona, España: Institut de Drets Humans de Catalunya; 2018. https://www.icip.cat/wp-content/uploads/2020/12/Informe_Violencia_sexual_Colombia.pdf
- [14] Muñoz V, Cardona S. Violencia sexual en personas residentes en el Valle del Cauca en el periodo enero de 2014 a junio de 2017. 1st ed. Beau-Bassin, Mauritius: Editorial Académica Española; 2017.
- [15] Instituto Nacional de Salud (INS). Vigilancia en salud pública de violencia de género e intrafamiliar. Colombia Periodo V de 2020. Boletín Epidemiológico Semanal (BES). Bogotá, Colombia: 2020. https://www.ins.gov.co/buscador-eventos/BoletinEpidemiologico/2020_Bolet%C3%ADn_epidemiol%C3%B3gico_semana%2022.pdf
- [16] Patton MQ. Utilization-Focused Evaluation. *International Handbook of Educational Evaluation*, vol. 9, Dordrecht: Springer Netherlands; 2003, p. 223–42. https://doi.org/10.1007/978-94-010-0309-4_15.
- [17] Taherdoost H. Sampling methods in research methodology; How to choose a sampling technique for research. *International Journal of Academic Research in Management (IJARM)* 2016;5:18–27. https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3205035
- [18] Leighton K, Kardong-Edgren S, Schneidereith T, Foisy-Doll C. Using social media and snowball sampling as an alternative recruitment strategy for research. *Clinical Simulation in Nursing* 2021;55:37–42. <https://doi.org/10.1016/j.ecns.2021.03.006>.
- [19] Denham AMJ, Wynne O, Baker AL, Spratt NJ, Turner A, Magin P, et al. “This is our life now. Our new normal”: A qualitative study of the unmet needs of carers of stroke survivors. *PLoS ONE* 2019;14:e0216682. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0216682>.
- [20] Geldolf M, Tjtgat J, Dewulf L, Haezeleer M, Degryse N, Pouliart N, et al. Sexual violence in medical students and specialty registrars in Flanders, Belgium: a population survey. *BMC Medical Education* 2021; 21:130. <https://doi.org/10.1186/s12909-021-02531-z>.
- [21] Congreso de la República de Colombia. Ley 1164 de 2007. Por la cual se dictan disposiciones en materia del Talento Humano en Salud. Bogotá, Colombia: 2007. https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/LEY%201164%20DE%202007.pdf

- [22] Congreso de la República de Colombia. Ley 1257 de 2008. Por la cual se dictan normas de sensibilización, prevención y sanción de formas de violencia y discriminación contra las mujeres, se reforman los Códigos Penal, de Procedimiento Penal, la Ley 294 de 1996 y se dictan otras disposiciones. Bogotá, Colombia: 2008. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=34054#:~:text=L%20presente%20ley%20tiene%20por,a%20los%20procedimientos%20administrativos%20y>
- [23] Corporación Sisma Mujer. Ley 1257 de 2008 sobre no violencias contra las mujeres. Herramientas para su aplicación e implementación. 1st ed. Bogotá, Colombia: Corporación Sisma Mujer y Red Nacional de Mujeres en cooperación con la Generalitat Valenciana- España.; 2010. <https://www.arcoiris.com.co/wp-content/uploads/2016/06/Ley-1257-de-2008-sobre-no-violencias-contra-las-mujeres-Herramientas-para-su-aplicaci%C3%B3n-e-implementaci%C3%B3n.pdf>
- [24] Ministerio de Salud y Protección Social (MinSalud). Derechos de las víctimas de violencias de género. Sexualidad, Derechos Sexuales y Derechos Reproductivos 2020. <https://www.minsalud.gov.co/salud/publica/ssr/Paginas/Derechos-de-las-victimas-de-violencias-de-genero.aspx>.
- [25] Congreso de la República de Colombia. Ministerio de Salud y Protección Social (MinSalud). Resolución 5521 del 27 de diciembre de 2013. Por la cual se define, aclara y actualiza integralmente el Plan Obligatorio de Salud (POS). Bogotá, Colombia: 2013. <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/resolucion-5521-de-2013.pdf>
- [26] Congreso de la República de Colombia. Ley 1719 de 2014. Por la cual se modifican algunos artículos de las Leyes 599 de 2000, 906 de 2004 y se adoptan medidas para garantizar el acceso a la justicia de las víctimas de violencia sexual, en especial la violencia sexual con ocasión del conflicto armado, y se dictan otras disposiciones. Bogotá, Colombia: 2014. <http://www.suin.gov.co/viewDocument.asp?ruta=Leyes/1687214>
- [27] Ministerio de Salud y Protección Social (MinSalud). ABECÉ. Línea: Salud Materna – Derecho a la Maternidad Elegida Interrupción voluntaria del embarazo, un derecho humano de las mujeres. Bogotá, Colombia: 2016. <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/abc-maternidad-elegida.pdf>
- [28] Corte Constitucional de Colombia. Sentencia C-355/06. Bogotá, Colombia: 2006. <https://www.corteconstitucional.gov.co/relatoria/2006/c-355-06.htm>
- [29] Ministerio de Salud y Protección Social (MinSalud). Resolución 0459 del 6 de marzo de 2012. Por la cual se adopta el Protocolo de Atención integral en Salud para Víctimas de Violencia Sexual. Bogotá, Colombia: 2012. <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/Resolucion-0459-de-2012.PDF>
- [30] Ministerio de Salud y Protección Social (MinSalud). Lineamiento Técnico para el Registro y envío de los datos del Registro Individual de Prestaciones de Salud – RIPS, desde las Instituciones Prestadoras de Servicios de Salud a las EAPB. Bogotá, Colombia: 2019. <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/OT/Lineamientos-Tecnicos-para-IPS.pdf>
- [31] Congreso de la República de Colombia. Ley 1438 de 2011. Por medio de la cual se reforma el sistema general de seguridad social en salud y se dictan otras disposiciones. Bogotá, Colombia: 2011. https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/LEY%201438%20DE%202011.pdf
- [32] Ortiz Serrano A. Seguimiento a la implementación y cumplimiento del Protocolo de Atención Integral en Salud a Víctimas de Violencia Sexual. Bogotá, Colombia: 2013. <https://www.minsalud.gov.co/salud/publica/ssr/Paginas/Ruta-de-atencion-integral-para-victimas-de-violencias-de-genero.aspx>

Deterioro cognitivo, ¿indispensable evaluar en una comunidad tercermundista?

Cognitive impairment, is it essential to evaluate in a third world community?

Ana Consuelo Tascón*  Gloria Inés Rodas  María José Lozano  Juan David Peñaranda 

Acceso Abierto

*Correspondencia:

atascon@uceva.edu.co
Facultad de Ciencias de la Salud.
Unidad Central del Valle del Cauca-
UCEVA.

Sometido: 25-04-2021

Aceptado para publicación:
27-06-2021

Publicado online: 20-09-2021

Palabras clave:

Adulto mayor;
Cognición;
Demencia;
SAGE;
Test cognitivos breves.

Key words:

Brief cognitive tests;
Cognition;
Dementia;
Elderly;
SAGE.

Resumen

El objetivo de la presente investigación fue encontrar el déficit cognitivo aplicando el cuestionario SAGE en una población ≥ 60 años de edad, cuyos factores de inclusión fueron: *i*) saber leer; *ii*) saber escribir; *iii*) entender y firmar el consentimiento informado; *iv*) ser residente en el municipio de San Pedro-Valle del Cauca, Colombia; *v*) no presentar antecedentes psiquiátricos o estar en manejo psicológico y/o tratamiento psiquiátrico. Se elaboró un estudio descriptivo de corte transversal aplicando el cuestionario SAGE el cual, está diseñado para detectar signos tempranos de deficiencias cognitivas, de memoria o de pensamiento. El universo obtenido fue de 90 adultos mayores, con datos recolectados directamente en sus viviendas con el respectivo protocolo de distanciamiento social. La edad predominante de la población evaluada fue de 60 y 70 años; en cuanto al nivel de formación académica, se obtuvo que el 35.5% contaba con formación básica primaria, 36.6% con formación básica secundaria, el 3.33% sin escolaridad alguna pero con lectoescritura autónoma, el 14.44% con formación superior universitaria (pregrado) y el 6.67%, con formación de posgrado; datos correlacionados con χ^2 de Pearson = 36.975 con un nivel de significancia $p < 0.001$. En el análisis del objetivo de la investigación, se encontró un deterioro cognitivo del 76.7% de la población y 23.3% sin deterioro cognitivo.

Abstract

The aim of this research was to find a cognitive deficit applying the SAGE questionnaire in a population ≥ 60 years of age, whose inclusion factors were: *i*) knowing how to read; *ii*) know how to write; *iii*) understand and sign the informed consent; *iv*) be a resident of the municipality of San Pedro-Valle del Cauca, Colombia; *v*) not having a psychiatric history or being in psychological management and/or psychiatric treatment. A descriptive cross-sectional study was developed applying the SAGE questionnaire, which is designed to detect early signs of cognitive, memory or thinking deficiencies. The universe obtained was of 90 older adults, with data collected directly from their homes with the respective social distancing protocol. The predominant age of the evaluated population was 60 and 70 years; Regarding the level of academic training, it was found that 35.5% had basic primary training, 36.6% had basic secondary training, 3.33% had no schooling but with autonomous literacy, 14.44% had higher university training (undergraduate) and the 6.67%, with postgraduate training; data correlated with Pearson's $\chi^2 = 36.975$ with a significance level of $p < 0.001$. In the research objective analysis, a cognitive impairment of 76.7% of the population and 23.3% without cognitive impairment, was found.

Introducción

La Población de América Latina y el Caribe (ALC) está envejeciendo a un ritmo acelerado. Según estimaciones de las Naciones Unidas, se proyecta que la población mayor de 60 años en la región, pase de un nivel actual del 11% al 25% en un lapso de 35 años; casi la mitad de tiempo de lo que tardó Europa en recorrer el mismo camino [1]. La anterior situación, plantea un reto para diseñar políticas de salud pública enfocada al diagnóstico temprano del deterioro cognitivo e instaurar un manejo oportuno.

La OMS en su 73^a reunión del 7 de mayo de 2020, adopta entre sus decisiones, el promover en las políticas de salud pública, el fortalecimiento de los esfuerzos mundiales de envejecimiento saludable [2]. Con base en las anteriores premisas, se puede afirmar que la demencia, constituye una condición prioritaria para la salud pública; el creciente número de personas con algún tipo de demencia y los insuficientes recursos sociosanitarios para su abordaje, hacen necesario desarrollar estrategias específicas para enfrentarla [3].

Las demencias son unas de las patologías más frecuentes en los adultos mayores, causando la pérdida de autonomía de los pacientes y afectando la salud y calidad de vida de sus cuidadores [4]. Como cognición, se entiende la capacidad que permite al ser humano, desarrollar una vida sin dificultad, resolviendo problemas y situaciones, manteniendo un correcto aprendizaje y procesando correctamente la información del ambiente, para recordarla y utilizarla posteriormente [5].

El deterioro cognitivo del paciente anciano, es un síndrome que lleva a un incremento importante de costos sociales y económicos [6]. La conceptualización propuesta por el Manual Diagnóstico y Estadístico de los Trastornos Mentales, en su quinta edición, evidencia los esfuerzos de los últimos años que han intentado dar evolución al concepto y a los criterios diagnósticos para convertirlos en un constructo que presente suficiente utilidad en la práctica profesional [7].

Los test cognitivos breves (TCB), son instrumentos de uso habitual en la práctica clínica para la detección y el cribado del deterioro cognitivo y demencia; los TCB, reúnen características de aplicabilidad y psicométrica mínima [8]. El modelo SAGE para la investigación psicológica social, encuentra una propuesta de enfoque

sintético, en el cual, los métodos cualitativos son aumentativos y cuantitativos; los métodos cualitativos, pueden generar nuevas hipótesis experimentales y, pueden capturar experiencias que, evaden el reduccionismo experimental. Recordando que la psicología social fue fundada en múltiples métodos de investigación en múltiples niveles de análisis [9].

San Pedro-Valle del Cauca, Colombia, cuenta con una población de 18000 habitantes, cuya pirámide poblacional mayor, se encuentra actualmente entre los 20 y 50 años, con proyección de aumento progresivo de edad [10]; sirve como modelo para la aplicación de un cuestionario de evaluación cognitiva autoadministrado (SAGE), desarrollado por el Dr. Douglas Scharre, MD., División de Neurología Cognitiva del Centro Médico Wexner de la Universidad Estatal de Ohio y con licencia para BrainTest, diseñado para detectar signos tempranos de deficiencias cognitivas, de memoria o de pensamiento [11].

El cuestionario se utiliza con el objetivo de detectar en la población, deterioro cognitivo, y sus resultados, se socializan con los entes gubernamentales para estimular la aplicación temprana del test para evaluar alteraciones cognitivas y adoptar medidas de prevención del manejo oportuno y a su vez, servir de modelo para que en nuestro medio, otros entes de salud, implementen estas evaluaciones tempranas y periódicas. El objetivo de la presente investigación fue encontrar el déficit cognitivo aplicando el cuestionario SAGE en una población \geq 60 años de edad, cuyos factores de inclusión fueron: *i*) saber leer; *ii*) saber escribir; *iii*) entender y firmar el consentimiento informado; *iv*) ser residente en el municipio de San Pedro-Valle del Cauca, Colombia; *v*) no presentar antecedentes psiquiátricos o estar en manejo psicológico y/o tratamiento psiquiátrico.

Materiales y métodos

Se efectuó una investigación descriptiva cuantitativa transversal, con criterios de inclusión como: *i*) edad \geq 60 años; *ii*) sin patologías psiquiátricas; *iii*) con adecuada lectoescritura; *iv*) entendimiento del cuestionario y con firma previa del consentimiento informado; residente y/o pertenecientes al área urbana y corregimientos aledaños al municipio de San Pedro-Valle del Cauca, Colombia.

La entrevista se efectuó en sus residencias con la presentación del cuestionario SAGE, previamente explicado y entendido; con el debido distanciamiento social. La encuesta fue recolectada directamente por el equipo de investigación del presente estudio; cumplió con los requisitos de confiabilidad, validez y objetividad; teniendo como variable dependiente, el deterioro cognitivo y variables independientes las siguientes: *i*) sexo; *ii*) edad; *iii*) etnia; *iv*) escolaridad; *v*) problemas de memoria o razonamiento; *vi*) prueba de imagen; *vii*) prueba de dibujo; *viii*) fluidez verbal; *ix*) ejecución de uniones y *x*) cuadrados definitivos.

Al terminar cada encuesta, se efectuó el respectivo análisis, si su puntaje sugería un deterioro cognitivo, se procedía a indicar que fuera llevada en medio físico al médico de su respectiva Empresa Prestadora de salud (EPS), con el fin de llevar a cabo el diagnóstico definitivo. Adicionalmente, se dio a conocer a la población objeto de estudio, que se hace referencia a un cribado y que requiere la valoración definitiva del personal de salud implicado (sicólogo(a), trabajador social (a), psiquiatra). El riesgo de sesgos de selección se evitó incluyendo todos los adultos mayores que cumplieron con los criterios de inclusión y aceptaron firmar el consentimiento informado.

Análisis de datos

Los datos recolectados en los cuestionarios, fueron llevados a una base de datos Microsoft Office Excel®, a partir de aquí, se exportaron al paquete estadístico SPSS®, donde se procesaron finalmente. Las variables cuantitativas, se describieron de acuerdo con su distribución con promedios y desviación estándar o medianas y rangos intercuartiles. Las variables categóricas se expresaron en frecuencias y proporciones; adicionalmente, fueron comparadas usando la prueba de Chi² de Pearson con un nivel de significancia $p < 0.001$.

Resultados

La Tabla 1, presenta la edad por decenios de la población objetivo localizada en el municipio de San Pedro-Valle del Cauca, Colombia.

Tabla 1. Valoración de la edad de la población estudiada (≥ 60 años)

Frecuencia de edad por decenios	Frecuencia	%	% válido	% acumulado
Válido 60-70	51	56.7	56.7	56.7
71-80	29	32.2	32.2	88.9
81-90	9	10.0	10.0	98.9
91-92	1	1.1	1.1	100.0
Total	90	100.0	100.0	

Los resultados de los objetivos específicos obtenidos (Figura 1) fueron expresados como sigue: la edad predominante de los 90 entrevistados fue de 51 adultos entre los 60 y 70 años de edad con un porcentaje del 56.7%.

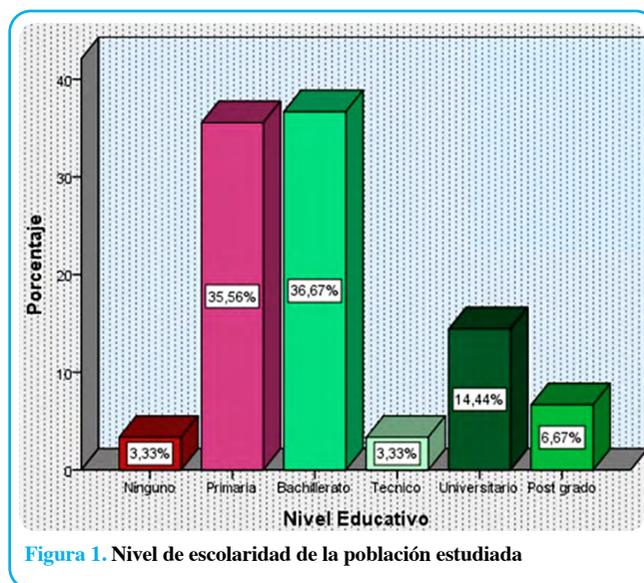


Figura 1. Nivel de escolaridad de la población estudiada

Se encontraron tres (3) adultos sin escolaridad, que representan el 3.3% de la población entrevistada; estos adultos mayores participaron del estudio porque aunque no poseían una educación formal, sabían leer y escribir por autoaprendizaje. La mayor población entrevistada, presentó un nivel de formación primaria del 35.5% y formación básica secundaria del 36.6%, respectivamente (Figura 1; Tabla 2).

Tabla 2. Nivel de escolaridad presentado por la población estudiada

Edad en decenios	Nivel de escolaridad						Total
	Ninguna	Primaria	Bachiller	Técnico	Universitario	Posgrado	
60-70	1	9	26	1	11	3	51
71-80	0	18	5	1	2	3	29
81-90	2	4	2	1	0	0	9
91-92	0	1	0	0	0	0	1
Total	3	32	33	3	13	6	90

La Tabla 3, expone la tabulación cruzada entre la edad de la población estudiada (≥ 60 años) y el nivel de escolaridad exhibido; encontrándose que ante menor edad, mayor nivel de escolaridad se presenta con un χ^2 representativo (Tabla 3).

Tabla 3. Pruebas de Chi cuadrado para el nivel de escolaridad de la población estudiada.

Prueba de χ^2	Valor	GL*	S.A.**
Chi-cuadrado de Pearson	36.975 ^a	15	0.001
N de casos válidos	90		

*GL= Grados de libertad; **S.A.= Significancia asintótica a dos caras.

La Figura 2 presenta la puntuación SAGE obtenida de la población estudiada (≥ 60 años) perteneciente al municipio de San Pedro-Valle del Cauca, Colombia.

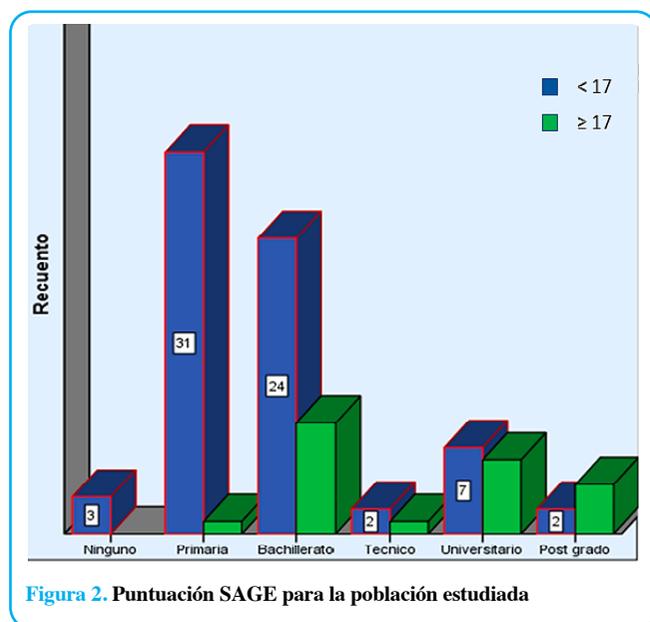


Figura 2. Puntuación SAGE para la población estudiada

Con base en la información obtenida en la Figura 2, se delimitó la información expuesta en la Tabla 4.

Tabla 4. Puntuación SAGE para la población estudiada (≥ 60 años).

Puntuación SAGE	Valor	GL*	S.A.**
Chi-cuadrado de Pearson	18.755 ^a	5	0.002
Razón de verosimilitud	20.814	5	0.001
Asociación lineal por lineal	17.431	1	0.00
N de casos válidos	90		

*GL= Grados de libertad; **S.A.= Significancia asintótica a dos caras.

Con un χ^2 representativo de 18.75 y un valor de significancia $p=0.002$, se encontró la asociación del nivel de escolaridad en la población estudiada (≥ 60 años) perteneciente al municipio de San Pedro-Valle del Cauca, Colombia con el nivel de escolaridad, exhibiendo una correlación de puntuación SAGE que se incrementaba con el nivel de escolaridad, en la medida que el nivel de escolaridad fuera bajo, la puntuación SAGE se hacía levemente baja, exceptuando los tres (3) entrevistados que no presentaban educación formal, quienes evidenciaron un SAGE bajo (Figura 2).

El objetivo de la presente investigación, se analizó con la sumatoria de los puntos asignados en SAGE, los cuales son como sigue: *i*) orientación = 4 (mes, día, año); *ii*) imagen = 2; *iii*) similitudes= 2; *iv*) cálculo matemático = 1; *v*) segundo cálculo matemático =1; *vi*) memoria=2, otorgándole el punto en el numeral *xii*; *vii*) construcción de líneas paralelas = 2; *viii*) =2 reloj; *ix*) fluidez verbal= 2; *x*)= 2, conexión de puntos; *xi*) resolución de problemas (mover y/o marcar líneas) = 2; *xii*) memoria = 2, con puntos totales de 22. En los ítems correspondientes para la sumatoria del SAGE, se consideró estado cognitivo normal, la sumatoria de 17; <17, se considera un adulto

con deterioro cognitivo. La investigación encontró una puntuación de SAGE para la comunidad entrevistada de 76.67% con una puntuación SAGE <17; solo el 23.33% de la población estudiada, presentó SAGE normal (Tabla 5).

Tabla 5. Puntuación SAGE para la población estudiada (90 adultos mayores \geq 60 años).

Puntuación SAGE	Frecuencia	%	% válido	% acumulado
Válido <17	69	76.7	76.7	76.7
\geq 17	21	23.3	23.3	100.0
Total	90	100	100	

Los entrevistados con SAGE <17, se remitieron para efectuar un diagnóstico adecuado con explicación previa relacionada con el cuestionario SAGE era un cribado y es indispensable para efectuar una consulta especializada para su diagnóstico definitivo.

Discusión

Los inconvenientes presentados al aplicar el cuestionario SAGE son el de saber leer y escribir (aunque participaron entrevistados sin escolaridad alguna pero con auto aprendizaje). La población estudiada, elevó peticiones alrededor del tiempo de duración del cuestionario; afirmaron que el tiempo que se tomaban era de 15 minutos y que resultaba relativamente poco, aunque exhibían habilidades de lectura y escritura; para ellos, el ejercicio de aplicación del cuestionario SAGE, se traducía en una dificultad para entender varios ítems. Sin embargo, el mayor inconveniente, se presenta por el distanciamiento social en virtud de la Covid-19, donde la mayoría de la población, se encontraba reacia a entrevistas del personal de salud. La razón de encontrarse deterioro cognitivo más alto que los estudios investigados 76.7% diferente al 46.5% obtenido por Alvarado et al. [12], al 41.7% evidenciado por Pedraza et al. [13] y al 45.5% de Alegría et al. [14]. Se deduce entonces que es por la anterior premisa que, se sugiere efectuar este tipo de estudios aplicando el cuestionario SAGE y configurando ajustes de acuerdo al factor sociocultural de la población evaluada.

La gran importancia del estudio se debe a: *i*) estimula al personal de salud pública a organizar programas específicos para encontrar tempranamente de forma rutinaria, en la comunidad, factores de riesgo de deterioro

cognitivo en línea con lo planteado en la literatura especializada [15–20]; *ii*) estudia y pone en práctica los factores protectores de la alteración cognitiva [15,21] y *iii*) entiende el riesgo de esta comunidad de adultos de manera oportuna, para organizar evaluaciones periódicas y constantes en la población que envejece y tempranamente, iniciar la debida prevención y establecer los respectivos protocolos de manejo apropiado y oportuno de esta problemática, que se está presentando e incrementando su incidencia, con el paso del tiempo.

Conclusión

Es prioritario tener en cuenta la evaluación cognitiva de los adultos mayores (\geq 60 años de edad) para la elaboración de programas de salud pública, debido al alto porcentaje de deterioro cognitivo encontrado en este estudio (76.67%) con base en la aplicación del cuestionario SAGE en el municipio de San Pedro, Valle del Cauca, Colombia y se sugiere elaborar estudios similares que sirvan de modelos para iniciar de manera rutinaria, este tipo de screening.

Consentimiento para publicación

Los autores leyeron y aprobaron la versión final del manuscrito.

Conflicto de interés

Los autores declaran no tener conflicto de interés. Este documento solo refleja el punto de vista de los autores y no el de la Institución a la que pertenecen.

Perfil de autoría

Ana Consuelo Tascón de Peñaranda

Médica y cirujana de la Universidad del Cauca, cuenta con Especialización en Pediatría de la Universidad del Valle y estudios de Maestría en Epidemiología en la Universidad del Valle. Posee experiencia laboral como médico general desde 1980; como médico pediatra desde 1986, y Epidemióloga, desde mayo de 2005. Cuenta además con experiencia específica en el ámbito educativo universitario en Pediatría e Investigación Social desde el año 2002, hasta la fecha.



Gloria Inés Rodas Muñoz

Enfermera de profesión, es Especialista en Cuidado Psicoespiritual, Especialista en Docencia Universitaria y Magister en Cuidado del Adulto Mayor, cuenta con amplia experiencia en sus áreas de formación y se encuentra vinculada a la Facultad de Ciencias de la Salud de la Unidad Central del Valle del Cauca-UCEVA, desde el año 2011, en calidad de Docente Tiempo Completo.



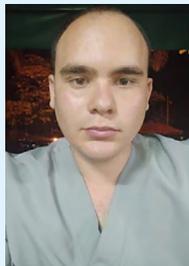
María José Lozano Peñaranda

Actualmente está cursando el programa de Medicina (próxima a graduarse) adscrito a la facultad de Ciencias de la Salud de la Unidad Central del Valle del Cauca-UCEVA, siente gran interés por la Investigación Social en Salud aplicada a poblaciones vulnerables.



Juan David Peñaranda Meléndez

actualmente está cursando el programa de Medicina (próximo a graduarse) adscrito a la Facultad de Ciencias de la Salud de la Unidad Central del Valle del Cauca-UCEVA, siente gran interés por la Investigación Social en Salud aplicada a poblaciones vulnerables y temas relacionados con Salud Pública.



Referencias

- [1] Aranco N, Stampini M, Ibararán P, Medellín N. Panorama de envejecimiento y dependencia en América Latina y el Caribe. Washington, D.C.: 2018. <https://doi.org/10.18235/0000984>.
- [2] Organización Mundial de la Salud (OMS). Decisiones de la 73.a Asamblea Mundial de la Salud. Decenio Del Envejecimiento Saludable 2020. <https://www.who.int/es/news/item/07-08-2020-73rd-world-health-assembly-decisions>.
- [3] Gajardo J. J, Teresa Abusleme L. M. Plan nacional de demencias: antecedentes globales y síntesis de la estrategia chilena. *Revista Médica Clínica Las Condes* 2016;27:286–96. <https://doi.org/10.1016/J.RMCLC.2016.06.003>.
- [4] Molina D. M. El rol de la evaluación neuropsicológica en el diagnóstico y en el seguimiento de las demencias. *Revista Médica Clínica Las Condes* 2016;27:319–31. <https://doi.org/10.1016/J.RMCLC.2016.06.006>.
- [5] Gutierrez Rodríguez J, Guzmán Gutierrez G. Definición y prevalencia del deterioro cognitivo leve. *Revista Española de Geriatria y Gerontología* 2017;52:3–6. [https://doi.org/10.1016/S0211-139X\(18\)30072-6](https://doi.org/10.1016/S0211-139X(18)30072-6)
- [6] Benavides Caro C. Deterioro cognitivo en el adulto mayor. *Revista Mexicana de Anestesiología* 2017;40:107–12. <https://www.medigraphic.com/pdfs/rma/cma-2017/cma172f.pdf>
- [7] González Palau F, Buonanotte F, Cáceres MM. Del deterioro cognitivo leve al trastorno neurocognitivo menor: avances en torno al constructo. *Neurología Argentina* 2015;7:51–8. <https://doi.org/10.1016/j.neuarg.2014.08.004>.
- [8] Carnero-Pardo C. ¿Es hora de jubilar al Mini-Mental? *Neurología* 2014;29:473–81. <https://doi.org/10.1016/j.nrl.2013.07.003>.
- [9] Power SA, Velez G, Qadafi A, Tennant J. The SAGE model of social psychological research. *Perspectives on Psychological Science* 2018;13:359–72. <https://doi.org/10.1177/1745691617734863>.
- [10] Tascón Lozano A. Análisis Situacional de Salud A.S.I.S. Municipio de San Pedro-Valle del Cauca. San Pedro-Valle Del Cauca: 2018. <https://www.valledelcauca.gov.co/loader.php?lServicio=Tools2&lTipo=viewpdf&id=29541>
- [11] The Ohio State University. Wexner Medical Center. SAGE: A Test to Detect Signs of Alzheimer’s and Dementia Catch memory problems early, take the SAGE test. SAGE Test 2007. <https://wexnermedical.osu.edu/brain-spine-neuro/memory-disorders/sage>.
- [12] Alvarado C, Gómez JF, Etayo E, Giraldo CE, Pineda A, Toro E. Estudio EDECO Estudio poblacional de deterioro cognitivo en población colombiana. *Acta Med Colomb* 2014;39:264–71. <http://www.scielo.org.co/pdf/amc/v39n3/v39n3a10.pdf>

- [13] Pedraza-Linares OL, Cedeño-Izquierdo MI, Sarmiento-Borda LC, Santamaría-Ávila LA, González-Arteaga JJ, Salazar-Montes AM, et al. Progresión del deterioro cognitivo y su relación con factores de riesgo modificables en una cohorte de adultos de bogotá. *Acta Médica Colombiana* 2019;44:66–74. <https://doi.org/10.36104/amc.2019.1221>.
- [14] Alegría M, NeMoyer A, Falgàs Bagué I, Wang Y, Alvarez K. Social Determinants of Mental Health: Where We Are and Where We Need to Go. *Current Psychiatry Reports* 2018;20:95. <https://doi.org/10.1007/s11920-018-0969-9>.
- [15] Maldonado Briegas JJ, Sánchez Iglesias AI, Ballester SG, Vicente Castro F. The Well-Being of the Elderly: Memory and Aging. *Frontiers in Psychology* 2020;11:778. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.00778>.
- [16] USMA I. Deterioro Cognitivo Leve y Enfermedad de Alzheimer: Revisión de conceptos. *Investigación y Pensamiento Crítico* 2017;5:53–82. <https://doi.org/10.37387/ipc.v5i2.70>.
- [17] Oviedo D. Deterioro cognitivo leve y enfermedad de Alzheimer: Revisión de conceptos. *Investigación Y Pensamiento Crítico* 2016;4:61–91. <https://revistas.usma.ac.pa/ojs/index.php/ipc/article/view/106>
- [18] Lu PH, Lee GJ. The Role of Neuropsychology in the Assessment of the Cognitively Impaired Elderly. *Neurologic Clinics* 2017;35:191–206. <https://doi.org/10.1016/j.ncl.2017.01.002>.
- [19] Martínez-Sanguinetti MA, Leiva AM, Petermann-Rocha F, Troncoso-Pantoja C, Villagrán M, Lanuza-Rilling F, et al. Factores asociados al deterioro cognitivo en personas mayores en Chile. *Revista Médica de Chile* 2019;147:1013–23. <https://doi.org/10.4067/S0034-98872019000801013>.
- [20] Cancino M, Rehbein L. Factores de riesgo y precursores del Deterioro Cognitivo Leve (DCL): Una mirada sinóptica. *Terapia Psicológica* 2016;34:183–9. <https://doi.org/10.4067/S0718-48082016000300002>.
- [21] Vicente Castro F, Maldonado Briegas JJ, González Ballester S, Sánchez Iglesias AI. La realidad de la memoria en mayores saludables y envejeciendo. Memoria, envejecimiento y longevidad. *International Journal of Developmental and Educational Psychology Revista INFAD de Psicología* 2018;1:42–54. <https://doi.org/10.17060/ijodaep.2018.n2.v1.1355>.

La investigación pedagógica formativa como estrategia pedagógica para desarrollar el potencial de aprendizaje y pensamiento científico

The formative pedagogical research as pedagogical strategy for developing the learning potential and scientific thinking

Giovanni Marcelo Iafrancesco Villegas 

Acceso Abierto

*Correspondencia:

g_iafrancesco@yahoo.com
Corporación Internacional Pedagogía
y Escuela Transformadora CORIPET

Sometido: 17-04-2021
Aceptado para publicación:
25-05-2021
Publicado online: 09-09-2021

Palabras clave:

Calidad educativa;
construcción del conocimiento;
estrategias pedagógicas;
investigación pedagógica formativa;
procesos investigativos.

Key words:

Educational quality;
knowledge construction;
pedagogical strategies;
formative pedagogical research;
investigative processes.

Resumen

El objetivo de esta reflexión es establecer los lineamientos mínimos y orientaciones básicas para la elaboración y presentación de proyectos de Investigación Pedagógica Formativa (IPF). Se exponen las estrategias pedagógicas que facilitan los diversos procesos investigativos que apoyados en la IPF, forman nuevos investigadores. El mejorar la calidad educativa, los procesos de formación integral y de autoaprendizaje, supone intensificar la investigación en las Instituciones de Educación Superior (IES) y contribuir además con la práctica educativa y formativa. El aumentar la calidad de la actividad educativa e intensificar la investigación científica y tecnológica desde ella, supone también, una reconsideración de la investigación educativa y pedagógica, un cambio de óptica, tratando de formar a los investigadores actuales para que formen nuevos investigadores, con herramientas cognitivas pertinentes y con estrategias pedagógicas que aseguren el relevo generacional propio de las comunidades académicas e investigadoras.

Abstract

The aim of this reflection is to establish the minimum guidelines and basic orientations for the elaboration and presentation of Formative Pedagogical Research (FPR) projects. Some pedagogical strategies that facilitate the various investigative processes that, supported by FPR, form new researchers, are exposed. Improving educational quality, comprehensive training and self-learning processes, means intensifying research in Higher Education Institutions (HEI) and also contributing to educational and training practice. Increasing the quality of educational activity and intensifying scientific and technological research from it also supposes a reconsideration of educational and pedagogical research, a change of perspective, trying to train current researchers to train new researchers, with relevant cognitive tools and pedagogical strategies that ensure the generational renewal of the academic and research communities.

Introducción

La investigación en educación y pedagogía tiene dos impactos centrales: *i*) producir conocimiento y comprensión sobre la educación al estudiar problemas, tales como los relacionados con la educación y la formación del ser humano en contextos claramente caracterizados o, los relacionados con los procesos de construcción del conocimiento y *ii*) producir nuevo saber en las ciencias y de las disciplinas del saber y, de las construcciones conceptuales que en las mismas se promueven desde la formación de las múltiples inteligencias a través de la gestión y evaluación curricular en las instituciones educativas de todo carácter y nivel [1].

la Investigación Pedagógica Formativa (IPF), propicia las condiciones necesarias para la formación de nuevos investigadores [2], fomenta la creación de ambientes propicios para la investigación y el desarrollo científico y se caracteriza por lo siguiente: *i*) ser realizada por el educador mediador sobre sus educandos y sobre sus diferentes procesos de desarrollo, de forma específica o de forma integral; *ii*) ser operada en los espacios dinámicos de formación institucional y en las aulas de clase en los procesos de aprendizaje; *iii*) ser teórica, práctica, o teórico-práctica; *iv*) tener carácter científico, pedagógico, o científico-pedagógico; *v*) fundamentarse en la observación sistemática, estructurada o no estructurada, denotativa o connotativa, experimental, cualitativa o cuantitativa, paramétrica o no paramétrica; *vi*) hacerse de forma descriptiva-interpretativa o, analítica-argumentativa o, predictiva-propositiva y, realizarse aplicando diseños metodológicos pre-experimentales, cuasi-experimentales y experimentales con criterios de validez y confiabilidad, o con diseños metodológicos no experimentales; más descriptivos, interpretativos, críticos y analíticos con, criterios de credibilidad, transferibilidad y comprobabilidad [3].

Formar profesionales nuevos que den respuestas nuevas a las condiciones nuevas del continuo devenir, autogestionarios, proactivos, protagónicos, comprometidos, laboriosos, productivos, ingeniosos, creativos, innovadores, inventores, con pensamiento divergente y capacidad de solucionar problemas, solo se logra desde la investigación pedagógica que les permita desarrollar su potencial de aprendizaje y su

pensamiento científico [4], con una formación humana y social, con inteligencia emocional, pero acompañada de unas habilidades mentales de alto nivel, que superen el conocimiento, su comprensión, su aplicación, su análisis y su síntesis, con la investigación, la caracterización y resolución de problemas, la creación de nuevos recursos, métodos, técnicas, procesos, programas y proyectos que mejoren la calidad de vida de las personas y de las comunidades de todo estrato social y respondan, con coherencia y pertinencia, a sus verdaderas necesidades [5].

La presente reflexión aborda el contexto de las estrategias pedagógicas que facilitan los diversos procesos investigativos que apoyados en la Investigación Pedagógica Formativa, propicie la formación de nuevos investigadores con pensamiento científico.

La Investigación Pedagógica Formativa (IPF)

Desde la perspectiva de la propuesta de Educación, Escuela y Pedagogía Transformadora (EEPT), el término investigación, significa: *“ir tras los vestigios y consultar e indagar, con persistencia sistemática, un conocimiento deseado, definiendo campos, objetos, métodos, niveles, tipos, modalidades, estilos, enfoques y diseños metodológicos, con el propósito de contextualizar los problemas y, produciendo nuevo saber, intentar resolverlos, de forma provisional o de forma definitiva”* [6].

Este término investigación, se aplica también a la educación, a la formación y a la pedagogía y, por este motivo, la Investigación Pedagógica Formativa –IPF–, se convierte en la estrategia más apropiada para producir el mejoramiento continuo y ayudar a la calidad y a la excelencia, en todas las instancias de la educación, de todo carácter y nivel y, en todas sus modalidades.

La IPF, de acuerdo con lafrancesco Villegas [2], se define como el proceso creativo, constructivo, riguroso, objetivo, controlado y crítico, que sobre la base del conocimiento educativo y pedagógico disponible, busca resolver problemas, produciendo conocimiento y estrategias, para mejorar los procesos formativos y sus resultados, con coherencia y con pertinencia social y cultural [2].

Es necesario que en las Instituciones de Educación Superior (IES) se creen programas y líneas de investigación, articuladas entre sí, a través de núcleos problemáticos y temáticos, que se desarrollen mediante proyectos y trabajos de investigación, de forma holística. La estructuración por núcleos problemáticos y temáticos, puesta en marcha, desarrollo, implementación y consolidación de los programas, las líneas, los proyectos y los trabajos de investigación, dependen, en gran medida, de la formación de los educadores mediadores investigadores, de su vocación educativa, formativa y científica, de su profesión docente, de su trabajo permanente con la formación de las nuevas generaciones y, del empeño diario por desarrollar excelentes procesos de enseñanza-aprendizaje, sin dejar de lado, claro está, las responsabilidades políticas de los Estados frente a la educación y, los recursos institucionales relacionados con el servicio de la investigación dentro de este proceso investigativo educativo, formativo y pedagógico [6].

Las funciones cognitivas

Para poder desarrollar inteligentemente los requisitos exigidos en un proyecto de investigación, no solo basta con saber las partes que comprenden un proyecto (éstas por lo general, no cambian), depende de la complejidad del problema de investigación y de los métodos empleados para poder resolverlo [2]; en este escenario, se logran evidenciar estructuras cognitivas en el tipo de inteligencia del investigador (lógico-matemática, naturalística o científica, espacio-temporal, lingüística, kinestésica, musical, ético-moral y emocional), en el desarrollo de sus funciones cognitivas, de sus procesos de pensamiento, de sus operaciones intelectivas y de sus competencias cognitivas, con las cuales puede definir el alcance del proyecto de investigación e incluso, las limitaciones que éste tendría por la carencia de recursos cognitivos para mejorar la calidad de

solución a los siguientes problemas de funcionamiento cognitivo: *i)* previo al proceso investigativo; *ii)* durante la elaboración conceptual; *iii)* en el manejo de los diseños metodológicos de investigación y *iv)* durante la exposición, socialización o sustentación de los proyectos desarrollados.

Algunas de las deficiencias más comunes de funcionamiento cognitivo que tienen los educandos que no han sido formados en investigación (Figura 1) son: *i)* la percepción fragmentada y/o distorsionada; *ii)* la carencia de recursos verbales o de habilidades lingüísticas previas; *iii)* la impulsividad; *iv)* la inadecuada orientación espacial y/o temporal; *v)* la dificultad para conservar lo esencial de lo observado y percibido; *vi)* la imprecisión e inexactitud en la recolección de información y en la organización de la misma (Figura 1).

Algunas de las deficiencias más comunes de funcionamiento cognitivo que tienen los educandos durante la elaboración conceptual y el manejo de los diseños metodológicos de investigación (Figura 1) son: *i)* el no poder establecer relaciones entre datos o informaciones; *ii)* la imposibilidad de caracterizar; *iii)* la imposibilidad de seleccionar datos relevantes e importantes; *iv)* la dificultad para hacer comparaciones; *v)* la estrechez del campo mental; *vi)* la dificultad para globalizar y generalizar; *vii)* la dificultad para establecer relaciones lógicas causa-efecto; *viii)* la imposibilidad para evaluar las propias actitudes y comportamientos; *ix)* la dificultad para formular hipótesis y hacer inferencias; *x)* la imposibilidad de demostrar, comprobar o verificar hipótesis; *xi)* la dificultad para planear, programar y llevar a cabo lo planeado y programado; *xii)* la rigidez para trabajar intelectualmente desde solamente una categoría cognitiva; *xiii)* la dificultad para construir síntesis conceptuales y sacar conclusiones; *xiv)* la imposibilidad de establecer relaciones virtuales (Figura 1).

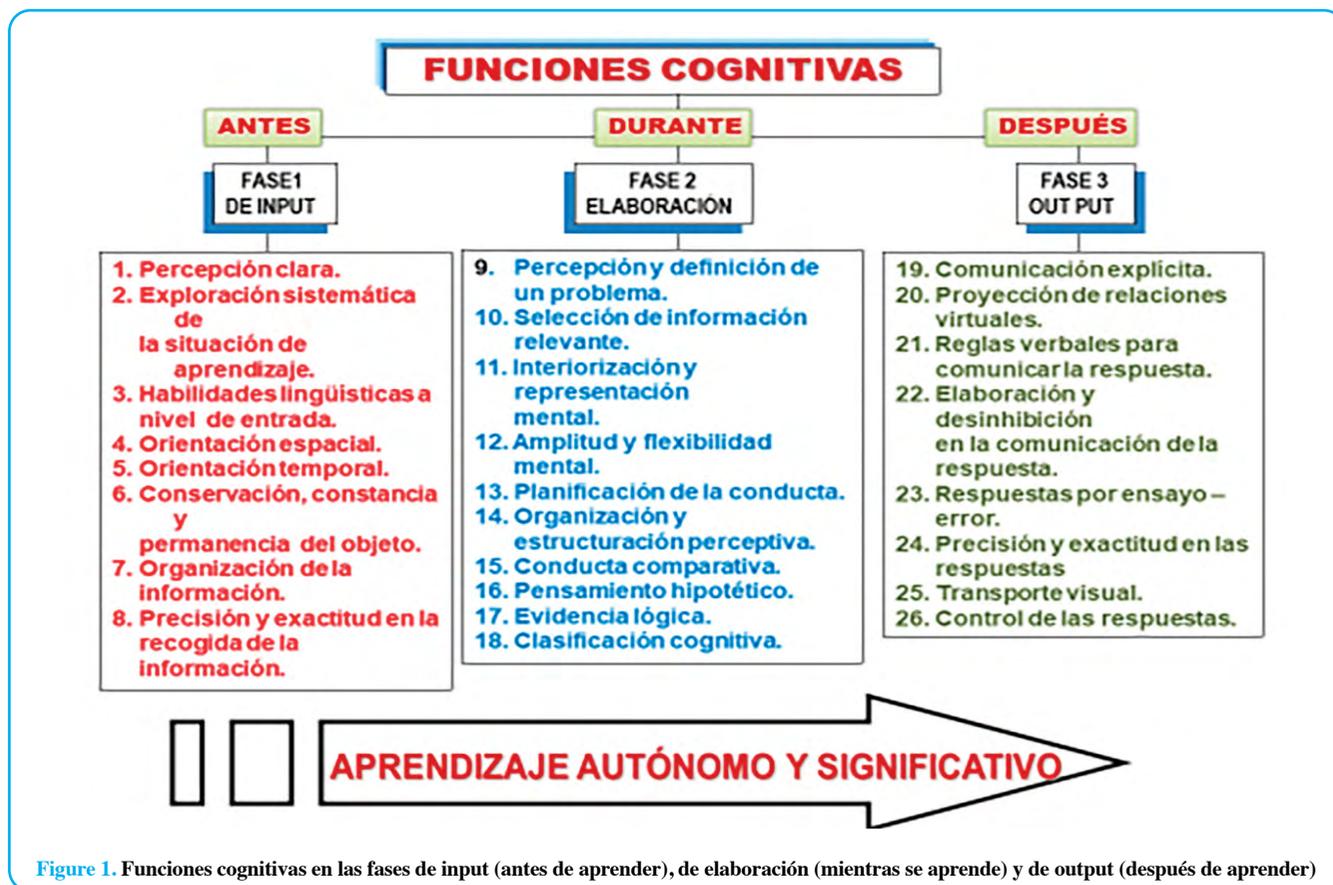


Figure 1. Funciones cognitivas en las fases de input (antes de aprender), de elaboración (mientras se aprende) y de output (después de aprender)

Operaciones intelectivas

El desarrollar las 26 funciones cognitivas expuestas en la Figura 1, permite a los educandos formados como investigadores, desempeñar las operaciones intelectivas que se enseñan en la Tabla 1. Todos estos procesos cognitivos, si son deficientes, generan problemas de aprendizaje, como también actitudinales frente al conocimiento y de incertidumbre durante los trabajos prácticos que se realizan. La investigación, con su organización lógica y coherente, con el proceso de indagación que demanda la caracterización de problemas y su resolución, denota la necesidad que implica formular objetivos y estrategias para alcanzarlos, con la necesidad de una revisión rigurosa, coherente y apropiada, con la necesidad de utilizar métodos pertinentes y desarrollar estrategias inteligentes para ser eficiente, eficaz y efectivo en la forma de resolver los problemas; termina convirtiéndose en el mejor espacio y escenario de formación cognitiva, desde la misma práctica investigativa y, por lo tanto, es un excelente recurso pedagógico para mejorar los procesos de pensamiento de los educandos,

en situaciones concretas, a manera de estudios interpretativos de casos (Tabla 1).

Esta es la función de la Investigación Pedagógica Formativa (IPF), *se aprende investigando y se investiga aprendiendo*, puesto que siempre el resultado será diferente [2]. Por eso, los expertos son inversamente proporcionales a los científicos, debido a que, quien utiliza el mismo método para todo, refleja que solo conoce el método y que desvirtúa los problemas que no puede resolver con el único método que conoce. El científico investiga, no solo desde la teoría, las leyes y los principios, sino desde los procesos y métodos que debe emplear, de forma específica, en cada situación problema [5].

La alternativa

Desde la perspectiva cognitiva y desde la visión dada sobre las funciones cognitivas y las operaciones intelectivas que pueden expresarse en las diferentes inteligencias, se demuestra que la investigación permite el desarrollo de la cognición [7].

Tabla 1 Caracterización de las operaciones intelectivas

No.	Operación intelectual	Definición y/o alcance
1	Identificación	Equivale al reconocimiento de una realidad por sus características globales recogidas en un término que la define y la describe
2	Diferenciación	Equivale al reconocimiento de algo por sus características, distinguiendo las que son esenciales de las que son irrelevantes en cada situación de la que dependen
3	Representación mental	Consiste en la interiorización de características de un objeto de conocimiento, sea éste concreto o abstracto. No es la fotografía mental del objeto, sino la representación de los rasgos esenciales que permiten definirlo como tal
4	Transformación mental	Equivale a la actitud cognitiva a través de la cual podemos modificar o combinar características de un objeto, o de varios objetos, para producir representaciones de mayor grado de abstracción o de complejidad
5	Comparación	Equivale a la operación mental o intelectual en la que, partiendo de una percepción clara y estable, se estudian las semejanzas y diferencias entre objetos, o hechos, atendiendo a sus características
6	Clasificación	Equivale a la reunión de grupos de elementos de acuerdo con atributos definitorios, basada en criterios arbitrarios, naturales o artificiales, según se realicen sobre cosas, hechos o conceptos
7	Codificación-decodificación	Consiste en establecer símbolos o interpretarlos, de tal modo, que no dejen lugar a la ambigüedad. Esta operación mental permite dar amplitud a los términos y símbolos, a medida que aumenta el nivel de abstracción
8	Proyección de relaciones virtuales	Consiste en la proyección mental de estímulos externos, percibidos en forma de unidades organizadas de información y, que luego proyectamos mentalmente ante estímulos semejantes, mediante imágenes, ocupando con ellas un lugar en el espacio
9	Análisis y la síntesis	Como formas de percibir la realidad, de manera deductiva e inductiva respectivamente, del todo a las partes o de las partes al todo, de lo general a lo particular o de lo particular a lo general, que permiten descomponer un todo en sus elementos estructurales constitutivos (análisis) y relacionándolos entre sí y con el todo (síntesis), para generar inferencias: Los análisis permiten y facilitan la síntesis
10	Inferencia lógica	Consiste en la capacidad para realizar deducciones y crear nueva información a partir de los datos percibidos
11	Razonamiento analógico	Es equivalente al razonamiento proporcional, basado en los argumentos inductivos, dentro de un ámbito “tolerante extenso”, que permite, dados tres términos de una proporción, determinar el cuarto por deducción de la semejanza. Por lo general, el razonamiento analógico no se acepta como argumento demostrativo, pero sí como descubrimiento y como muestra de convicción.
12	Razonamiento hipotético	Equivalente a la capacidad mental de realizar inferencias y predicciones de situaciones o hechos a partir de los ya conocidos y, de las leyes que los regulan y relacionan
13	Razonamiento silogístico	Equivale a la capacidad mental que le permite a una persona llegar a una verdad lógica, surgida ésta, de la propia construcción mental, mediante el ejercicio del pensamiento lógico y el desarrollo de la capacidad de construir modelos mentales, de situaciones o escenarios dados, ayudándose de las leyes de la lógica
14	Razonamiento divergente	Es equivalente a la capacidad de establecer nuevas relaciones sobre lo que ya se conoce, de modo que se llegue a productos nuevos, en forma de ideas, conceptos, realizaciones o fantasías. Está asociado a lo inusual, a la flexibilidad mental, al ingenio, a la creatividad, a la capacidad de innovación e invención, en contraposición al razonamiento convergente que se genera del dominio riguroso de los datos, de la precisión, de la exactitud, del rigor científico y de lo convencional y ya establecido
15	Razonamiento lógico	Puede considerarse como una representación de una representación de acciones posibles, propia del pensamiento formal, del buen pensar, de la organización del pensamiento que llega a la verdad lógica gracias a diversas formas de razonamiento, entre ellas, el inferencial, el hipotético y el silogístico

Solo hay que ir de lo sencillo a lo complejo, de forma secuencial, organizada, acumulativa, que permita el desarrollo progresivo para asegurar el mejoramiento continuo, el desarrollo del potencial de aprendizaje y la capacidad transformadora de quien, frente a los problemas, los resuelve o, por lo menos, plantea posibilidades de resolverlos con pensamiento pre, cuasi o investigativo (antes, mientras y después de aprender). La organización del anteproyecto de investigación, su desarrollo teórico y práctico, su aplicabilidad en situaciones problema, su validación y sus propuestas alternativas para la resolución de los problemas; les permite a los educandos que aprenden a investigar, desarrollar las competencias cognitivas básicas y los procesos de pensamiento científico en cuanto a: *i*) la mecanización; *ii*) la concreción; *iii*) la configuración; *iv*) la abstracción y *v*) la lógica y la formalización (ver Figura 2).



Estos procesos se desarrollan evolutivamente, partiendo de lo simple a lo complejo, de estructuras cognitivas menos consistentes a estructuras cognitivas más consistentes y de forma secuencial, progresiva y acumulativa; los cuales se asocian a la madurez mental y corresponden a los niveles de memoria mecánica, configurativa y lógica y, a los niveles de pensamiento concreto, abstracto y formal [1].

La Investigación Pedagógica Formativa (IPF), se convierte entonces, en un trabajo de formación del pensamiento científico y del desarrollo del potencial de aprendizaje, teniendo en cuenta la madurez de los procesos cognitivos, se convierte también en una excelente estrategia para formar nuevos investigadores y para generar nuevos procesos de transformación en las Vicerrectorías Académicas y de Investigación en las Universidades, transformando el currículo de los programas Académicos, sus planes de estudio, las unidades didácticas desarrolladas en ellos para alcanzar nuevos logros actitudinales, conceptuales y procedimentales que faciliten el desarrollo cognitivo [2].

Estos nuevos profesionales, formados desde esta perspectiva investigativa, se caracterizarán por sus expectativas, intereses, motivación y dedicación a la investigación; con excelente desarrollo de sus procesos de pensamiento, con habilidades mentales, funciones cognitivas y operaciones intelectivas de alto nivel que les permitirá una excelente estructuración y construcción conceptual expresadas en sus competencias cognitivas básicas y sus excelentes desempeños investigativos, evidenciados éstos, en sus hábitos, habilidades y destrezas en el manejo de métodos, técnicas, procesos, procedimientos y estrategias para resolver problemas con eficiencia, eficacia y efectividad, siendo excelentes en su forma de ser (competencias antropológicas), de sentir (competencias afectivas), de actuar (competencias éticas y morales), de vivir (competencias axiológicas y espirituales) y de convivir (competencias sociales y ciudadanas) (Figura 3); lo que los hará ser promotores de paz, vida y convivencia; como también, excelentes en su forma de saber (competencias académicas y científicas), de saber hacer (competencias laborales y ocupacionales), de pensar (competencias cognitivas e intelectivas), de aprender (competencias investigativas y tecnológicas) y de emprender (competencias de liderazgo y emprendimiento), lo que los hará ser promotores de éxito y de los desarrollos sostenible y sustentable, siendo parte de la solución y no del problema (ver Figura 3).

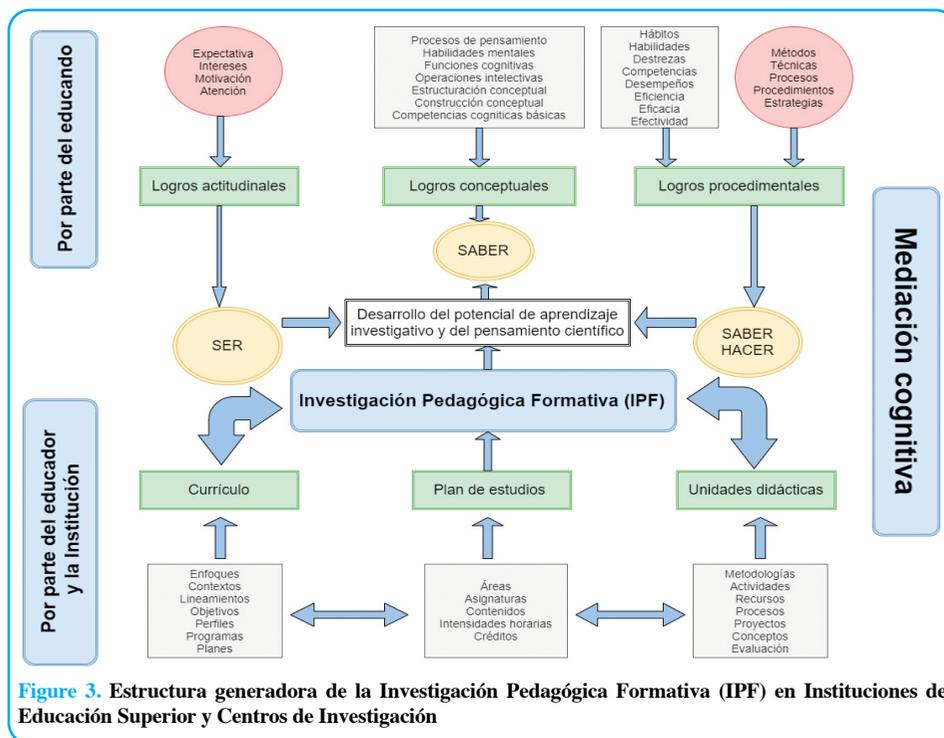


Figure 3. Estructura generadora de la Investigación Pedagógica Formativa (IPF) en Instituciones de Educación Superior y Centros de Investigación

Propuesta de estrategia cognitiva mediada para facilitar la estructuración y evaluación de proyectos de investigación desde la perspectiva (IPF)

Esta estrategia no solo sirve para presentar los proyectos de investigación como se sugiere presentarlos, especialmente sirve para estructurarlos caracterizando muy bien los elementos que integran el proyecto, las funciones de estos elementos dentro del mismo, estableciendo las correctas relaciones entre ellos y con la estructura implícita, lo que le permite dar *coherencia* al proyecto de investigación y, que a lo largo de su organización, elemento por elemento, función por función y relación por relación, les permite asegurar su *pertinencia*.

Características deseables en un proyecto de investigación

Un buen diseño de proyecto de investigación debe poseer las siguientes características: *i)* Es válido, si es pertinente y está adecuado a los fines requeridos por la ciencia, por la pedagogía, por la Institución y por la sociedad; *ii)* económico, si propone las soluciones que exigen menores esfuerzos, tiempos y financiamientos (eficiencia, eficacia,

efectividad) y en lo posible, si es autofinanciable; *iii)* flexible, si permite revisiones y ajustes durante la etapa de desarrollo sin perder de vista los objetivos propuestos y sin restarle calidad y *iv)* formalmente elaborado, si facilita su interpretación y comprensión, si es preciso en sus afirmaciones y, si es lo más conciso posible.

Conclusión

Establecer las relaciones entre los distintos elementos constitutivos del proyecto de investigación (título, problema, antecedentes, justificación, objetivos general y específicos, factibilidad, limitaciones, marco de referencia, hipótesis y variables, diseño metodológico, plan operativo y administrativo, bibliografía y anexos), mediante el mapa cognitivo estructural y evaluativo implícito en la Institución, le permiten al educador mediador investigador: *i)* estructurar el proyecto de forma inteligente; *ii)* evaluar la coherencia del proyecto de Investigación Pedagógica Formativa (IPF) antes de iniciar el desarrollo del mismo; *iii)* sistematizar previamente el trabajo con coherencia y pertinencia; *iv)* prever las limitaciones; *v)* crear nuevas alternativas; *vi)* flexibilizar los recursos y los tiempos y, *vii)* asegurarse, con evidencia lógica y pensamiento estructural prospectivo, que todo lo previsto se podrá realizar. Todo

esto es lo que hace que un investigador sea eficiente, eficaz, efectivo, pertinente, coherente y competente.

Consentimiento para publicación

El autor leyó y aprobó la versión final del manuscrito.

Conflicto de interés

El autor declara no tener ningún tipo de conflicto de interés con la publicación.

Perfil de autoría

Giovanni Marcelo Iafrancesco Villegas

Es una autoridad mundial en pedagogía, PhD en Filosofía de la Educación en Newport University, USA; PhD en Educación de la Universidad Internacional Euroamericana de Valencia, España; Mag. en Docencia Universitaria de la Universidad de La Salle, Bogotá-Colombia; Mag. en Estudios Profesionales del Instituto Latinoamericano de Estudios Profesionales (ILAEP) de México; Mag. en Estudios Estratégicos del Instituto de Estudios Estratégicos (IDEE) de Montevideo-Uruguay. Galardonado con 106 distinciones y premios honoríficos en 14 países de Iberoamérica; entre ellos, 9 Doctorados y 7 Maestrías Honoris Causa. Es actualmente, director de la Corporación Internacional Pedagogía y Escuela Transformadora (CORIPET); asesor, consultor y conferencista a nivel nacional e internacional. Profesor invitado de postgrados (Doctorados, Maestrías y Especializaciones) en universidades colombianas y extranjeras de países de Iberoamérica. Es además consultor del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) de la Organización de Naciones Unidas (ONU) en Panamá; miembro fundador y de número de la Academia Colombiana de Pedagogía y Educación; creador y director de la propuesta de Educación, Escuela y Pedagogía Transformadora (EEPT) para América Latina, posicionada hoy en 27 países; autor de textos didácticos en Ciencias Naturales para Colombia, Nicaragua y El Salvador y otros textos académico-científicos.



Referencias

- [1] Iafrancesco Villegas GM. La evaluación en el aula de una Escuela Transformadora: contexto, concepto, objetivos, principios, enfoques, tipos, modelos y estrategias. 2nd ed. Bogotá, Colombia: CORIPET EDITORIAL. Corporación Internacional Pedagogía y Escuela Transformadora CORIPET Ltda; 2017.
- [2] Iafrancesco Villegas GM. La Investigación Pedagógica Formativa: contextos, fundamentos, diseños metodológicos, técnicas, instrumentos y estructuración de proyectos. 1st ed. Bogotá, Colombia: CORIPET EDITORIAL. Corporación Internacional Pedagogía y Escuela Transformadora CORIPET Ltda; 2013.
- [3] Iafrancesco Villegas GM. La administración pedagógica en una Escuela Transformadora: concepto, principios, funciones, estilos políticas y estrategias de planeación, organización, dirección y control. 1st ed. Bogotá, Colombia: CORIPET EDITORIAL. Corporación Internacional Pedagogía y Escuela Transformadora CORIPET Ltda; 2013.
- [4] Iafrancesco Villegas GM. Aprendizaje autónomo y cognición: fundamentos y estrategias didácticas para el desarrollo del potencial de aprendizaje y del pensamiento. 3rd ed. Bogotá, Colombia: CORIPET EDITORIAL. Corporación Internacional Pedagogía y Escuela Transformadora CORIPET Ltda; 2017.
- [5] Iafrancesco Villegas GM. Las transformaciones de las Prácticas Pedagógicas: contextos, métodos, paradigmas, modelos, estrategias y políticas. 2nd ed. Bogotá, Colombia: CORIPET EDITORIAL. Corporación Internacional Pedagogía y Escuela Transformadora CORIPET Ltda; 2015.
- [6] Iafrancesco Villegas GM. La gestión y la evaluación curricular en una Escuela Transformadora: Contextos, enfoques, diseños, concepto, estructura, modelo holístico, objetivo, planeamiento y protocolo. 1st ed. Bogotá, Colombia: CORIPET EDITORIAL. Corporación Internacional Pedagogía y Escuela Transformadora CORIPET Ltda; 2013.
- [7] Iafrancesco Villegas GM. Modelo Pedagógico Holístico Transformador: fundamentos, dimensiones, programas y proyectos en la Escuela Transformadora. 1st ed. Bogotá, Colombia: CORIPET EDITORIAL. Corporación Internacional Pedagogía y Escuela Transformadora CORIPET Ltda; 2015.

Contradicciones de la Amazonía en el Brasil: Una nueva perspectiva

Contradictions of the Amazon in Brazil: A new outlook

Creuci María Caetano*  Diego Geraldo Caetano Nunes 

Acceso Abierto

*Correspondencia:

cmcaetano@unir.br
Universidade Federal de Rondônia
(UNIR), campus Presidente Médici.
R. da Paz, 4376 - Lino Alves Teixeira,
Pres. Médici - RO, 76916-000, Brasil.

Recibido: 14-03-2021
Aceptado para publicación:
26-05-2021
Publicado en línea: 09-09-2021

Palabras clave:

Amazonía brasileña;
cambio climático;
deforestación;
especies nativas;
megabiodiversidad;
monocultivo;
suelo tropical.

Key words:

Brazilian amazon;
climate change;
deforestation;
native species;
megabiodiversity;
monoculture;
tropical soil.

Resumen

La foresta amazónica se destaca por ser uno de los más importantes componentes de la biosfera, fundamental para afrontar los cambios climáticos, debido a que se caracteriza por albergar una megadiversidad biológica, étnica y cultural, que sufre en la actualidad una intensa presión. Tal presión, puede ser caracterizada como sigue: *i*) la deforestación creciente, con la tala ilegal de árboles nativos y las quemadas, con consecuentes cambios en el uso del suelo tropical; por lo general, indebidamente manejado con implementación de monocultivos y técnicas inadecuadas para estos tipos de suelos; *ii*) la invasión a tierras indígenas y áreas de unidades de conservación, poniendo en riesgo el patrimonio sociocultural y la sociobiodiversidad; además, compromete también el patrimonio genético, del cual, un número expresivo de especies no son todavía conocidos y que podrían contrarrestar adversidades relacionadas con el cambio climático. Bajo esta perspectiva, la presente reflexión busca traer a la luz, algunos puntos vinculados con las diferentes problemáticas que tienen como escenario la Amazonia brasileña. Más que reflexionar, se trata de hacer un llamado hacia una nueva mirada de esta región amazónica, en caso contrario, se puede estar asistiendo a una masacre de pueblos originarios, de conocimientos tradicionales y de recursos genéticos.

Abstract

The Amazon forest stands out for being one of the most important components of the biosphere, fundamental to face climatic changes, due is characterized by hosting a megabiological, ethnic and cultural diversity, which is currently under intense pressure. Such pressure can be characterized as follows: *i*) growing deforestation, with illegal logging of native trees and burning, with consequent changes in the use of tropical soil; generally, improperly managed with monocultures implementation and unsuitable techniques for these types of soils; *ii*) the invasion of indigenous lands and areas of conservation units, putting sociocultural heritage and sociobiodiversity at risk; in addition, also compromises the genetic heritage, of which a significant number of species are not yet known and which could counteract adversities related to climate change. From this perspective, this reflection seeks to bring to light, some points related to the different problems that are set in the brazilian Amazon. Rather than reflect, is about calling for a new look at this Amazon region, otherwise, can be witnessing a massacre of native peoples, traditional knowledge and plant genetic resources.

Introducción

En las últimas tres (3) décadas, la Amazonía brasileña ha sufrido un proceso impactante [1], cambios en el paisaje natural, deforestación, quemas indiscriminadas y criminosas [2]; la explotación de madera nativa y establecimiento de minería ilegal, especialmente, en territorios indígenas y en áreas de preservación permanente (APPs) [3]. Si no se dan condiciones para que ocurra el fenómeno de evapotranspiración de los árboles [4], sumado a la evaporación del agua proveniente del Océano Atlántico, la cual es transportada desde la franja ecuatorial por los vientos alisios en sentido leste-oeste [5], tampoco se da la formación de los ríos voladores o atmosféricos, científicamente conocidos como “*Jatos de Bajos Niveles de la América del Sur*”, los cuales influyen el clima no solo en la región amazónica, sino más allá, en el cono sur [6]; y en otros biomas, como el pantanal Matogrossense que, al igual que la Amazonía, sufrió duramente el año 2020 [7], una drástica sequía y quemas durante meses, además de soportar una reducción significativa de su biodiversidad, trayendo consigo, pérdidas irreparables en este reconocido ecosistema [8].

Cambios en el paisaje cultural y en la socio-biodiversidad de la Amazonía brasileña, como la ocurrida en los pueblos originarios de distintas etnias en extrema vulnerabilidad, aún más, cuando la Covid-19, los asola con mayor crueldad; comunidades tradicionales como los Quilombolas, que son remanentes de los Quilombos o Palenques [9] y los Ribeirinhos, poblaciones que viven a las orillas de ríos o de Igarapés, practicando la pesca artesanal y una agricultura de pan coger; ambas, ignoradas por los Entes gubernamentales [10] [11]; y aún más, poblaciones locales que practican la agricultura familiar, en su mayoría agroecológicas, y las que subsisten a partir de la extracción sustentable de productos forestales no maderables (PFNM) como el caucho [*Hevea brasiliensis* (Willd. ex A.Juss.) Müll. Arg.]; fibras diversas; frutos y semillas como el guaraná (*Paullinia cupana* Kunth), cacao (*Theobroma cacao* L.), copuazú [*Theobroma grandiflorum* (Willd. ex Spreng.) K.Schum.], açai (*Euterpe oleracea* Mart.), el chontaduro (*Bactris gasipaes* Kunth.), la nuez de Brasil (*Bertholletia excelsa* Bonpl.), entre otras especies nativas igualmente desasistidas.

En este mismo sentido, toman partida los conflictos socioambientales como el uso del suelo y posesión de tierras, la ganadería bovina extensiva. Cabe mencionar que en el Estado de Rondônia-Brasil, existía en el año 2020, según datos oficiales del Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 7.9 cabezas de ganado por habitante [12]; la introducción de monocultivos, especialmente el cultivo de la soya (*Glycine max* (L.) Merr.), sin respetar las secuencias de suelos tan peculiares de la Amazonía ni los ciclos del agua y de nutrientes [13].

Con el ánimo de elevar un recordatorio, vale la pena considerar que la Amazonía no es solo forestas; está constituida por otras fitofisionomías, como el cerrado (o sabana) con sus diversas fisionomías, y los campos generales o *Lavrados*; los cuales, desafortunadamente, son en la actualidad, tratadas de la misma manera por sus explotadores [14]. Todo lo anterior, conforma un escenario desolador, al menos en el territorio brasileño, para ésta que todavía es considerada la mayor foresta tropical de la Tierra, la selva amazónica; reconocida por tener el área más grande de selva tropical continua en el planeta, por su gran riqueza en biodiversidad, y por la cultura de sus pueblos indígenas, bien señalada por Davis en su épica obra *El Río* [15], “...*los curanderos nativos como los Aucas, son pragmáticos científicos activos, cuyo trabajo refleja las necesidades sociales y su laboratorio, resulta ser la selva*” [15].

Con esta inmensa lista de cambios, está comprometido el concepto generado por el Ministerio de Medio Ambiente de Brasil, según el cual, “*el bioma Amazonía es un mundo verde y vasto de aguas y bosques, donde las copas de los enormes árboles ocultan la luz húmeda, la reproducción y la muerte de más de un tercio de las especies de la Tierra*” [16].

Amazonia, también el bioma más grande de Brasil, ocupando un área de 4.196.943 millones de km² o 419.694.300 ha [17], más de 40% del territorio brasileño, con 2500 especies de árboles (o una tercera parte de toda la madera tropical en el mundo) y 30000 especies de plantas (de 100000 en América del Sur), se encuentra en riesgo inminente [18]. Una realidad que no es tan diferente en la mayoría de los demás países que comparten con Brasil, la foresta amazónica en Sur América, Bolivia, Colombia, Ecuador, Guyana, Guyana Francesa, Perú, Surinam y Venezuela [19].

Por lo tanto, la presente, es una reflexión sobre ésta, que es un importante componente de la biosfera, la foresta amazónica, supuestamente defendida por ambientalistas, organizaciones no gubernamentales, misioneros evangélicos y gobiernos de países desarrollados, por ser ¿el (pseudo) pulmón del mundo?; ¿fuente inagotable de minerales y piedras preciosas?; ¿más grande reserva mundial de maderas?; ¿su gran biodiversidad?; ¿Y quiénes se preocupan con sus pueblos originarios, su socio biodiversidad, o, la geografía humana?; el propio gobierno brasileño (2019-2022), va en contravía cuando se trata de la Amazonía. Como bien puntuó Primavesi “*el problema ecológico no tiene solución mientras exista el problema social*” [20].

La Amazonía brasileña

De los Estados que componen la llamada Amazonía Legal en Brasil, se reconocen el Acre, Amapá, Amazonas, Maranhão, Mato Grosso, Pará, Roraima, Rondônia y Tocantins que, en conjunto, atingen una superficie aproximada de 5.015.067,749 km² (501.506.774.900 ha), correspondiente a cerca de 58.9% del territorio brasileiro [21]. Siete de esos Estados, corresponden a la Región Norte de Brasil, mientras que Maranhão, hace parte de la Región Nordeste, Mato Grosso, de la Región Centro-Oeste del Brasil [22].

La cuenca del Amazonas es la más grande del mundo, cubriendo aproximadamente 6.000.000 km² (600.000.000 ha), con 1.100 afluentes. Su principal río, el Amazonas, corta la región para desembocar en el Océano Atlántico, vertiendo, aproximadamente, 175.000.000 de litros de agua por segundo [23]. Según los cálculos, la región es la mayor reserva de maderas tropicales en el mundo, sus recursos naturales que, además de madera, incluyen las enormes reservas de caucho, las nueces, el pescado y los minerales; por ejemplo, representan una fuente abundante de riqueza natural [24].

La Amazonía brasileña es también el hogar de una riqueza cultural, incluyendo el conocimiento tradicional asociado al patrimonio genético y la forma de utilizar los recursos naturales sin agotarlos o destruir el hábitat natural [25]. La Amazonía pudo tener una población de 4 a 5 millones de habitantes a la llegada de los europeos en 1492; hoy, no pasan de 900.000 habitantes [26].

Estos pueblos cultivaron y/o domesticaron por lo menos, 138 especies vegetales, muchas de las cuales, eran artefactos humanos, es decir; se encontraban en un estadio avanzado de domesticación. Consecuentemente, existió una relación entre la reducción de las poblaciones indígenas de la Amazonía y la pérdida de sus recursos genéticos después del contacto. Tal relación fue influenciada por el grado de domesticación del cultivo, su historia de vida, el grado de domesticación del paisaje en la que era cultivado, el número de sociedades indígenas que lo utilizaron y su importancia para estas sociedades.

La historia de la ocupación y colonización de la Amazonía Brasileña ha tenido diferentes fases, siendo las de mayor expresión los dos ciclos del caucho [*Hevea brasiliensis* (Willd. ex A.Juss.) Müll.Arg.] (1879-1912;1942-1945), los asentamientos de reforma agraria incentivados por el gobierno brasileño en las décadas de 1960 – 1970, y más recientemente, la presión ganadera, las actividades de madereros y el cultivo de la soya (*Glycine max* (L.) Merr.), que han ejercido mayor presión sobre esta región [27].

El proceso de colonización tuvo como una de las principales razones, los incentivos del gobierno federal militar (1964 – 1985), con el argumento de tratarse de una cuestión de seguridad nacional, estimulando asentamientos humanos en áreas antes despobladas [28], con el lema “*integrar para no entregar*”, para asegurarse de que esta porción de la Amazonía, permaneciera brasileña.

El slogan “*tierras sin hombres para hombres sin tierra*”, olvidando completamente de los pueblos originarios amazónicos, lo que enmarcó el Plan de Integración Nacional (PNI) del gobierno federal en los años 70’s, responsable por el intenso flujo migratorio de regiones castigadas por la sequía en el Nordeste y por la mecanización agrícola en el Sur, rumbo a la Amazonía [29]; ese fenómeno de migración interno, generó áreas deforestadas, a partir de aberturas de carreteras como la BR-364, la BR-319 y la BR-230.

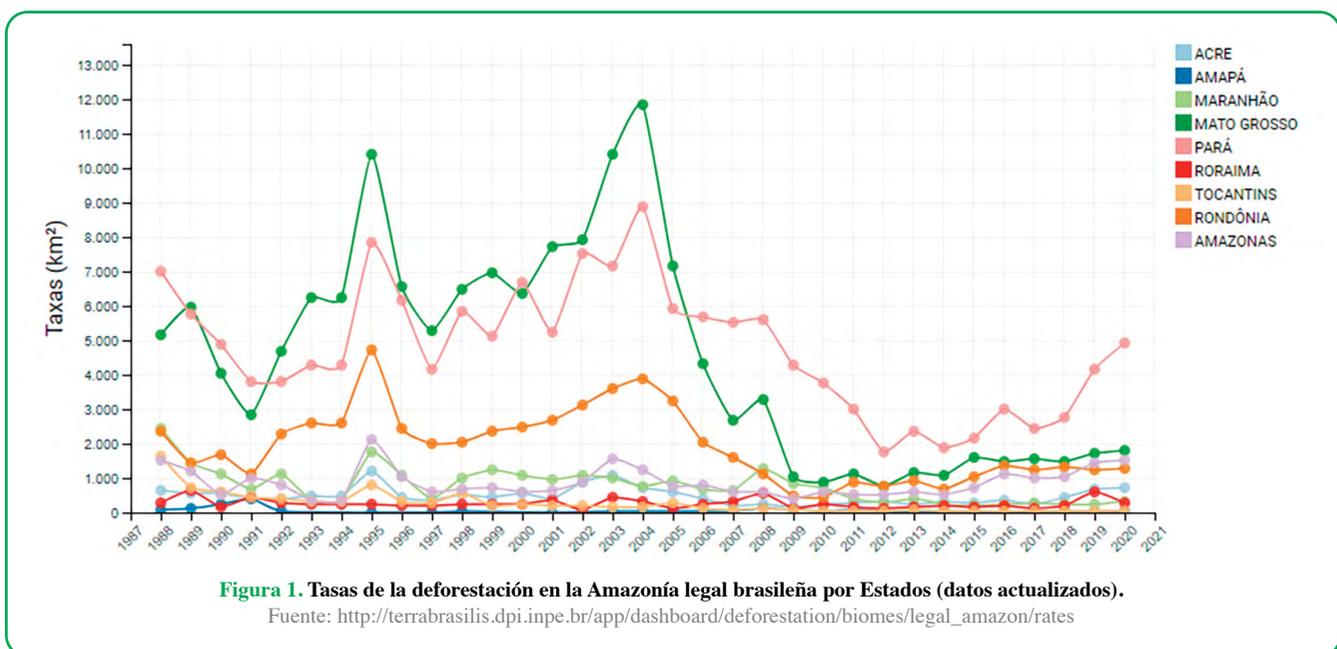
La BR-364, se inicia en la ciudad de Cordeirópolis (Estado de São Paulo), cruza por Minas Gerais y Goiás, ligando las capitales Cuiabá (Mato Grosso), Porto Velho (Rondônia) y Rio Branco (Acre) y finalizando en la frontera con el Perú, por el municipio de Cruzeiro do Sul, Estado de Acre [21], permitiendo el acceso a nuevos territorios de

Brasil, desarrollándose poblados, algunos de los cuales son importantes municipios actualmente, construidos a las orillas de la carretera. Grandes áreas de bosque fueron ocupadas por actividades agropecuarias, especialmente pasturas que son, en su mayoría, mal manejadas o de baja producción por unidad de animales [30].

Aunque sean 885 km en toda su extensión, aproximadamente 450 km están pavimentados en la BR-319, inaugurada en 1976 [29]; la única ligación por tierra de la capital del Estado del Amazonas, Manaus, a Porto Velho, en Rondônia y de ahí, para

el resto de Brasil. Símbolo del fracaso del proyecto de integración conducido por la dictadura militar, la carretera corta uno de los bloques más preservados de la foresta amazónica [31].

La dificultad de locomoción desacelera la llegada del “arco de deforestación” a la región, pero la actual reconstrucción de la vía, ha conllevado actividades ilegales, a la exposición de pueblos indígenas y comunidades tradicionales; el avance de la frontera agrícola, y daños socio-ambientales irreparables [32] (Figura 1).



La zona de influencia de la BR-319, comprende 270000 km² entre los ríos Purus y Madeira, área correspondiente al 5.4% del territorio de la Amazonía legal [21]. Mientras la porción sur de tierra entre los ríos, es una de las más degradadas de Brasil; la parte norte, registra baja presencia humana, caso del Medio Purus, donde vive el pueblo Apurinã, que denuncia el prencio de más un genocidio [29].

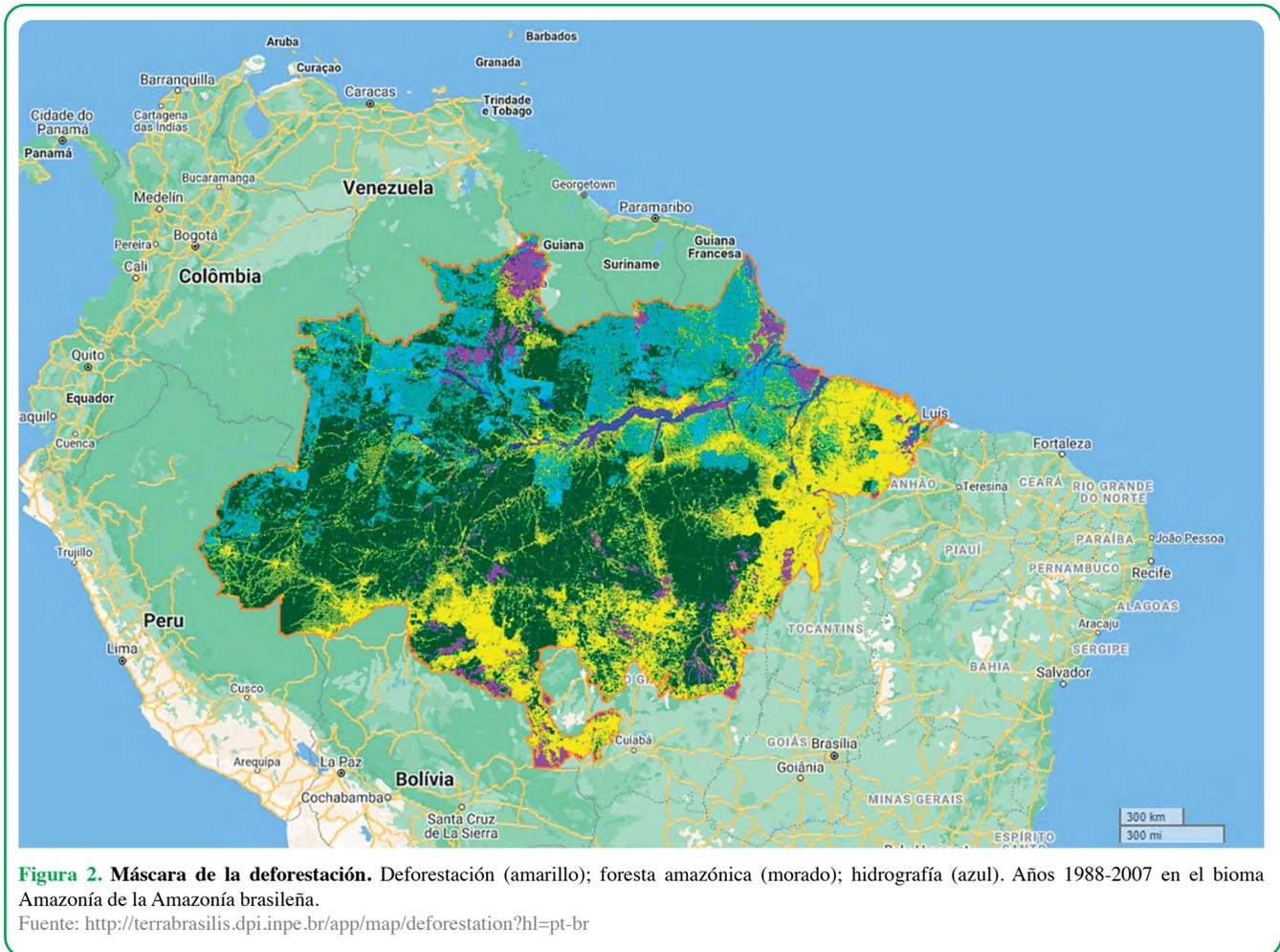
El área abriga aún 25 unidades de conservación (UCs) federales y estatales en el Amazonas y en especial, Rondônia. Juntas, forman un extenso corredor de biodiversidad, preservando especies en extinción y endémicas. A pesar de las denuncias y disputas en las instituciones del poder judicial brasileño, los últimos resultados, se han mostrado favorables al desarrollo económico [33].

Al respecto, Éder Carvalho Assunção, párroco de la prelación de Lábrea, comunidad Belo Monte, enfatiza que, a lo largo de las orillas de carreteras secundarias, “grileiros” o ladrones de tierras, hacen un falso catastro rural, diciendo ser funcionarios del Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), distribuyendo documentos ilegales. La persona lo recibe como un título de propiedad, pero son tierras de la Unión. La carretera [29], un aparente desarrollo por el hecho de auxiliar la locomoción entre las capitales, se convierte en un camuflaje, debido a que trae consigo, la destrucción de hábitats y, más drástico, de etnias y culturas [34].

Desafortunadamente, así como el pueblo Juma, otras etnias diversas, entre ellas, los Paiter Surui, Puruborá, Tuyuka, Karipuna (menos de 30 personas en su aldea, la

que más sufrió con las quemadas en el 2019) [35], han sido victimizadas por la Covid-19, perdiendo sus mayores médicos tradicionales y conocedores de un inmenso

saber ancestral, incluyendo su lengua, rituales, fiestas tradicionales; una pérdida irreparable, exponiéndolos a la vulnerabilidad cultural y social [36] (Figura 2).



Eliézer Puruborá (92 años), uno de los últimos indígenas hablantes de la lengua Puruborá (pueblo originario amazónico, hoy con solo 220 personas), también murió debido a la Covid-19 en el 2020 [37]; amenazadas desde la llegada de los europeos, solo 180-200 de las 1500 lenguas indígenas son habladas actualmente en el Brasil, la mayoría por menos de 1000 personas [38].

La BR-230, el brazo oriental de la llamada Transamazónica, es uno de los legados más contradictorios de la dictadura militar brasileña [34]. Inaugurada en 1972, con 4223 km de extensión, atraviesa siete Estados, desde el puerto de Cabedelo (costa de Paraíba) hasta Lábrea (sur de Amazonas). Sin embargo, más de un tercio de la BR-230 está en tierras del Pará, los 1840 km iniciales,

desde Brejo Grande del Araguaia (Tocantins), está casi toda pavimentada [29].

En la división Tocantins-Pará, el puente sobre el río Araguaia, es el límite para el polvo en el verano o el lodo en el invierno. La degradación de la foresta Amazónica, ocurre con violaciones de derechos, promesas no cumplidas, entre otros aspectos. La historia de la Transamazónica en Pará, se confunde con la de hombres y mujeres que construyeron sus vidas a orillas de la carretera o en las comunidades vecinas [34].

El INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), a través de su programa de sensores remotos para la Amazonía [39], realiza el monitoreo de la región,

tomando como base las acciones de investigación y desarrollo direccionadas a la evaluación del impacto ambiental aplicable a los programas energéticos y minerales [40], la expansión de la frontera agrícola, la dinámica actual de uso del suelo, los procesos de erosión y transporte de sedimentos a los ecosistemas acuáticos, entre otros aspectos [41]. A su vez, su proyecto PRODES-Amazônia [42], objetiva detectar y cuantificar la alteración de la cobertura forestal de la Amazonía Legal, mostrando la real situación de la deforestación [40] (Figura 2).

El grado de deforestación en la Amazonía en Brasil, se ha convertido en una amenaza de tal dimensión para el equilibrio del ecosistema y su megabioidiversidad, problemática ampliamente registrada en varios estudios [1-3,19,26]. Según el PRODES-Amazônia [42], los datos de intervención antrópica (deforestación seguida por quema) abarcaron en el 2019, para el Estado de Pará- Brasil, 271862.57 km², Mato Grosso 218741.90 km², Maranhão 106510.04 km², Rondônia 94767.13 km², Amazonas 41895.57 km², Tocantins 30663.63 km², Acre 24033.01 km², Roraima 11311.12 km² y Amapá 3112.88 km² [42]. En el 2020, las pérdidas fueron todavía más drásticas.

De acuerdo con Primavesi [20], cada año, son desertificados más de 10.000.000 ha de tierras agrícolas en el planeta, en parte por la salinización debida a riegos sin mayores cuidados, y en parte, por las quemadas frecuentes. El gran perjuicio causado por el fuego es el no regreso de la materia orgánica y la exposición del suelo desnudo, quemado, al impacto de las lluvias y al sol caliente. La biota del suelo muere de hambre, debido a que la materia orgánica es su alimento y no se la puede cambiar por ceniza, exclusivamente mineral [20]. En términos legales, la Ley más representativa para esta región es la Ley 12651 del 25 de mayo de 2012, conocida como la Ley de Protección de la Vegetación Nativa [43] (Figura 3); entre los puntos que se abordan en esta Ley están la definición, función, uso y protección de las áreas de preservación permanente (APP) y de reserva legal (ARL).

Se entiende por Área de Preservación Permanente (APP), un área protegida cubierta o no cubierta por área de vegetación nativa, con la función ambiental de preservar los recursos hídricos, el paisaje, la estabilidad geológica y la diversidad biológica, facilitar el flujo

genético de fauna y flora, la protección del suelo y garantizar el bienestar de las poblaciones humanas (Figura 3) [44]. A su vez, la Reserva Legal (ARL), es el área que se encuentra dentro de una propiedad rural, con la función de garantizar la utilización económica de los recursos naturales de la propiedad rural de manera sostenible [44]; ayuda a la conservación y rehabilitación de procesos ecológicos y a promover la conservación de la biodiversidad, así como refugio y protección de la fauna y flora nativas [21].



Figura 3. La megabioidiversidad de la foresta amazónica. Representada por especies como la “sumaúma” (*Ceiba pentandra* (L.) Gaertn.) (3-1); y el ceibo o “paineira” (*Ceiba speciosa* (A.St.-Hil.) Ravenna); (3-2), ambas de la familia Bombacaceae y Malvaceae. La nuez del Brasil, “Castanheira” (*Bertholletia excelsa* Bonpl.); (3-3; 3-4), una especie cuya tala está prohibida; se destaca en un paisaje con pastura. Sin embargo, así aislada, se encuentra vulnerable a la caída por rayos, al fuego, a la ausencia de polinización por la distancia a otros especímenes, o a la no dispersión de las semillas por su agente dispersor, el mamífero roedor *Dasyprocta aguti* o “cutia”.

Sin embargo, la conservación y la recuperación de ecosistemas nativos en propiedades rurales privadas (ASP) son fundamentales, una vez que estas ocupan cerca de 80% del territorio brasileño [43]. Por lo tanto, a la situación actual, se hace preponderadamente necesario el cambio en la comprensión del papel de las zonas

rurales en la protección y conservación de los recursos naturales. El agricultor se convirtió en protagonista en la gestión de sistemas complejos y diversificados, integrados e interdependientes. La conciliación de la eficiencia económica, la responsabilidad social y la protección del patrimonio natural, proporcionando al mismo tiempo, los servicios de los ecosistemas a la sociedad, se han convertido en puntos estratégicos y fundamentales para el productor rural amazónico continuar sus actividades, no de explotación y si desde una visión sustentable.

Con relación a los pueblos originarios, no solo amazónicos como en todo el país, un buen número de observadores nacionales e internacionales concluye que el (des)gobierno federal actual (2019-2022), viene promocionando el más grande ataque a la dignidad, a la cultura y a los derechos indígenas de las últimas décadas, además de la visión despreciativa y pre-conceptuosa sobre pueblos originarios. El anterior director de la FUNAI (Fundação Nacional do Índio), Sydney Possuelo, defensor de los derechos de pueblos indígenas, expresó que, en 42 años de trabajo en la Amazonía, este es el más peligroso que ha presenciado [45].

La posesión de sus tierras, es la gran reivindicación de los pueblos indígenas brasileños en la actualidad, debido a que la tierra es la raíz de valores fundamentales para sus culturas. Sin embargo, cerca del 90% de todos los procesos demarcatorios están en juzgados, donde las deliberaciones se arrastran por décadas y, las tierras previamente demarcadas, son con frecuencia, invadidas o espoliadas con el beneplácito del gobierno y de la sociedad [46].

Muchos indígenas ya viven en ciudades, forzados a la migración por la expulsión de sus tierras, o por las difíciles condiciones de subsistencia en reservas pequeñas y exhaustas, o buscando las ciudades espontáneamente, para mayor confort, reconocimiento, tratamiento de salud, educación u otros motivos, pero van ilusionados muchas veces encontrando condiciones más duras, viviendo en favelas (cortijos o barrios deprimidos), con dificultades para preservar las tradiciones, o, por fuerza de un contexto desfavorable, abandonándolas. Su visibilidad, ha permitido sensibilizar la población en general, pero permanecen entre los grupos urbanos más desamparados; al margen de la sociedad al igual que otras minorías desasistidas.

Es cada vez más creciente el número de denuncias, sin que se tomen medidas efectivas para resolver esta problemática [47].

El gobierno no cumple con su actual y propia carta magna, la Constitución de la República Federativa do Brasil, de 1988, no está protegiendo actualmente a su pueblo y a su ambiente; tampoco su compromiso con el desarrollo sustentable global. Se han cuestionado los datos de la deforestación provenientes del mismo INPE, el cual muestra el avance del “arco de la deforestación”. Y también, se ha cuestionado la más grande aprensión jamás ocurrida en la historia de la Amazonía brasileña, la madera nativa talada ilegalmente, denunciada por la Policía Federal a finales de diciembre de 2020, en la Operación Handroanthus GLO, en la que se estima que cerca de 65 mil árboles nativos fueron exterminados [48].

Al denunciar el Ministro del Medio Ambiente y un senador por ser cómplice de los madereros, y al jefe del IBAMA por omisión, el delegado superintendente del Amazonas de la PF perdió su puesto, en mediados de abril de 2021 [48], en más una medida arbitraria, por parte del gobierno o sus subordinados, terminaron sumisos a su ideología perversa. Desafortunadamente, una ideología política adversa a la conservación de la diversidad biológica, de la sociobiodiversidad, del ecosistema amazónico, un grande descaso del gobierno con relación a su gente – su discurso inconsistente durante la Cumbre del Clima de 22 y 23 de abril de 2021 intentó demostrar al contrario, Brasil, uno de los países que más presenta pérdidas relacionadas con la Covid-19 y la crisis económica paralela; no puede contar con decisiones gubernamentales serias y asertivas. Por todo lo anterior, la gran foresta amazónica merece una nueva mirada, un nuevo entendimiento sobre la mejor forma de desarrollo a ser aplicada, tanto a nivel interno, como internacional.

Consentimiento de publicación

Los autores leyeron y aprobaron el manuscrito final.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de interés. Este documento solo refleja sus puntos de vista y no los de las instituciones a las que cada autor pertenece.

Perfil de autoría

Creuci Maria Caetano

Graduada en Ciencias Biológicas (1981), con Maestría en Biología Celular (1995) y PhD en Ciencias Biológicas (2001) de la Universidade Estadual de Maringá (UEM), Paraná. Pedagoga (UEM; 1994), con un perfeccionamiento en Ciencia y Ciudadanía- Ethos Ciencia de la Faculdade Estadual de Campo Mourao, Paraná (1996), Especialización en Control y Gestión Ambiental (UEM, 1999) y Curso Internacional de Posgrado en Patrimonio Cultural, Turismo Sustentable y Paisaje Cultural (Fondo Verde; 2017). Sus áreas de actuación son la Citogenética Vegetal, la Etnobotánica aplicada, la Conservación y Utilización de Recursos Fitogenéticos (RFG). Ha estado vinculada con el Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI) (actual Bioversity International), la Universidad Nacional de Colombia y la Fundacao Universidade Federal de Rondônia, na Amazônia Ocidental Brasileira, campus Presidente Médici, Departamento de Engenharia de Pesca.



Diego Geraldo Caetano Nunes

Biólogo de la Faculdade de Ciências Biomédicas de Cacoal (2008), Maestría en Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional de Colombia campus Palmira (2012) y PhD en Agroecología, Universidad Nacional de Colombia campus Palmira (2017). Tiene experiencia en el área de Botánica, con énfasis en Morfología Vegetal, Anatomía Vegetal, Etnobotánica en el área de Agroecología con énfasis en Valoración y uso de Recursos Fitogenéticos. Se ha desempeñado principalmente en las siguientes temáticas: Amazonía, Frutos Comestibles, Passifloras, Cultivo de Tejidos Vegetales y Sistemas de Información Geográfica (SIG).



Referencias

- [1] Alberto Franco da Silva C, Carlos Bampi A, Silva D, Alberto Franco C. Regional Dynamics of the Brazilian Amazon: between Modernization and Land Conflicts. *Revista Colombiana de Geografía* 2019; 28:2256–5442. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v28n2.72872>.
- [2] Qin Y, Xiao X, Wigneron J-P, Ciais P, Brandt M, Fan L, et al. Carbon loss from forest degradation exceeds that from deforestation in the Brazilian Amazon. *Nature Climate Change* 2021;11. <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01026-5>.
- [3] Araujo LS, Magdalena UR, Louzada TS, Salomon PS, Moraes FC, Ferreira BP, et al. Growing industrialization and poor conservation planning challenge natural resources' management in the Amazon Shelf off Brazil. *Marine Policy* 2021; 128:104465. <https://doi.org/10.1016/J.MARPOL.2021.104465>.
- [4] Ribeiro SS, Schwartz G, Silva AR, da Cruz DC, Brasil Neto AB, Gama MAP, et al. Soil properties under different supplementary organic fertilizers in a restoration site after kaolin mining in the Eastern Amazon. *Ecological Engineering* 2021;170:106352. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLENG.2021.106352>.
- [5] Swanson AC, Kaplan D, Toh K-B, Marques EE, Bohlman SA. Changes in floodplain hydrology following serial damming of the Tocantins River in the eastern Amazon. *Science of The Total Environment* 2021;800:149494. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2021.149494>.
- [6] Moss G, Moss M. Os rios voadores, Um guia didático para explicar aos seus alunos o que são os rios voadores e porque eles têm tudo a ver com a preservação da Amazônia por sua importante contribuição para as chuvas que irrigam gratuitamente nossas plantações e o clima brasileiro. *Caderno do professor*. 1st ed. Lago Sul, Brasilia, Brasil: Horizonte. Projeto Rios Voadores; 2014.
- [7] Jordan L. Fires in Brazil's Pantanal wetland and Amazon rainforest worst in a decade. *UnEarthed* 2020. <https://unearthed.greenpeace.org/2020/09/04/fires-brazil-pantanal-wetland-amazon-rainforest/>
- [8] World Wide Fund For Nature (WWF). Fires in the Brazilian Pantanal break a record 2020. https://wwf.panda.org/wwf_news/?602871/Fires-in-the-Brazilian-Pantanal-break-a-record
- [9] Guimarães Paiva S, Carvalho Gontijo C, Carvalho Gontijo R, Madrigal L, de Nazaré Klautau-Guimarães M, Fabiana de Oliveira S. Migration in brazilian afro-descendants communities: A new approach to illustrate the meaning of contemporary

- Quilombo. Revista Da Associação Brasileira de Pesquisador s Negr s - ABPN 2020; 12:188–208. <https://doi.org/10.31418/2177-2770.2020.v12.n.32.p188-208>.
- [10] Monteiro E, Reis MCG. Patrimônio Afro-Brasileiro no Contexto da Educação Escolar Quilombola. *Educação & Realidade* 2019;44:1–22. <https://doi.org/10.1590/2175-623688369>.
- [11] da Silva AL, Begossi A. Biodiversity, food consumption and ecological niche dimension: a study case of the riverine populations from the Rio Negro, Amazonia, Brazil. *Environment, Development and Sustainability* 2009;11:489–507. <https://doi.org/10.1007/s10668-007-9126-z>.
- [12] Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Indicadores IBGE. Estatística da Produção Pecuária. Out.-Dez, 2020. Rio de Janeiro, Brasil: 2020.
- [13] Kroeger ME, Meredith LK, Meyer KM, Webster KD, Plinio Barbosa De Camargo •, Fonseca De Souza L, et al. Rainforest-to-pasture conversion stimulates soil methanogenesis across the Brazilian Amazon. *The ISME Journal* 2021;15:658–72. <https://doi.org/10.1038/s41396-020-00804-x>.
- [14] Françoso RD, Haidar RF, Machado RB. Tree species of South America central savanna: endemism, marginal areas and the relationship with other biomes. *Acta Botanica Brasilica* 2016;30. <https://doi.org/10.1590/0102-33062015abb0244>.
- [15] Davis W. El río. Exploraciones y descubrimientos en la Selva Amazónica. 1st ed. Bogotá, Colombia: Banco de la República. El Áncora Editores; 2006.
- [16] Global Forest Watch (GFW). How rainforests are formed, and how they are being destroyed. World Resources Institute 2020. <https://www.globalforestwatch.org/blog/data-and-research/tropical-rainforest-ecology-and-threats/>
- [17] Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF). Amazonía Viva - Informe 2016: Un enfoque regional para la conservación en la Amazonía. Brasília, Brasil: 2016.
- [18] Ferreira RP, Lopes PFM, Campos-Silva J v., Silvano RAM, Begossi A. The Upper Juruá Extractive Reserve in the Brazilian Amazon: past and present†. *Brazilian Journal of Biology* 2022;82. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.239188>.
- [19] Santos AM dos, Silva CFA da, Almeida Junior PM de, Rudke AP, Melo SN de. Deforestation drivers in the Brazilian Amazon: assessing new spatial predictors. *Journal of Environmental Management* 2021; 294:113020. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2021.113020>.
- [20] Primavesi A. Pergunte ao solo e às raízes: uma análise do solo tropical e mais de 70 casos resolvidos pela agroecologia. vol. 1. 1st ed. São Paulo, Brasil: Nobel; 2014.
- [21] Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Legal Amazon 2021. <https://www.ibge.gov.br/en/geosciences/environmental-information/pedology/17927-legal-amazon.html?=&t=o-que-e>
- [22] Bastos RC, Brasil LS, Carvalho FG, Calvão LB, Silva JO de A, Juen L. Odonata of the state of Maranhão, Brazil: Wallacean shortfall and priority areas for faunistic inventories. *Biota Neotropica* 2019;19. <https://doi.org/10.1590/1676-0611-bn-2019-0734>.
- [23] Sist P, Piponiot C, Kanashiro M, Pena-Claros M, Putz FE, Schulze M, et al. Sustainability of Brazilian forest concessions. *Forest Ecology and Management* 2021;496:119440. <https://doi.org/10.1016/J.FORECO.2021.119440>.
- [24] Canetti A, Braz EM, de Mattos PP, Basso RO, Filho AF. A new approach to maximize the wood production in the sustainable management of Amazon forest. *Annals of Forest Science* 2021;78. <https://doi.org/10.1007/s13595-021-01079-8>.
- [25] A Baker JC, Garcia-Carreras L, Buermann W, Castilho de Souza D, Marsham JH, Kubota PY, et al. Robust Amazon precipitation projections in climate models that capture realistic land-atmosphere interactions. *Environ Res Lett* 2021;16:074002. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abfb2e>.

- [26] Bush MB, Nascimento MN, Åkesson CM, Cárdenes-Sandí GM, Maezumi SY, Behling H, et al. Widespread reforestation before European influence on Amazonia. *Science* 2021;372. <https://doi.org/10.1126/science.abf3870>.
- [27] Tritsch I, le Tourneau F-M. Population densities and deforestation in the Brazilian Amazon: New insights on the current human settlement patterns. *Applied Geography* 2016;76:163–72. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2016.09.022>.
- [28] Coelho Prates R, Caetano Bacha CJ. Os processos de desenvolvimento e desmatamento da Amazônia. *Economia e Sociedade*, Campinas 2011;20:601–36.
- [29] Gonçalves E. BR-319: A polêmica pavimentação da rodovia que corta a Amazônia. *Veja* 2021. <https://veja.abril.com.br/brasil/br-319-a-polemica-pavimentacao-da-rodovia-que-corta-a-amazonia/>
- [30] Brazilian Agricultural Research Corporation (EMBRAPA). Integrated crop-livestock-forestry systems - ICLFS. Integrated Crop-Livestock-Forestry Systems 2011. <https://www.embrapa.br/en/tema-integracao-lavoura-pecuaria-floresta-ilpf/nota-tecnica>
- [31] Miccolis A, Marson Teixeira de Andrade R, Pacheco P. Land-use trends and environmental governance policies in Brazil. Paths forward for sustainability. Bogor, Indonesia: 2014.
- [32] Porro R, Miller RP, Tito MR, Donovan JA, Vivan JL, Trancoso R, et al. Agroforestry in the Amazon region: A pathway for balancing conservation and development, 2012. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4676-3_20.
- [33] Mustin K, Carvalho WD, Hilário RR, Costa-Neto S v., Silva C, Vasconcelos IM, et al. Biodiversity, threats and conservation challenges in the Cerrado of Amapá, an Amazonian savanna. *Nature Conservation* 2017;22. <https://doi.org/10.3897/natureconservation.22.13823>.
- [34] Pajolla M. Nova Transamazônica: reconstrução da BR-319 pode reviver tragédia socioambiental. *Brasil de Fato* 2021. <https://www.brasildefato.com.br/2021/03/31/nova-transamazonica-reconstrucao-da-br-319-pode-reviver-tragedia-socioambiental>
- [35] Conselho Indigenista Missionário (CIMI). Violence against indigenous peoples in Brazil. Data for 2018. Rio de Janeiro, Brasil: 2018.
- [36] Vittor AY, Laporta GZ, Sallum MAM, Walker RT. The COVID-19 crisis and Amazonia's indigenous people: Implications for conservation and global health. *World Development* 2021;145:105533. <https://doi.org/10.1016/J.WORLDDEV.2021.105533>.
- [37] Rodrigues EPS, Abreu IN, Lima CNC, da Fonseca DLM, Pereira SFG, dos Reis LC, et al. High prevalence of anti-SARS-CoV-2 IgG antibody in the Xikrin of Bacajá (Kayapó) indigenous population in the Brazilian Amazon. *International Journal for Equity in Health* 2021;20. <https://doi.org/10.1186/s12939-021-01392-8>.
- [38] Foschiera A, Silva JS da. A especialização da Covid-19 nos Distritos Sanitários Especiais Indígenas da Amazônia Legal. *Ateliê Geográfico* 2020;14. <https://doi.org/10.5216/ag.v14i3.65329>.
- [39] Programa de Monitoramento da Amazônia e Demais Biomas – PAMZ+, Coordenação-Geral de Observação da Terra – CGOBT, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. Metodologia Utilizada nos Projetos PRODES e DETER. São Paulo, Brasil: 2019.
- [40] Montibeller B, Kmoch A, Virro H, Mander Ü, Uuemaa E. Increasing fragmentation of forest cover in Brazil's Legal Amazon from 2001 to 2017. *Scientific Reports* 2020;10. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-62591-x>.
- [41] Brovelli MA, Sun Y, Yordanov V. Monitoring forest change in the Amazon using multi-temporal remote sensing data and machine learning classification on Google Earth engine. *ISPRS International Journal of Geo-Information* 2020;9. <https://doi.org/10.3390/ijgi9100580>.

- [42] PRODES - Amazônia. Monitoramento do desmatamento da floresta Amazônica brasileira por satélite. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE 2019. <http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes>
- [43] Brancalion PHS, Garcia LC, Loyola R, Rodrigues RR, Pillar VD, Lewinsohn TM. Análise crítica da Lei de Proteção da Vegetação Nativa (2012), que substituiu o antigo Código Florestal: atualizações e ações em curso. *Natureza & Conservação* 2016;14. <https://doi.org/10.1016/j.ncon.2016.03.004>.
- [44] Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. Lei No 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Brasília, Brasil: 2012.
- [45] Quadros V. Ex-presidente da Funai: Em 42 anos na Amazônia não vi ameaça à soberania. *Exame* 2019. <https://exame.com/brasil/ex-presidente-da-funai-em-42-anos-na-amazonia-nao-vi-ameaca-a-soberania/>
- [46] Veiga J, D’Angelis W. Duas tacadas de Bolsonaro para o extermínio indígena. *Outras Palavras Jornalismo de Profundidade e Pos-Capitalismo* 2020. <https://outraspalavras.net/outrasmidias/duas-tacadas-de-bolsonaro-para-o-extermínio-indígena/>
- [47] Kucharz T. O plano genocida de Bolsonaro para a destruição dos povos indígenas. Instituto Humanista Unisinos (IHU) 2020. <http://www.ihu.unisinos.br/78-noticias/596465-o-plano-genocida-de-bolsonaro-para-a-destruicao-dos-povos-indigenas>
- [48] Saraiva A. PF troca chefe do órgão no Amazonas após notícia-crime contra Salles. *Consultor Jurídico INVESTIGAÇÃO DE MADEIREIROS* 2021. <https://www.conjur.com.br/2021-abr-15/pf-troca-chefe-orgao-amazonas-noticia-crime-salles?atfbqyu4=548>

¿Planear un paisaje urbano conservativo en el sureste de México? Reflexiones para el caso de Tapachula, Chiapas

Planning a conservative urban landscape in southeastern Mexico? Reflections for the case of Tapachula, Chiapas

Carlos Almeida Cerino  Vincenzo Bertolini*  Tomás Martínez Trinidad 

Acceso Abierto

*Correspondencia:

vbertolini@ecosur.mx
El Colegio de la Frontera Sur,
Unidad Tapachula, carretera antiguo
aeropuerto Km 2.5, Tapachula, Edo.
Chiapas, CP30700, México.

Recibido: 04-03-2021
Aceptado para publicación:
06-05-2021
Publicado en línea: 09-09-2021

Palabras clave:

Ambiente urbano;
arbolado;
área verde;
dasonomía urbana;
urbes.

Key words:

Cities;
green area;
trees;
urban environment;
urban forestry.

Resumen

El tema del paisajismo urbano es algo relativamente novedoso para latino América y aún poco tratado en México, sobre todo en el sureste y en especial el estado de Chiapas. La ciudad de Tapachula, centro de importancia económica para todo el estado, debido a su carácter agrícola, tiene peculiaridades históricas acerca del uso de flora nativa y exótica empleada en la jardinería urbana. El crecimiento urbano, con la consecuente compactación del suelo, ocasiona problemas a la infiltración de las aguas de escurrimiento, aumentando los eventos de inundación estacional. Añadido a esto, la falta de contemplación de las áreas verde como aliados para mejorar la calidad de los espacios urbanos representa una falta técnica muy lamentable. Además, el empleo de especies exóticas a menudo amenaza la conservación de la biodiversidad. Se analizan aspectos estratégicos para una futura planeación de las áreas verdes públicas, con la finalidad de identificar herramientas útiles para un correcto diseño del paisajismo urbano que fomente la conservación ambiental en espacios urbanos en el sureste de México, en especial, en el Estado de Chiapas, México.

Abstract

The issue of urban landscaping is relatively new for Latin America and still little discussed in Mexico, in particular in the southeast and especially the state of Chiapas. The city of Tapachula, a center of economic importance for the entire state, due to its agricultural character, has historical peculiarities regarding the use of native and exotic plants used in urban gardening. Urban growth, with the consequent compaction of the soil, causes problems for the infiltration of runoff waters, increasing seasonal flood events. Added to this, the lack of contemplation of green areas as associates to improve the quality of urban spaces represents a very regrettable technical fault. Furthermore, the use of exotic species often threatens the conservation of biodiversity. Strategic aspects for future planning of public green areas are analyzed, in order to identify useful tools for a correct design of urban landscaping that promotes environmental conservation in urban spaces in southeastern Mexico, in particular in the State of Chiapas.

Introducción

Tapachula-México, es la cabecera municipal de la región del Soconusco, particularmente rica en términos de biodiversidad; siendo la segunda región mexicana por cantidad de orquídeas nativas, tal y como lo expresa Solano et al. [1] y una de las regiones con más biodiversidad de flora vascular entre México y Centroamérica [2]. En este panorama paisajístico, la ciudad de Tapachula, se localiza en las coordenadas 14°53'28.34" de latitud Norte y 92°16'15.74" de longitud Oeste [3]. Actualmente, es considerada la segunda ciudad más importante del sur de Chiapas- México, en términos de desarrollo económico y productivo. Según el Sistema Urbano Nacional-SUN [4], se considera una ciudad clasificada como zona metropolitana, con una población total de 217550 habitantes [5].

La ciudad ocupa un área de aproximadamente 303 Km², con una elevación promedio de 170 m.s.n.m.; geomorfológicamente, se encuentra entre la sierra baja de laderas tendidas y la llanura costera con lomerío, que descansan sobre rocas metamórficas mesozoicas [6], también está situada entre los cauces de los ríos Coatán, al oeste y Cahuacán, al este [7]. La ciudad posee dos tipos de clima. El clima Am (cálido húmedo con lluvias en verano), con una precipitación anual mayor de 2 500 mm, y con una temperatura media anual de 26 °C. El clima Aw2 (cálido subhúmedo con lluvias en verano) con una temperatura media anual mayor de 22°C y una precipitación media anual de 500 a 2500 mm [7]. Se considera que la zona intertropical alberga la mayor biodiversidad del mundo y contribuye de forma muy importante a la riqueza biológica del planeta, así como ha sido sustento durante milenios de diversas comunidades humanas [8]. Además, las zonas con vegetación natural son parte de la megabiodiversidad por lo cual, México es considerado uno de los principales países. Sin embargo, a nivel nacional, la diversidad está siendo amenazada; y en estudios a nivel nacional se evidencia la pérdida de la cubierta vegetal como un proceso de cambio de uso de suelo, a favor de una zona de cultivo y zonas urbanizadas, para el desarrollo de actividades que representan mayor satisfacción social [9].

De tal manera, en México, los bosques y selvas han sufrido un acelerado proceso de fragmentación, de tal

manera que la perturbación antropogénica conlleva a una alteración sobre la biodiversidad [10]; es decir, ocurre simultáneamente una pérdida de cobertura vegetal sobre la tierra y un cambio en su uso [11]. Según la Comisión Nacional para el Uso y Conservación de la Biodiversidad [12], el estado de Chiapas posee una de las biotas más ricas de México y América Central, con su intrincado mosaico de paisaje fragmentado por diferentes usos de tipo forestal, silvopastoril, agroforestal y agrícola [12]. La región de la Sierra Madre de Chiapas tiene gran importancia biológica y ecológica por la biodiversidad de flora y fauna que aún mantiene; sin embargo, en los últimos años ha sufrido la devastación más severa de sus bosques [13].

Por otro lado, los árboles en las ciudades actúan como enorme filtro de la contaminación, son hogares para aves, ardillas, murciélagos y otros animales e insectos, mejoran el microclima urbano, contribuyen al almacenamiento de agua al recargar los suelos, sirven como barrera contra ruidos, son elemento para el resguardo de la biodiversidad, generan oxígeno, capturan el carbono y son elementos de confort en áreas para la recreación de la ciudadanía. En virtud de que los cambios en el uso de la tierra tienen un origen multifactorial, deben ser analizados en distintas escalas temporales y espaciales que permitan conocer de manera puntual a través del tiempo los cambios ocurridos en la dinámica de las coberturas [14].

Perspectiva del paisaje urbano en Chiapas, México

Las áreas verde urbanas de uso público, son un tema muy importante para mejorar la calidad de vida de los habitantes de una ciudad. Sin embargo, existe un importante vacío de información actualizada acerca del verde urbano a nivel regional y local. En cambio, en otra realidad mexicana, estos temas están empezando a ser tratados. Recientemente, el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), ha dado apertura a una campaña que impulsa, coordina y colabora en el proyecto de verde urbano del Bosque de Chapultepec, en el corazón de la Ciudad de México [15]. Contrario a lo que sucede en el Soconusco y en Chiapas, esta área del conocimiento no está considerada como prioritaria para los fines de desarrollo sustentable. No obstante, se insta a desarrollar investigaciones que fundamenten de manera

científica e incontrovertible, la necesidad de estudiar de manera apropiada las relaciones entre las áreas

verdes urbanas y el ambiente natural de las áreas rurales alrededor de la urbe en ambiente tropical (Figura 1).



Figura 1. Especies arbóreas comunes en el paisaje urbano de Chiapas-México. 1-1: *Crescentia cujete* L., especie nativa, históricamente empleada en el arbolado urbano de Tapachula. A esta especie, se le debe el apodo a los ciudadanos de Tapachula, conocidos en el estado de Chiapas: “*Huacaleros*”, debido a que esta especie, décadas pasadas, abundaba como especie de arbolado urbano, cuyos frutos solían ser empleados para usos doméstico, recabando de ellos, los huacales, o tarritos de la cáscara del fruto; con los cuales se bañaban o se usaban para tomar la famosa bebida chiapaneca a base de especias y maíz llamada pozol (bebida prehispánica). La Figura 1-1, retrae uno de los ejemplares más grandes observados en la ciudad; por porte pequeño, su carácter nativo-histórico cultural, se considera la más adecuada especie para eventuales plantaciones futuras. 1-2: *Ficus elastica* Roxb. ex Hornem., ejemplo de especie exótica empleada en el arbolado urbano de Tapachula, el tamaño es considerable y las ramas invaden la carretera de manera preocupante; dentro de poco se va a necesitar seguramente algún tipo de intervención, no obstante, el ejemplar es majestuoso. 1-3: caída de árboles después de una tormenta estacional al empezar la estación de lluvia en la ciudad de Tapachula (mayo-junio 2019). No obstante, este fenómeno es recurrente en todo el lugar producto del inadecuado manejo de las podas.

Desde la última década, se ha constatado la problemática objeto de la presente reflexión. No ha faltado la observación de muerte de árboles monumentales, sobre todo, debido al inadecuado mantenimiento arbóreo y podas [Figura 1 (1-3)]. En consecuencia de estos deterioros ambientales, se ha observado una total aproximación a plantaciones exóticas sin ninguna relación con el contexto histórico-ambiental de la ciudad, como es el caso emblemático de la introducción de la especie *Polyalthia longifolia* (Sonn.) Thwaites, especie que en el 2018, ocasionó una muy escasa aceptación por parte de la ciudadanía, debido a la consecuente plaga de la mosca blanca *Bemisia tabaci* (Gennadius) y a la estructura de la copa del árbol que en ambiente urbano, no ha proporcionado de hecho ninguna ventaja a la comodidad del ciudadano de Chiapas-México en el disfrutar del paisajismo [16].

En adición a lo anterior, se ha presenciado la absoluta falta de conciencia ciudadana hacia el respeto del verde

urbano, demostrada con la puesta en marcha de podas caseras (desmoche) a través de machete o el clásico corte en anillo del floema basal de aquellos árboles considerados como molesto. Esto ha generado una pérdida del patrimonio arbóreo de la ciudad observado en los últimos diez (10) años, presenciándose la práctica de “*leñar*” en el contexto urbano: hacer leñas para el uso doméstico; esto llevado a cabo en plena luz del día y a partir de los elementos arbóreos urbanos, sin ninguna intervención de las autoridades al respecto.

Sin el afán de criticar el actuar de la población, se entiende perfectamente el rol asumido como académicos e investigadores en temas ambientales, de canalizar la energía de la población hacia la conducción de mejores prácticas; por lo tanto, se considera la concientización como un eje fundamental para abordar las temáticas de la conservación y protección del medio ambiente. En la actualidad, se realiza investigación de base para tener un conocimiento medular sobre el estado del arbolado

urbano en la ciudad de Tapachula-Chiapas, México, con el objetivo de generar la información necesaria para proponer soluciones modernas para que el municipio se equie con herramientas y programas adecuados para el desarrollo sustentable.

La ciudad de Tapachula, está comenzando a desarrollarse de manera desordenada y la arboricultura, está frecuentemente ausente en la planificación del crecimiento de la ciudad; por lo que impacta negativamente la infraestructura verde. De esta forma, se observa un gradiente de pérdida significativa de identidad del paisaje tradicional debido a la tala de árboles y también a la introducción de árboles exóticos para las nuevas áreas verdes. Con estas pérdidas tan alarmantes, resulta indiscutible la importancia de las áreas verdes urbanas para la sustentabilidad ambiental y social, que puede interpretarse como punto de partida de una conservación ambiental a más amplia escala. En este sentido, la participación ciudadana tiene un valor estratégico muy fuerte.

En relación con los corredores biológicos, los cuales conectan e intercambian fauna y especies vegetales, los árboles urbanos, tanto nativos como exóticos, pueden ser considerados como espacios biológicos para lograr la conservación de la biodiversidad. Por ejemplo, la ciudad de Tapachula, tiene la ventaja de estar en colindancia con vegetación de amortiguamiento en laderas de cerro y de la vegetación rpararía o de galería de los márgenes de los ríos Coatán, Cahuacán y Texcuyupán; lo cual, considerando la vegetación, favorece que la vegetación epífita, se desarrolle muy bien y las aves urbanas se desplacen de la ciudad al campo y viceversa.

Actualmente, se considera urgente que ciudades situadas en medio tropical, como el caso de Tapachula, aborden el arbolado urbano como una parte fundamental de cualquier desarrollo futuro. Los puntos fundaméntales, imperantes hoy en día, están representados sobre todo, por la componente social; es decir, volver a la población como actor principal del cambio. El imponer decisiones muy atinadas sin haber tomado en cuenta la ciudadanía, aún cuando científicamente y/o operativamente, representen el actuar más adecuado, puede resultar contraproducente cuando no se haya dado la suficiente información para que el ciudadano se sienta parte integral del proyecto. En este sentido, se considera que las áreas verdes

pueden ser promotores de la salud pública y liberadoras de las capacidades humanas, de fuerzas activas y positivas que pueden facilitar el crecimiento personal y social. Por lo tanto, se está trabajando también en recuperar la memoria histórica del sitio, a través de la arboricultura, fomentando la flora típica del sitio que solía emplearse en el pasado y de esta forma, proponer su empleo en unas futuras plantaciones en espacio de verde público; a partir del análisis de los archivos históricos fotográficos del ayuntamiento.

Por otro lado, se considera estratégico el empleo de especies nativas, para estimular la conservación de la flora y fauna locales a ellas relacionada. En este sentido, la planeación debe forzosamente considerar los alrededores de la ciudad, para actuar como corredores biológicos y así fomentar una vez más la conservación de la biodiversidad y del medio ambiente.

El abordar el tema del arbolado urbano en el sureste de México, es fundamental para promover buenas prácticas para la conservación ambiental. No se puede establecer distinción clara en algunos casos entre ambiente urbano y zonas naturales, pero si, ser operadas por separado. La concientización de la población es un punto medular, sobre todo de las personas que viven en ambientes antrópicos y que ven alterada su relación con la naturaleza. Se considera que llevar a cabo proyectos de investigación científica comprometidos con la población urbana deberían representar ya un patrón consolidado. El hecho de vivir en sitios con una situación económica de las más precarias, respeto al así denominado “*primer mundo*” no justifica el actuar de forma inconsciente. La literatura ya nos proporciona suficiente conocimiento teórico para poder implementar acciones novedosas en ambientes tropicales, sin la necesidad de esperar de alcanzar los estándares económicos del primer mundo, sin antes de actuar con las buenas prácticas.

Lo anterior, soportado con trabajos de investigación que ratifiquen o refuercen el conocimiento empírico en este tipo de ambientes. El camino no es simple, la idiosincrasia local, el materialismo imperante en nuestra época no hace fácil el trabajo, pero es obligación de la academia la de superar las brechas y dificultades locales para tratar de promover un cambio en la gestión del patrimonio público. Desde esa trinchera se empieza a hacer algo al respeto y se vuelve prometedor que con un poco de esfuerzo se logre en un futuro cercano

implementar las correctas prácticas de arboricultura, dasonomía y de planeación del paisaje en la ciudad de Tapachula, lo cual se espera que sirva de prototipo para otras realidades urbanas de la región.

Consentimiento de publicación

Los autores leyeron y aprobaron el manuscrito final.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de interés. Este documento solo refleja sus puntos de vista y no los de las instituciones a las que cada autor pertenece.

Perfil de autoría

Carlos Mario Almeida Cerino

Es originario del estado de Tabasco (México). Inició una carrera científica en el área de las Ciencias Naturales, estudiando la licenciatura en Ecología de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT). Estudió su Maestría en Ciencias en Recursos Naturales y Desarrollo Rural, en El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), lo cual le permitió integrar los conocimientos de la región y la sustentabilidad. Es asistente en el Departamento de Conservación de la Biodiversidad en ECOSUR; Se interesa por la ecología forestal, con énfasis en el arbolado y bosques urbanos.



Vincenzo Bertolini

Nació en Palermo, Italia, el 29 de junio de 1975. Desde muy joven desarrolla la pasión por el reino vegetal. Obtiene su licenciatura en Agronomía en 2001, en la Universidad de su ciudad de origen, para llegar a México y cursar estudios de Maestría en el Colegio de Postgraduados, concluyéndolos en 2005. En el año 2009 obtiene el grado de Doctor en Agronomía Ambiental de la Universidad de Palermo, y regresa nuevamente a México, donde en 2010 inicia un postdoctorado en El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Tapachula, donde actualmente trabaja como investigador interesado en la conservación de las orquídeas nativas del Soconusco. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores del Conacyt, nivel I.



Tomás Martínez Trinidad

Ingeniero forestal egresado de la Universidad Autónoma Chapingo. Estudió maestría en ciencias forestales en el Colegio de Postgraduados y tiene un doctorado de la Universidad de Texas A&M, con especialización en arboricultura y dasonomía urbana. Ha escrito varios artículos de difusión e investigación relacionados al arbolado urbano, además de dar presentaciones en eventos científicos y cursos de capacitación. Es profesor investigador de Postgrado en Ciencias Forestales del Colegio de Postgraduados en México. Es arborista certificado por la ISA, miembro de la Asociación Mexicana de Arboricultura y miembro honorario de la Sociedad Internacional de Arboricultura. Asesor de grupo de trabajo de bosques urbanos de la Comisión Forestal para América del Norte y miembro del Sistema Nacional de Investigadores del Conacyt, nivel I.



Referencias

- [1] Solano-Gómez R, Martínez-Ovando E, Martínez-Feria A, Gutiérrez-Caballero JA. New records in the Orchidaceae family from Oaxaca, Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 2016;87. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2016.09.012>.
- [2] Martínez-Camilo R, Martínez-Meléndez N, Martínez-Meléndez M, Pérez-Farrera MÁ, Jiménez-López DA. Why continue with floristic checklists in Mexico? The case of the Tacaná-Boquerón Priority Terrestrial Region, in the Mexican State of Chiapas. *Botanical Sciences* 2019;97. <https://doi.org/10.17129/botsoci.2174>.
- [3] Coutiño-Cortés AG, Bertolini V, Archila Morales F, Valle-Mora J, Iracheta-Donjuan L, García-Bautista M, et al. El uso ornamental de *Guarianthe skinneri* (Orchidaceae), en Chiapas y Guatemala, determina parcialmente su diversidad y estructura genética. *Acta Botanica Mexicana* 2018. <https://doi.org/10.21829/abm124.2018.1303>.
- [4] Sistema Urbano Nacional (SUN). *Catálogo Sistema Urbano Nacional*. México, D.F.: 2018.
- [5] Instituto Nacional de Estadística G e I (INEGI). *Censo General de Población y Vivienda 2020*. México, D.F.: 2021.

- [6] Macías JL. Geología e historia eruptiva de algunos de los grandes volcanes activos de México. Boletín de La Sociedad Geológica Mexicana Volumen Conmemorativo Del Centenario Temas Selectos de La Geología Mexicana 2005; LVIII:379–424.
- [7] Murcia HF, Macías JL. Registro geológico de inundaciones recurrentes e inundación del 4 de octubre de 2005 en la ciudad de Tapachula, Chiapas, México. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas 2009; 26:1–17.
- [8] Koleff P, Urquiza Haas T, Contreras B. Prioridades de conservación de los bosques tropicales en México: reflexiones sobre su estado de conservación y manejo. Ecosistemas 2012; 21:6–20.
- [9] Trucíos Cacicano R, Rivera González M, Delgado Ramírez G, Estrada Ávalos J, Cerano Paredes J. Análisis sobre cambio de uso de suelo en dos escalas de trabajo. Terra Latinoamericana 2013; 31:339–46.
- [10] León-Alfaro Y. Análisis de fragmentación y conectividad del bosque en la subcuenca del río Tapezco, Costa Rica: Conectando el bosque para proteger el agua. Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía 2019;28. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v28n1.67969>.
- [11] Leija Loredó E, Reyes Hernández H, Reyes Pérez Ó, Flores Flores JL, Sahagún Sánchez FJ. Cambios en la cubierta vegetal, usos de la tierra y escenarios futuros en la región costera del estado de Oaxaca, México. Madera y Bosques 2016; 22:125–40.
- [12] Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad-CONABIO. La biodiversidad en Chiapas: Estudio de Estado. México, D.F.: 2013.
- [13] Cortina-Villar S, Plascencia-Vargas H, Vaca R, Schroth G, Zepeda Y, Soto-Pinto L, et al. Resolving the Conflict Between Ecosystem Protection and Land Use in Protected Areas of the Sierra Madre de Chiapas, Mexico. Environmental Management 2012;49. <https://doi.org/10.1007/s00267-011-9799-9>.
- [14] Geist H, Lambin E. Proximate Causes and Underlying Driving Forces of Tropical Deforestation: Tropical forests are disappearing as the result of many pressures, both local and regional, acting in various combinations in different geographical locations. BioScience 2002; 52:143–50.
- [15] Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). Informe de actividades del CONACYT enero-marzo 2021. México, D.F.: 2021.
- [16] El Colegio de la Frontera Sur-ECOSUR. Informe anual 2018. Chiapas, México: 2018.

El suelo auto organizado

Self-organized soil

Patrick Lavelle 

Acceso Abierto

*Correspondencia:

plavelle48@gmail.com
Université Paris Sorbonne; Université
Pierre et Marie Curie, Francia.

Recibido: 24-03-2021

Aceptado para publicación:

28-07-2021

Publicado en línea: 09-09-2021

Palabras clave:

Agregación del suelo;
estructuras del suelo
funcionamiento del suelo;
horizontes del suelo;
ingenieros del ecosistema;
servicios ecosistémicos;
sistemas auto organizados.

Key words:

Ecosystem engineers;
ecosystem services;
soil functioning;
self-organized systems;
soil aggregation;
soil horizons;
soil structures.

Resumen

El objetivo de esta reflexión es exponer el modelo de funcionamiento del suelo, donde se explica cómo los diferentes organismos, cooperan en sistemas auto organizados para regular y optimizar todas las funciones del suelo, permitiendo así, una producción primaria sostenida. Los suelos son sistemas ecológicos autoorganizados dentro de los cuales los organismos interactúan dentro de un conjunto anidado de escalas discretas. Los ingenieros de ecosistemas, principalmente raíces de plantas, lombrices de tierra, termitas y hormigas, desempeñan un papel clave en la creación de hábitats para otros organismos y en el control de sus actividades mediante procesos físicos y bioquímicos. Este modelo de funcionamiento del suelo, se convierte en una guía fundamental y base para el diseño de experimentos y nuevos tipos de manejo del suelo, permitiendo conservar y amplificar la producción de los servicios ecosistémicos.

Abstract

The aim of this reflection is to expose the soil functioning model, where it is explained how the different organisms cooperate in self-organized systems to regulate and optimize all soil functions, thus allowing a sustained primary production. Soils are self-organized ecological systems within which organisms interact within a nested suite of discrete scales. Ecosystem engineers, principally plant roots, earthworms, termites, and ants, play key roles in creating habitats for other organisms and controlling their activities through physical and biochemical processes. This soil functioning model, becomes a fundamental guide and basis for the design of experiments and new types of soil management, allowing the conservation and amplification of the ecosystem services production.

Introducción

Después de la breve euforia de la revolución verde que permitió, en 40 años, multiplicar la producción agrícola por 2.5 y disminuir su precio al 40% de su valor anterior [1], la humanidad se encuentra otra vez con el desafío de inventar de forma urgente una nueva forma de hacer la gestión de los suelos [2]. Mientras se resolvía de forma temporal el problema del hambre, se degradaba de manera muy preocupante, el 60% de los servicios ecosistémicos; la agricultura es responsable de la mitad del cambio climático que ya empezaba a mostrar sus efectos dramáticos [3].

Las condiciones están mucho más difíciles que hace 50 años, existe muy poca disponibilidad de ecosistemas vírgenes para convertir al uso agrícola, y los que quedan, están considerados como las últimas reservas de biodiversidad a conservar [4]. Con una superficie igual o hasta menor de lo que fue al principio del siglo, se va pedir a los suelos lo siguiente: *i*) aumentar la producción de alimentos 70% hasta el 2050; *ii*) controlar el cambio climático secuestrando un cuarto del carbono liberado por los combustibles fósiles y la degradación de los ecosistemas; *iii*) seguir filtrando, almacenado y limpiando el agua y regulando los caudales de los ríos; *iv*) producir biocombustibles para suplir la rarefacción de los fósiles; *v*) conservar la biodiversidad única que tienen que representar un tercio de la biodiversidad global y *vi*) servir finalmente de soporte al desarrollo de las ciudades y vías de comunicación.

La agricultura en un futuro cercano tendrá que estar menos dependiente del C fósil y de los agroquímicos, asociando la productividad y rentabilidad de los sistemas *convencionales* con la calidad ambiental de los sistemas agroecológicos [5]. El manejo de la fauna del suelo, especialmente de los llamados *ingenieros del ecosistema*, es una opción muy prometedora, aunque la ignorancia de los productores y de muchos agrónomos, requiere un esfuerzo muy especial de investigación y de socialización de los resultados [6].

En este artículo se hace una reflexión alrededor del modelo de funcionamiento del suelo, donde se explica cómo los diferentes organismos, cooperan en sistemas auto organizados para regular y optimizar todas las funciones del suelo, permitiendo así, una producción primaria sostenida.

Auto organización en los suelos, los sistemas de producción y las sociedades

Los precursores de la ciencia del suelo como Dokuchaev, Jenny [7] y Duchaufour [8], han mostrado que la formación y el funcionamiento del suelo dependen de la interacción de tres elementos fundamentales: el substrato geológico, el clima y los organismos. En el siglo XX se han desarrollado muchos trabajos y teorías describiendo procesos e interacciones basados en este paradigma. Sin embargo, el modelo general de funcionamiento no ha progresado mucho y la investigación muchas veces se ha especializado en cada uno de los componentes, olvidándose del marco global [9].

La urgente necesidad de promover gestiones holísticas de los suelos, que representen el mejor compromiso en la conservación del recurso y la producción sostenible de bienes y servicios ambientales, requiere de un marco conceptual más detallado y amplio que el marco original propuesto por Dokuchaev: *i*) un modelo de funcionamiento del suelo que considere al mismo tiempo los organismos, las estructuras físicas del suelo y los procesos a través de las escalas de espacio y tiempo. Este modelo permitirá evaluar la integridad del suelo y determinar las consecuencias de intervenciones o cambios externos sobre él; *ii*) un modelo de gestión de recursos que integre el suelo, el ambiente global, las sociedades humanas y el sistema económico. Con este modelo, se podrán considerar los mejores compromisos entre los diversos bienes y servicios, así como las necesidades y condiciones de los ámbitos sociales y económicos. El modelo propuesto por Lavelle et al. [10], en línea con lo que plantea Perry [11], reconoce que el suelo responde a las características de los sistemas auto organizados.

En los sistemas auto organizados se pueden evidenciar los siguientes escenarios: *i*) el orden se observa cuando el desorden hubiera sido previsto. La organización de los horizontes del suelo, la distribución de los poros en clases de tamaño y su arreglo espacial, la estructura de las comunidades de invertebrados del suelo o de microorganismos, son ejemplos de esta organización; *ii*) las estructuras y los procesos se refuerzan mutuamente. Un ejemplo en el suelo, es el efecto de la agregación que tiene un efecto positivo sobre la dinámica hídrica del suelo, lo cual, es favorable para la actividad de

los organismos que a su vez, mantienen la agregación por sus actividades. Cabe anotar la relevancia especial del concepto de emergía “*emergy*”, creado por Odum [12] para identificar esta fracción del flujo energético invertida en la construcción de estructuras que modifican el funcionamiento del sistema; *iii*) el sistema al interior, establece límites y mantiene el orden a través de interacciones que se concentran en el espacio delimitado. Distintas observaciones enseñan, por ejemplo, que los dominios funcionales de los organismos ingenieros del suelo (raíces, lombrices, termitas...), poseen límites que pueden definirse con la firma espectral (NIRS) de los agregados producidos del suelo [13,14]; el sistema está lejos del equilibrio, se encuentra en un estado meta estable mantenido por la constante actividad de los organismos. Por ejemplo, la agregación del suelo medida en un momento dado, es el resultado del equilibrio entre un flujo de agregados recién formados por los procesos biológicos y físicos del suelo, y un flujo de destrucción de los mismos.

Si cesa la actividad de formación tras la desaparición de los organismos ingenieros, la agregación del suelo desaparecerá progresivamente o cambiará en formas catastróficas [15].

Finalmente, los sistemas naturales, como es el suelo; están conformados por una jerarquía de sistemas auto organizados a diferentes escalas, encajados uno en el otro. El sistema está estabilizado por relaciones de cooperación enfocadas en las fronteras espaciales y temporales que los delimitan. La Figura 1, ilustra el funcionamiento del suelo, el cual está concebido como una serie de unidades que, al igual que los engranajes de una maquina mecánica, se entrenan, desde las ruedas pequeñas, que tienen procesos rápidos a pequeñas escalas (ej. procesos microbianos en los micro agregados del suelo, hasta procesos lentos que se desarrollan a grandes escalas; la producción de servicios ecosistémicos a la escala del paisaje, de la biomasa o la biosfera) (Figura 1).

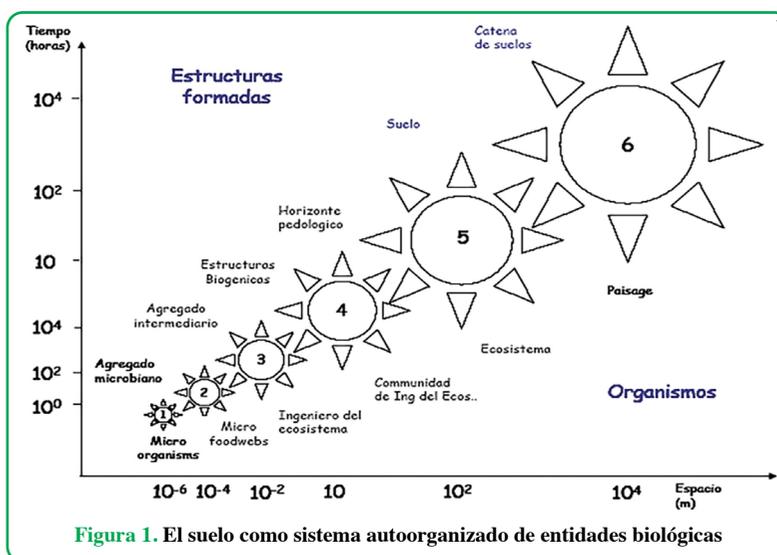
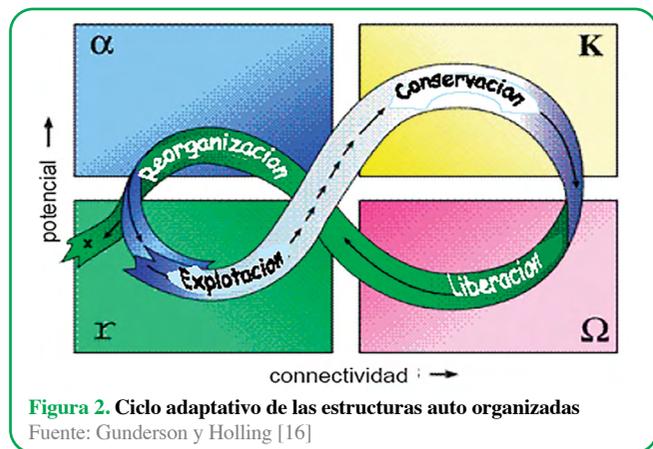


Figura 1. El suelo como sistema autoorganizado de entidades biológicas

De la Figura 1, se infiere que los organismos de tamaños crecientes, desde microorganismos a microinvertebrados (*microfoodwebs*), los ingenieros de ecosistemas y los ecosistemas (eje horizontal), crean estructuras de diferentes tamaños (eje vertical) y organizan al suelo en diferentes escalas anidadas a partir de 1 (agregados microbianos habitados por comunidades microbianas) hasta 5 (paisaje visto como un mosaico de diferentes ecosistemas) (Figura 1); la mayoría de los servicios ecosistémicos basados en el suelo, se perciben y prestan a escala de paisaje [10].

Los sistemas auto organizados de acuerdo con Gunderson y Holling [16], poseen una dinámica en el tiempo que les hace pasar por 4 fases sucesivas a saber: *i*) una fase α de organización, a partir de elementos de la biodiversidad, de materiales (materia orgánica; partículas minerales) y de fuentes de energía o de nutrientes disponibles dentro de las fronteras a partir de las cuales, se va formar el sistema auto organizado (Figura 1). Por ejemplo, una raíz que crece en el suelo, selecciona la microflora al activarla de forma selectiva por la producción de exudados; también crea un hábitat particular para la micro y meso fauna al agregar

el suelo en su entorno, utilizando los elementos minerales y también la porosidad que existían en el microsítio, la materia orgánica y los nutrientes que pueden ser utilizados por la raíz o las micorrizas que crecen sobre ella (Figura 2).



ii) Una fase *r* de crecimiento rápido, que corresponde a la expansión del sistema, el cual aumenta su conectividad mientras se vuelve más complejo al aumentar la biodiversidad y la diversidad de las estructuras físicas creadas (Figura 2); iii) una fase *K* de conservación donde el sistema una vez llegado a la madurez, se mantiene en un estado meta estable (Figura 2); iv) Una fase Ω de destrucción del sistema, cuando se presentan eventos externos (ej. La destrucción física y/o la dispersión de las estructuras creadas; la muerte del organismo ingeniero principal que estaba produciendo las estructuras y activando de forma selectiva, los microorganismos presentes) (Figura 2).

Respondiendo preguntas aún sin respuesta

La división de la ciencia del suelo en múltiples subdisciplinas y el confinamiento de ciertos problemas en un solo campo disciplinar, no han hecho posible avanzar en ciertos problemas a pesar de su importancia. Se presentan a continuación, dos ejemplos particulares.

Dinámica de la materia orgánica y la agregación del suelo

Existe una extensa literatura que enseña la conservación o secuestro del Carbono en el suelo, ligada al proceso de agregación [17]. Si bien los físicos pueden medir la

resistencia de los agregados hacia agresiones físicas, pueden medir además, la cantidad de agregados estables presentes en un suelo; no tienen idea ni del origen (*¿quiénes los hicieron?*) ni de la dinámica (*¿cómo se transforman? o ¿cuánto tiempo durara?*). Sin respuesta a estas preguntas, es difícil diseñar sistemas de manejo del suelo que acumulen Carbono. Se conocen empíricamente cuatro (4) condiciones para que el suelo se agregue y conserve Carbono: i) que se aporten abonos orgánicos; ii) que se mantenga una cobertura, viva o muerta, pero permanente; iii) que se limite al máximo el trabajo físico del suelo por labranza y iv) que no se aplique ningún tipo de biocida.

Pero el mecanismo preciso que permite la creación de estos agregados, está poco conocido. Los macro agregados del suelo están de hecho, producidos en gran parte, por los macroinvertebrados llamados *ingenieros del ecosistema*, solos o en asociación con las raíces, que son también grandes constructoras de agregados. La visión holística propuesta con el modelo de auto organización, permite considerar todos los procesos, los organismos y las estructuras involucradas en el secuestro de Carbono en el suelo [17]. Estudios detallados de estos procesos, permitirán optimizar el secuestro de C en los suelos, proceso que es muy necesario para disminuir la carga de C en la atmósfera.

El papel de la biodiversidad en el funcionamiento del suelo

Una extensa reciente literatura, ha mostrado la importancia de la biodiversidad y su papel en el suelo [18]. Aunque todavía la mayoría de las especies presentes estén sin describir, se estima que un tercio de la biodiversidad global vive en los suelos. Sin embargo, falta todavía entender mejor el papel de esta biodiversidad en la provisión de los servicios ecosistémicos del suelo. La mayoría de los estudios se limitan a evaluar el efecto de un solo grupo taxonómico, sean los microorganismos (bacterias, micorrizas y otros), la microfauna con el tema de las cadenas tróficas que ella constituye, la meso o la macrofauna. Es muy importante articular estos efectos en modelos más holísticos, con el fin de evitar la extrapolación de datos obtenidos en condiciones limitadas de biodiversidad; a veces sin plantas y en suelos desagregados, hacia los ecosistemas reales. La publicación de un meta análisis de datos, sobre las emisiones de gases efecto invernadero por las lombrices, es un ejemplo de este problema [19].

Si bien es cierto, una biomasa incrementada de lombrices que es mantenida en un suelo desagregado, libera óxidos nitrosos, gran parte de esta emisión se debe a la desnitrificación de las grandes cantidades de amonio que producen las lombrices de tierra en densidad exagerada, en un espacio reducido que se vuelve anaeróbico; en ausencia de plantas que normalmente hubieran absorbido este nitrógeno mineral.

Conclusión

El modelo de auto organización propuesto aquí, es una guía que habría que tomar en cuenta para diseñar experimentos y nuevos tipos de manejo de los suelos, que permitan conservar y amplificar la producción de los servicios ecosistémicos.

Consentimiento de publicación

El autor leyó y aprobó el manuscrito final.

Conflicto de intereses

El autor declara no tener ningún tipo de conflicto de interés.

Perfil de autoría

Patrick Lavelle

Es profesor emérito de la Pierre et Marie Curie, Universidad de París, donde obtuvo un doctorado en Ecología. Es especialista en Ecología de Suelos, con especial conocimiento de lombrices y otros macroinvertebrados del suelo. Ha sido Director del Laboratoire d'Ecologie des Sols Tropicaux y ha dirigido proyectos de investigación y estudios de doctorado en muchos países de África tropical, América, China, India y Francia. Es autor de más de 200 artículos en revistas internacionales y de un libro de texto sobre Ecología del suelo publicado en 2001 con Alisterc España. Es miembro de la Academia Francesa de Ciencias.

Recientemente, ha desarrollado en la ciudad de Cali-Valle del Cauca-Colombia, donde vive actualmente, programas de educación ambiental para colegios y estudiantes universitarios, articulados con una apuesta audiovisual que combinan teatro, música y ciencia para explicar la problemática ambiental. Es autor e intérprete, con su banda de músicos profesionales Los Hijos de Gaia, de 16 canciones que describen las bellezas del planeta Tierra y los problemas ambientales y sociales vinculados a las actividades humanas (canal YouTube: Patrick Lavelle y Los Hijos de Gaia).



Referencias

- [1] Gollin D, Hansen CW, Wingender A. Two blades of grass: The impact of the green revolution. Cambridge, MA: 2018. <https://doi.org/10.3386/w24744>.
- [2] James SW, Csuzdi C, Chang C-H, Aspe NM, Jiménez JJ, Feijoo A, et al. Comment on “Global distribution of earthworm diversity.” *Science* 2021;371. <https://doi.org/10.1126/science.abe4629>.
- [3] Millennium Ecosystem Assessment. *Ecosystems and human well-being: Synthesis*. Washington, DC., USA: 2005.
- [4] Duran-Bautista EH, Armbrecht I, Serrão Acioli AN, Suárez JC, Romero M, Quintero M, et al. Termites as indicators of soil ecosystem services in transformed amazon landscapes. *Ecological Indicators* 2020;117. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106550>.
- [5] Tiftonell P, Piñeiro G, Garibaldi LA, Dogliotti S, Olf H, Jobbagy EG. Agroecology in Large Scale Farming—A Research Agenda. *Frontiers in Sustainable Food Systems* 2020;4. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.584605>.
- [6] Velasquez E, Lavelle P. Soil macrofauna as an indicator for evaluating soil-based ecosystem services in agricultural landscapes. *Acta Oecologica* 2019;100. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2019.103446>.
- [7] Pendleton RL, Jenny H. Factors of Soil Formation: A System of Quantitative Pedology. *Geographical Review* 1945;35. <https://doi.org/10.2307/211491>.
- [8] Lavelle P. Ecology and the challenge of a multifunctional use of soil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 2009;44. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2009000800003>.
- [9] Lavelle P. Ecological challenges for soil science. *Soil Science* 2000;165:73–86.
- [10] Lavelle P, Spain A, Blouin M, Brown G, Decaëns T, Grimaldi M, et al. Ecosystem Engineers in a Self-

- organized Soil. *Soil Science* 2016;181. <https://doi.org/10.1097/SS.000000000000155>.
- [11] Perry DA. Self-organizing systems across scales. *Trends in Ecology & Evolution* 1995;10. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(00\)89074-6](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(00)89074-6).
- [12] Odum HT. *Environmental accounting: Emergy and environmental decision making*. New York, NY: Wiley; 1996.
- [13] Velasquez E, Lavelle P, Barrios E, Joffre R, Reversat F. Evaluating soil quality in tropical agroecosystems of Colombia using NIRS. *Soil Biology and Biochemistry* 2005;37:889–98. <https://doi.org/10.1016/J.SOILBIO.2004.09.009>.
- [14] Hedde M, Lavelle † P, Joffre R, Jiménez JJ, Decaëns T. Specific functional signature in soil macro-invertebrate biostructures. *Functional Ecology* 2005;19:785–93. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2005.01026.x>.
- [15] Chauvel A, Grimaldi M, Barros E, Blanchart E, Desjardins T, Sarrazin M, et al. Pasture damage by an Amazonian earthworm. *Nature* 1999;398. <https://doi.org/10.1038/17946>.
- [16] Gunderson LH, Holling CS. *Panarchy. Understanding transformations in human and natural systems*. Washington, D.C., USA: Island Press; 2002.
- [17] Lavelle P, Spain A, Fonte S, Bedano JC, Blanchart E, Galindo V, et al. Soil aggregation, ecosystem engineers and the C cycle. *Acta Oecologica* 2020;105:103561. <https://doi.org/10.1016/J.ACTAO.2020.103561>.
- [18] Orgiazzi A, Singh B, Wall D, Barrios E, Kandeler E, Moreira F, et al. *Global soil biodiversity atlas*. 1st ed. Luxembourg: JRC Publications Repository; 2016.
- [19] Lubbers IM, van Groenigen KJ, Fonte SJ, Six J, Brussaard L, van Groenigen JW. Greenhouse-gas emissions from soils increased by earthworms. *Nature Climate Change* 2013;3. <https://doi.org/10.1038/nclimate1692>.

Desarrollo de nuevos diseños vegetales: Mejora genética vs transformación genética y edición génica

Development of new plant design: plant breeding vs genetic transformation and gene editing

Pedro Martínez Gómez 

Acceso Abierto

*Correspondencia:
pmartinez@cebas.csic.es
Departamento de Mejora Vegetal.
CEBAS-CSIC, PO Box 164, E-30100
Espinardo, Murcia, España

Recibido: 24-03-2021
Aceptado para publicación:
28-08-2021
Publicado en línea: 20-09-2021

Palabras clave:

CRISPR;
Edición génica;
Medioambiente;
Mejora genética;
OMG;

Key words:

Breeding
CRISPR;
environment;
gene editing;
GMO;

Resumen

El objetivo de esta reflexión es realizar un estudio comparativo sobre la eficacia, eficiencia técnica y costo de las tecnologías más importantes para el desarrollo de nuevos diseños vegetales, incluyendo la mejora genética, la transformación genética y la edición génica. Si bien, la obtención de organismos modificados mediante transformación genética y edición génica es un proceso con una mayor eficacia y eficiencia y un menor costo, se debe hablar por otro lado, de un rechazo social de estos organismos modificados genéticamente a nivel medioambiental, de salud pública, económico y religioso en un contexto anti tecnológico de rechazo. Por otro lado, existe una ideología tecnológica de apoyo a estas investigaciones. Esta ideología habla de la necesidad de dejar a los científicos las manos libres para escrutar los secretos de la naturaleza. El binomio ciencia-opinión pública, está también más que presente en el debate de esta cuestión; además de la persuasión en ambos bandos a favor y en contra de los cultivos modificados. En este contexto, una mayor cultura técnica en la población y cultura tecnológica y de la innovación entre los agricultores, será lo que potencializará este tipo de cultivos. Finalmente, un análisis funcional de la biotecnología en general y la obtención de plantas modificadas en particular, puede mejorar su percepción social en línea con la mayor entrañabilidad de la tecnología, sería también de interés de cara a neutralizar el rechazo inicial de la tecnología.

Abstract

The aim of this reflection is to carry out a comparative study on the efficacy, technical efficiency and cost of the most important technologies for the development of new plant designs, including plant breeding, genetic transformation and gene editing. Although obtaining this type of organisms is a process with greater effectiveness and efficiency and at a lower cost, on the other hand, we must speak of a social rejection of these genetically modified organisms at an environmental, health level public, economic and religious in an anti-technological context of rejection. On the other hand, there is a technological ideology to support these investigations. This ideology speaks of the need to have allowed to scientists have their hands free to scrutinize the secrets of nature. The science-public opinion binomial is also more than present in the debate on this question; as well as persuasion on both sides for and against modified crops. In this context, a greater technical culture in the population and a technological culture and innovation among farmers, will be what will potentiate this type of crops. Finally, a functional analysis of biotechnology in general and obtaining modified plants in particular, can improve their social perception in line with a greater technology endearing, it would also be of interest in order to neutralize the initial technology rejection.

Introducción

Desde hace más de siete mil años, los seres humanos se han dado cuenta de que es posible seleccionar especies de plantas con el fin de facilitar su cultivo para la producción de alimentos, lo que se denominó, *el arte de la agricultura*. Este proceso de adaptación y selección, se denomina domesticación e implica una serie de prácticas, el mejoramiento genético vegetal. La mejora genética vegetal se constituye una ciencia aplicada. Dentro de esta ciencia aplicada en los primeros milenios, surge la biotecnología con métodos muy rudimentarios [1].

En el Siglo I a.C. el escritor hispano-latino Columela, escribía en su obra *De Rústica* “*si la cosecha es excepcional, las semillas de grano deben moverse en un recipiente y las que van al fondo deben utilizarse para la reproducción*” [2]. Posteriormente, esta biotecnología dedicada a la obtención de nuevas variedades de plantas, va desarrollando e incorporando nuevas metodologías cada vez más sofisticadas hasta llegar a la aplicación de las tecnologías del ADN recombinante y la transformación genética para la obtención de organismos modificados genéticamente [3]. Más recientemente, surge la edición de genes, mediante la cual, se brinda la posibilidad de modificar la cadena de ADN en unas posiciones concretas. Esta edición génica (también denominada edición genética), se basa en el uso de unas secuencias de ADN específicas presentes en las bacterias, denominadas repeticiones palindrómicas, cortas, agrupadas y regularmente interespaciadas; conocidas por sus siglas en inglés como CRISPR (*clustered regularly interspaced short palindromic repeats*) [4].

Este desarrollo histórico, entraría dentro de lo que el filósofo Ortega y Gasset [5] llama *estadios de la técnica*; un primer estadio del azar (la domesticación de las especies), un segundo estadio artesano (la etapa pregenética basada en la experimentación y los cruzamientos) y un último estadio técnico (después de Medel y del descubrimiento de la estructura del ADN en lo que se llama genética molecular y genómica) [5]. Para Ortega y Gasset [5], no existe hombre sin técnica y está presente en todos los ámbitos, incluida la vida de las plantas; señalando que, a principios del siglo XX, nos encontrábamos en una “*mutación tecnológica*”, única en la historia; Situación más acusada en estos inicios del siglo XXI.

El objetivo de esta reflexión es realizar un estudio comparativo sobre la eficacia, eficiencia técnica y costo de las tecnologías más importantes para el desarrollo de nuevos diseños vegetales, incluyendo la mejora genética, la transformación genética y la edición génica.

Desarrollo de nuevos diseños vegetales

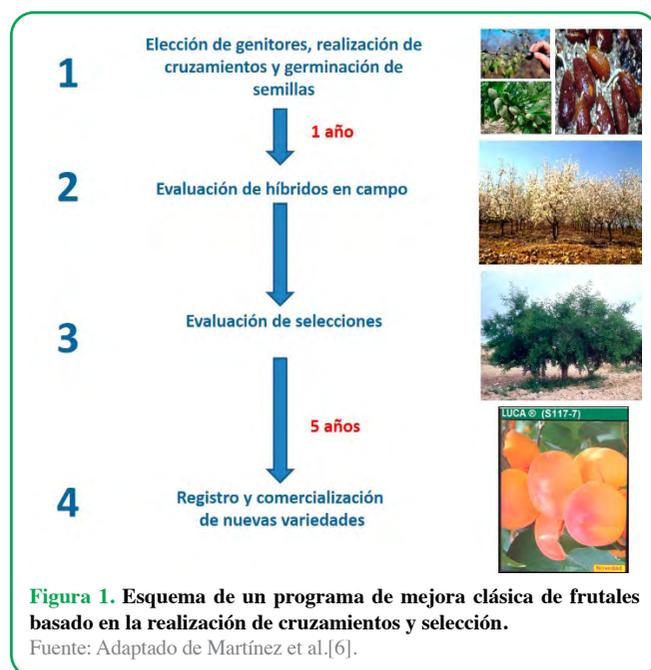
El desarrollo de nuevos diseños vegetales es una ciencia aplicada que requiere de un soporte empírico, basado en la observación y experimentación encaminada a la resolución de problemas concretos, por ejemplo, la productividad, la resistencia a estreses bióticos y abióticos, la calidad del fruto, entre otros [6]. Tiene un componente de ciencia de la naturaleza, en la medida en que se apoya en las ciencias de la vida; en particular, en la genética. Cabe considerarla entonces como una ciencia empírica aplicada. Al mismo tiempo, es una ciencia de lo artificial. Lo es por sus objetivos, procesos y resultados, puesto que surge de un diseño que da lugar a todo lo demás. Así, la mejora genética vegetal sirve de base para la biotecnología; porque, al mismo tiempo que es una ciencia cada vez más relacionada con potenciar las posibilidades humanas —*que es un rasgo de las ciencias de diseño dentro de la ciencia de lo artificial*—, está estrechamente relacionada con la obtención de nuevas patentes, proporciona conocimiento científico que sirve de base para la Industria agrícola [7,8].

Desarrollo de nuevas variedades vegetales mediante mejora genética clásica

La hibridación y realización de cruzamientos en plantas, solía ser una disciplina de interés aplicado exclusivamente dentro de la botánica, la cual fue desarrollándose a lo largo de los años. Los seleccionadores de plantas, observaban que los caracteres a mejorar, eran sobre todo, los relativos a la cantidad (producción, rendimiento, tamaño del grano, etc.). Mejorar significaba ir “*hacia más*”. Los que habían intentado comprender cómo funcionaban los mecanismos de herencia o mejora, eran más los estadísticos que los biólogos [1].

Estas técnicas de mejora basadas en los cruzamientos, se mantienen en la actualidad en lo que respecta a programas de mejora de plantas para la agricultura [9] (ver Figura

1), o programas de cría de nuevas razas de animales en la ganadería. Las prácticas ancestrales relacionadas con la mejora genética de plantas, evidencian el respeto por los límites de la naturaleza, trabajando con genes que existían en las diferentes especies vegetales [6].

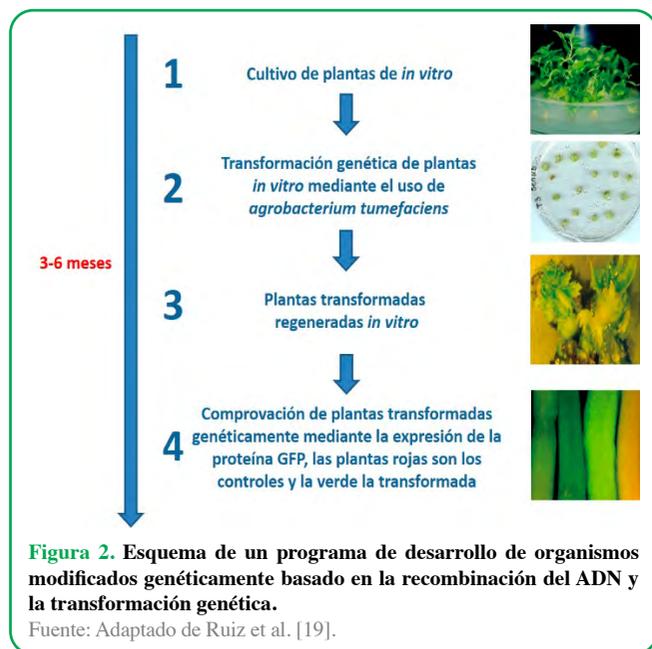


La mejora vegetal, tiene como principio básico el generar variabilidad y seleccionar los individuos con los caracteres deseados; mejorando lo existente y ampliando el elenco varietal disponible, dando respuesta a las necesidades de productores y consumidores. Para ello se utiliza el polen como vehículo de información genética y así realizar los cruzamientos para la obtención de nuevos individuos que serán seleccionados de acuerdo con unos criterios establecidos. Tomando como ejemplo la mejora genética de frutales [6], los caracteres más importantes en un programa de mejora genética vegetal, son los siguientes: *i*) el árbol: autocompatibilidad floral, época de floración y maduración, productividad y resistencia a plagas y enfermedades; *ii*) fruto y/o semilla (almendro): calidad organoléptica del fruto, tamaño del fruto y la semilla, forma del fruto y la semilla, sabor de la semilla, dureza de la cáscara y rendimiento al descascarado. Esta tecnología presenta el problema de la duración de los procesos de cruzamiento que, en algunos casos, se hace necesario replicar con más retrocruzamientos y en otros casos, como los frutales, se debe esperar varios años en cada proceso (Figura 1).

Desarrollo de organismos modificados genéticamente mediante transformación genética

El descubrimiento de la estructura del ADN (1953), con la definición exacta del gen y el establecimiento (1970) de lo que se denomina el dogma central de la biología molecular: “la información genética puede ser transferida entre los ácidos nucleicos, y a partir de ácidos nucleicos a proteínas, incluyendo la replicación del ADN, transcripción de ARN y la traducción a proteína expresada en el fenotipo” [10]; se erigen como la contribución más importante a las ciencias biológicas en el siglo XX.

Estos nuevos descubrimientos sobre las moléculas implicadas en la herencia, fueron también incorporados a las metodologías aplicadas en mejora genética vegetal en lo que ha sido llamada la era “genética molecular” [11]. El descubrimiento de la estructura del ADN, revolucionó los paradigmas científicos de los estudios genéticos en plantas, cambiando la genética de una ciencia fenomenológica y estadística, a una ciencia molecular y química. Las cuestiones relacionadas con los mecanismos de transmisión genética, la segregación, la mutación y la expresión de los caracteres, fueron reformulados en términos químicos y moleculares. Posteriormente, como resultado del desarrollo de técnicas de secuenciación del ADN, se pudo acceder al conocimiento genético a nivel de cada nucleótido en la denominada era de la “Genómica”. Una de las tecnologías más usadas desde finales de los años 60, son las tecnologías basadas en la recombinación del ADN [12]. Después del estudio de bacterias, se aislaron diferentes enzimas como polimerasas, retro transcriptasas, endonucleasas o ligasas que eran capaces de cortar, empalmar o amplificar el ADN. Las teorías de recombinación de ADN se basaban en el uso de estas enzimas en el laboratorio para crear ADN artificial o recombinante. El avance del conocimiento biotecnológico y la mejora han avanzado muchísimo y en paralelo a lo largo del siglo XX, desde el redescubrimiento de las leyes de Mendel, a la obtención de los primeros maíces híbridos o las mutaciones inducidas. Hechos fundamentales, han sido el descubrimiento de la estructura del DNA, la posterior revolución verde o el cultivo *in vitro* (Figura 2).



La biotecnología sufrió un impulso definitivo en los años 80 con la secuenciación Sanger, con la invención de la PCR y la obtención de los primeros organismos superiores transformados genéticamente a principios de los años ochenta. Fue en 1974, cuando se crearon las primeras bacterias modificadas, en 1980, el primer animal que fue un ratón y en 1988, las primeras plantas de maíz transgénico. Gracias al desarrollo de técnicas de cultivo *in vitro*, una de las aplicaciones más importantes del ADN recombinante, fue la creación de plantas y animales modificados genéticamente, lo que se denominan todavía en la actualidad, transgénicos [3,13]. En unos meses se puede obtener mediante cultivo *in vitro*, una planta modificada genéticamente (Figura 2).

Desarrollo de organismos modificados genéticamente mediante edición génica

A partir del conocimiento de la secuencia completa de los genomas de los organismos vivos, se ha desarrollado una tecnología posgenómica de edición de genes, capaz de modificar la cadena de ADN en unas posiciones concretas. La edición génica (también denominada edición genética), se basa en el uso de unas secuencias de ADN específicas presentes en las bacterias, denominadas repeticiones palindrómicas cortas, agrupadas y regularmente espaciadas, conocidas

por sus siglas en inglés como CRISPR (clustered regularly interspaced short palindromic repeats) [4].

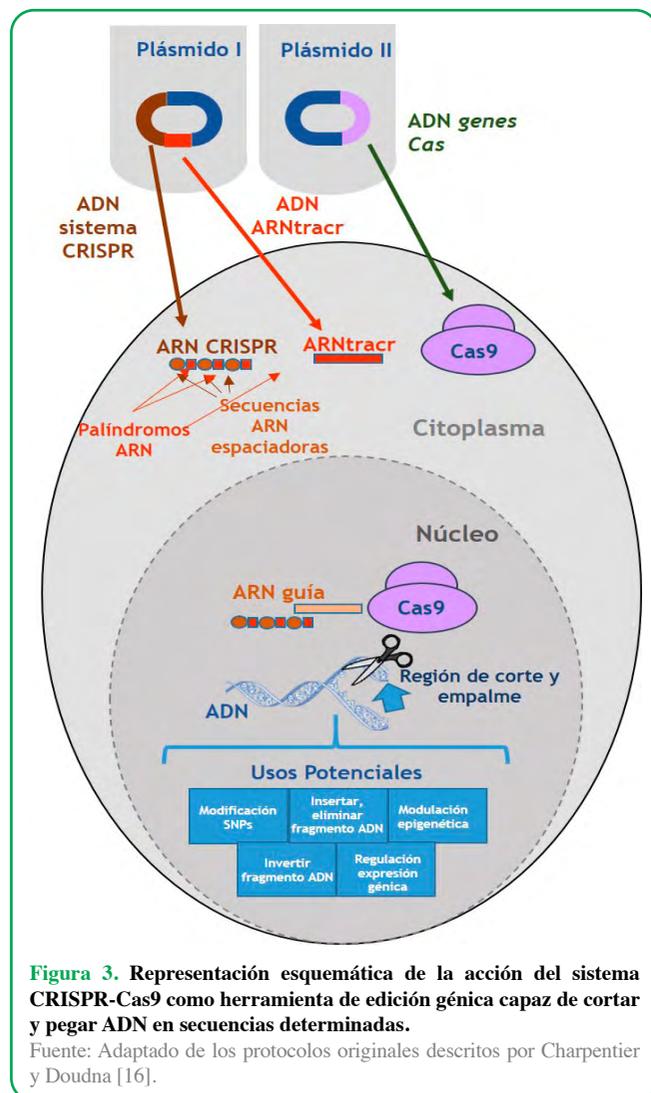
Estos tipos de secuencias CRISPR fueron descritas por primera vez por Mojica et al. [14], en numerosas especies de bacterias. Hasta el año 2010, estas secuencias fueron estudiadas como mecanismos de respuesta inmunitaria de las bacterias a virus. Las secuencias CRISPR permitían a la bacteria incorporar parte del ADN del virus, lo que se consideran secuencias espaciadoras dentro del sistema CRISPR, y mediante una proteína del tipo nucleasa llamada cas-9 (CRISPR associated protein 9), destruir los fragmentos de un nuevo ADN viral que coincidía con las secuencias espaciadoras incorporadas. Este mecanismo de eliminación de bases de ADN del virus mediante el sistema CRISPR-cas9, era considerado un tipo de respuesta inmune específica de la bacteria a cada virus determinado [4]

Sin embargo, Haurwitz et al. [15], descubrieron que las proteínas cas1 (ya habían sido aisladas numerosas nucleasas de este tipo al igual que cas-9), podían funcionar también como tenazas químicas que permiten cortar pequeños fragmentos de ARN de CRISPR, los cuales sirven para reconocer el ADN del virus [15]. Finalmente, en un par de años, los equipos liderados por Emmanuelle Charpentier desde Suecia y Jennifer A. Doudna desde EEUU, desarrollaron la tecnología definitiva para usar el sistema CRISPR-Cas9, como herramienta de edición de genes, corta-pega de ADN en las regiones del genoma deseadas. Lo que hicieron fue combinar las secuencias CRISPR con un ARN guía [llamado *Trans-activating crRNA (ARNtracr)*] por un lado en un plásmido y en otro plásmido, las secuencias Cas [16] (ver Figura 3).

De esta forma, se proponía una nueva tecnología basada en Cas9 programada por ARN para la detección y edición del genoma en las posiciones deseadas. Por primera vez, se podía modificar el genoma en la posición deseada; una técnica de transformación genética revolucionaria, que, a diferencia de la transformación genética clásica de la genómica, sí permitía seleccionar la región a modificar y no hacerlo de forma aleatoriamente. Se había desarrollado una tecnología de edición génica capaz de modificar la cadena de ADN en unas posiciones concretas, permitiendo: *i)* modificar una única base de ADN; *ii)* activar o inhibir la expresión de un gen; *iii)* insertar, eliminar o invertir un fragmento de ADN; *iv)*

modular la regulación epigenética de un gen, entre otras aplicaciones [4] (Figura 3).

De hecho, estas investigadoras, recibieron en el año 2020, el Premio Nobel de Química por este descubrimiento. En la actualidad, se utiliza un único plásmido donde van insertados todos los fragmentos de ADN; pudiéndose incluir hasta 20 guías distintas para actuar simultáneamente en 30 regiones diferentes del genoma [17] (Figura 3).



Mejora genética vs transformación genética y edición génica

El descubrimiento de la estructura del ADN (1953), trajo consigo la definición exacta de las técnicas de obtención de nuevas variedades transgénicas, lo que se conoce

como organismos modificados genéticamente; estos se presentan como una alternativa a la obtención de nuevas variedades mediante mejora genética clásica [11].

La mejora genética clásica y la mejora por ingeniería genética o transformación genética, son fundamentalmente distintas, a pesar de su similitud superficial. La mejora genética clásica recurre a caracteres fenotípicos cualitativos y cuantitativos favorables, los cuales son ya existentes en la diversidad genética de la especie, al desarrollar fenotipos superiores para un agroecosistema. En cambio, en el ámbito operativo actual, la mejora por ingeniería genética o transformación genética, excluye a los caracteres cuantitativos, lo cual lo hace dependiente de la mejora genética clásica, al desarrollar un fenotipo superior en el agroecosistema.

La precisión proclamada de la transformación genética, y más específicamente en el caso de la edición génica, se limita al conocimiento exacto del gen transgénico, una vez hecha la inserción de una quimera transgénica. Sin embargo, esa inserción se realiza sin blanco definido (en un cromosoma y menos en un locus), acarreado diversas consecuencias que pueden ser negativas al obtener unas nuevas variedades totalmente ajenas a lo existente en la naturaleza y que cuestionan la técnica en cierto modo [4,18,19].

Estas son las dos grandes cuestiones, en la transformación genética y la edición génica, únicamente se incorpora un gen mientras que, en la mejora por cruzamientos, se incorporan la mitad de los genes en cada cruzamiento. Por otro lado, la realización de cruzamientos y retrocruzamientos en campo y su evaluación, es mucho más tediosa que el trabajo llevado a cabo en condiciones de laboratorio para efectuar la transformación genética y la edición génica [17–19].

La otra gran ventaja, es el registro y la protección de los organismos transformados genéticamente; lo cual es mucho más efectivo, porque al no poder propagarse estas plantas fuera de las condiciones de laboratorio, causan afectación a la vertiente económica en términos de la obtención y uso de los transgénicos en la mayoría de los casos, en manos de grandes multinacionales. El primer caso de protección intelectual de plantas fue la Ley de Protección de Patentes de Plantas promulgada en 1930 en Estados Unidos. Sin embargo, a nivel mundial, hubo que esperar hasta 1961, para la creación de la primera

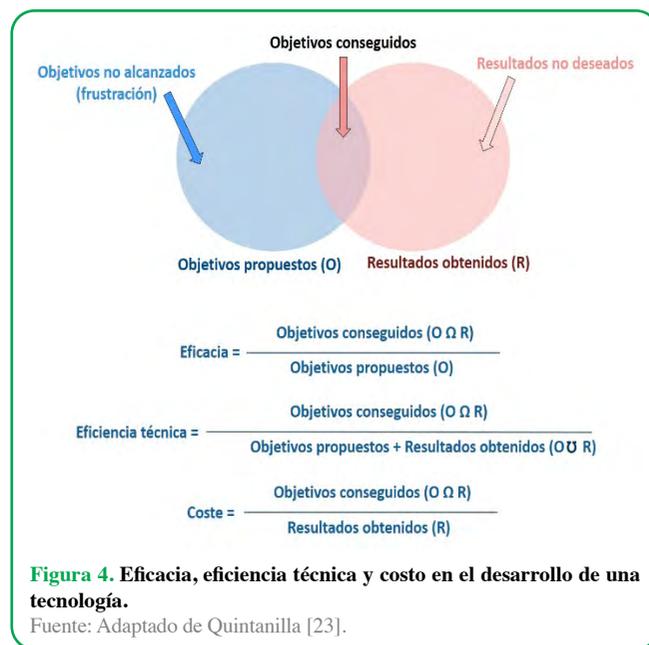
Unión para la Protección de la Innovación de Variedades Vegetales (UPOV) [2]; en el caso de los transgénicos, esta protección es aún mayo, debido a que el agricultor no puede por sus medios, multiplicar la variedad. Una innovación, en cuanto a creación de una nueva variedad modificada genéticamente, se diferencia claramente de un descubrimiento. Esa innovación o “*invento*” en cuanto que tiene como resultado, materiales y procesos que no existen en la naturaleza sin la intervención del hombre; como sucede con las nuevas variedades. El descubrimiento conduce al aumento de conocimiento sobre la naturaleza y sus dinámicas, mientras que un descubrimiento no es patentable, un invento sí.

Por otro lado, Jasanoff [20], quien ha sido una de las estudiosas más importantes de los efectos económicos del uso de transgénicos, denuncia el carácter imperial de EEUU a partir de la II guerra mundial y sobre todo, durante la guerra fría a partir de los años 50 del siglo XX. Este carácter de imperio, se manifiesta en toda su dimensión en la agricultura y sobre todo, en la aplicación de la biotecnología en la agricultura y el uso de organismos modificados genéticamente. Posteriormente, describe lo que ella llama “*la Constitución del Imperio*”, como una consolidación social e ideológica de este imperio americano en torno al enemigo que es la Unión Soviética y el comunismo como forma de organización económica frente al capitalismo americano. Jasanoff [20], menciona además un caso paradigmático de este imperio de la biotecnología, las plantas modificadas genéticamente, y más concretamente, los maíces modificados genéticamente con el gene bt de la resistencia al talador de la multinacional Monsanto™. Como conclusión, Jasanoff [20], expone la gobernanza mundial biotecnológica de EEUU, como una expresión de colonialismo e imperialismo.

Evaluación de la eficacia, eficiencia técnica y el costo del desarrollo de nuevos diseños vegetales

Es necesario tener en cuenta también la complejidad funcional de los “*diseños*” realizados a partir de la realización de cruzamientos y la transformación genética. Estos bioartefactos creados por el hombre, dentro del ámbito de lo artificial, producen cambios significativos en ciertos rasgos de las especies vegetales a través de diferentes

mecanismos. Además, en este desarrollo de los bioartefactos, es necesario tener en cuenta su componente de la nueva tecnología que se desarrolla [21,22]. Desde este punto de vista del proceso tecnológico y en línea con el criterio expuesto por Quintanilla [23], la eficacia se definiría como la ratio entre los objetivos conseguidos y los objetivos propuestos; la eficiencia técnica como la ratio, hace referencia a los objetivos conseguidos y los objetivos propuestos en adición de los resultados obtenidos; y el costo, se puede definir como la ratio entre los objetivos conseguidos y los resultados obtenidos [24] (Figura 4).

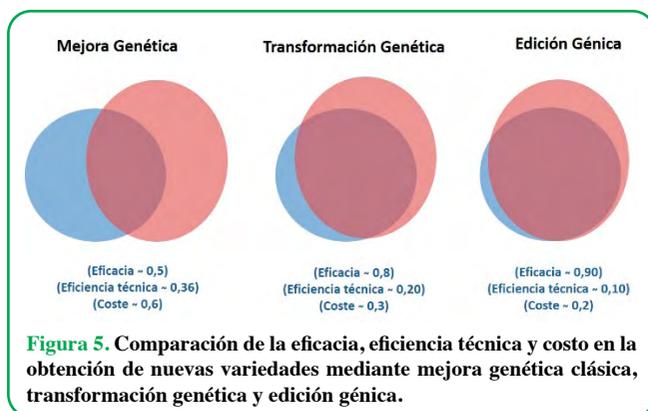


Además de Vries [25], habla de un tipo de artefactos catalogados como “*bio-engineered plants*” (plantas de bioingeniería) en la que se catalogarían nuestros bioartefactos producidos mediante transformación genética además de “*greenhouse plants*” (plantas de invernadero) análogas a nuestras plantas obtenidas mediante mejora clásica [25].

Comparación de la eficacia y la eficiencia técnica entre la mejora genética, la transformación genética y la edición génica

La mejora genética presenta una menor eficacia como tecnología, frente a la transformación genética y la edición génica, debido a que al usar como vehículo de

información genética el polen, además de los genes de interés, se introducen otros genes no deseados. Por lo tanto, los resultados obtenidos, serán menores respecto a los objetivos propuestos. En el caso de las plantas obtenidas mediante transformación genética, y sobre todo, a través de la edición génica; como se introducen únicamente los genes deseados, esta eficacia resulta mucho mayor (Figura 5).



Además de una mayor eficacia, de acuerdo con el criterio de Quintanilla [23], el desarrollo de bioartefactos mediante la transformación genética y sobre todo, a través de la edición génica, presenta una mayor eficiencia técnica (Figura 5). Por lo tanto, el proceso de selección en el caso de la mejora genética, resulta más largo y costoso, por tener que realizarse en el campo, respecto a la transformación genética, donde los biomarcadores permiten una primera selección *in vitro* [6,19]. Esta mayor eficiencia técnica (Figura 5), posee también unas connotaciones económicas en el contexto del costo de cada tecnología que se analizará a continuación.

Comparación del costo entre la mejora genética, la transformación genética y la edición génica

En consonancia con la mayor eficacia y eficiencia, el desarrollo de bioartefactos mediante transformación genética y, sobre todo, edición génica, presenta un menor costo (Figura 5). Entre las variables económicas a tener en cuenta en el desarrollo de la tecnología, el costo es una de las más importantes. Así, la durabilidad (su ciclo de vida) de un bioartefacto, como es una nueva variedad genética o su precio de mercado, afecta a la innovación tecnológica.

Se debe partir de un quehacer humano orientado hacia objetivos viables, pero con un costo razonable a nivel del esfuerzo para la realización del diseño. También, se asume que la posterior difusión del nuevo bioartefacto, depende de su propia entidad como actividad humana conectada también con otras actividades, derivadas de la política tecnológica elegida [26].

Guston [27], propone un esquema de flujo de dinero desde la economía a la ciencia y un flujo de investigación desde la ciencia a la economía. En este contexto económico, la inversión en términos financieros, resulta en principio, más rentable en el caso del desarrollo de plantas transgénicas. Esta mayor rentabilidad, está dada, por un lado, por la mayor eficacia, eficiencia técnica y el menor costo de esta tecnología antes mencionado. Adicionalmente, el registro y protección de los organismos transformados genéticamente, es mucho más efectivo al no poder propagarse este tipo de plantas en condiciones externas de los laboratorios [27].

Guston [27], propone además un contrato social de la ciencia para mejorar estos flujos. Uno de los pilares de este contrato, debe ser la autorregulación de la ciencia de cara a mejorar la integridad de la misma [27]. Esta autorregulación de la ciencia, es si cabe aún más importante en el caso del desarrollo de nuevas tecnologías, la cual posee una repercusión directa en la sociedad. Una de estas tecnologías, es la del desarrollo de plantas transgénicas. En este sentido, algunos autores, proponen una tecnología capaz de regular la propia tecnología; un proceso sin duda alguna que estaría dentro del control social de la tecnología [28].

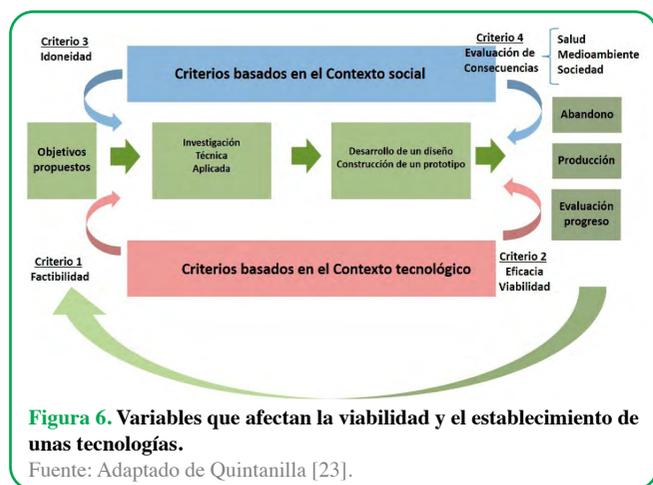
Adicionalmente, Guston [27], presenta unas estrechas relaciones entre economía y política. Son precisamente los países con una mayor producción o participación en el cultivo de plantas transgénicas, como Argentina o EEUU, los que poseen una legislación más laxa en esta materia; los políticos de estos países, hacen leyes orientadas a potencializar la economía derivada de los transgénicos.

En la Unión Europea si bien estuvo prohibido el cultivo de transgénicos, en estos momentos, las actuales directivas, ponen en evidencia algunos países con una prohibición estricta como Francia y Alemania y otros más permisivos, como es el caso de España. Esta nueva legislación, entra en consonancia con la presión de los “lobbies” económicos relacionados con el cultivo de transgénicos. La Unión

Europea, disponía de una de las reglamentaciones más duras en el mundo sobre los organismos genéticamente modificados (OGM), cuyo cultivo, sólo se permite tras un profundo análisis de riesgo. Sin embargo, tras años de presiones y discusiones, los Estados de la UE, acordaron en el año 2015, una propuesta para disponer cada uno de ellos, de más flexibilidad al tratar con los transgénicos en su propio territorio. La situación ha cambiado drásticamente, de ser común la prohibición, se ha pasado a ser común la autorización.

Crterios de evaluacin basados en el contexto tecnol3gico: variables a evaluar

Adem1s de analizar la eficacia, la eficiencia t3cnica y el costo de cada tecnolog3a (Figura 6); se hace necesario, el examinar las variables que afectan la viabilidad y el establecimiento de otras tecnolog3as. Se puede hablar de variables basadas en el contexto tecnol3gico (ser3an end3genas o internas de la tecnolog3a) y las variables basadas en el contexto social, ex3genas o externas que influyen en ese fen3meno [23]. Ambos grupos de variables, han de ser susceptibles de una valoracin en cada una de las tecnolog3as analizadas y el fruto de este an1lisis, dar1 como resultado, una viabilidad global de la tecnolog3a (Figura 6).



Factibilidad de los desarrollos

La factibilidad de los desarrollos, es otra de las cuestiones importantes a tener en cuenta. Esta factibilidad, est1 basada en variables dentro del contexto tecnol3gico de

cada tecnolog3a [24]. Dentro de este contexto tecnol3gico, de Vries [25], expone los procesos tecnol3gicos en el desarrollo de una tecnolog3a en lo que ser3a nuestros programas de mejora o los trabajos de laboratorio de transgénicos antes descrito. La factibilidad tecnol3gica, depender1 entonces de la existencia de un germoplasma con los genes deseados para el caso de la mejora gen3tica cl1sica; o de la optimizaci3n del proceso del cultivo *in vitro* y de la regeneraci3n de plantas transformadas, para el caso del desarrollo de los organismos modificados gen3ticamente (OMG).

Crterios de evaluacin basados en el contexto tecnol3gico: desarrollos metodol3gicos

La eficacia y viabilidad del programa de mejora gen3tica y del programa de transformaci3n y edici3n gen3tica, depender1 de estos desarrollos metodol3gicos dedicados a la evaluaci3n. Se deben incluir entonces, diversos factores de tipo econ3mico en un programa de mejora gen3tica vegetal, en cuanto se evidencie actividad humana, actividad que estar1 orientada hacia los objetivos gen3tico-vegetales que resulten viables. Los procesos a realizar, han de tener un costo razonable, en cuanto al nivel del esfuerzo para llevar a cabo la realizaci3n del dise1o y los medios a utilizar.

El resultado es dar lugar a un nuevo bio-artefacto, lo que requiere del conocimiento y los procesos cient3ficos. Pero el impacto real para la sociedad, viene con la tecnolog3a que propicia esa innovaci3n mediante unos objetivos y un quehacer, los cuales originan el artefacto biol3gico que surge de transformar la propia realidad y permitir que posea un precio en los mercados. Intervienen as3, una racionalidad cient3fica, una racionalidad tecnol3gica y una racionalidad econ3mica; que sirven como v3a de conexi3n entre ambas. La mediaci3n econ3mica incide directamente en la actividad humana desplegada.

Estos dos t3rminos van relacionados en el contexto econ3mico antes mencionado en la Figura 6, la relaci3n entre ciencia y econom3a [27]. Por otro lado, la Figura 5 expone la mayor eficacia relacionada con el desarrollo de bioartefectos, mediante la transformaci3n gen3tica, la cual presenta una mayor eficiencia t3cnica. La evaluaci3n de esta factibilidad, eficacia y viabilidad, puede llevar al abandono del nuevo dise1o vegetal; si

no fuera factible su producción, en cualquier caso, este proceso de evaluación es continuo.

Criterios de evaluación basados en el contexto tecnológico: idoneidad

En general, la biología es considerada como una ciencia con una perspectiva teleológica. Esta visión teleológica de la biología, ha sido ampliamente analizada por filósofos de la ciencia, como Rosemberg [29]; donde la visión teleológica puede ser analizada también como un proceso jerárquico y relacionado con la naturaleza [29]. Por eso no es de extrañar que esta creación de vida artificial mediante ADN recombinante, llegara al ideario colectivo del “*monstruo de Frankenstein*” [30]. Dusek [31], por su parte, expone el concepto de la antitecnología para explicar el fenómeno denominado, rechazo a los transgénicos.

Por eso, es claro que la tecnología basada en los límites de la naturaleza como la mejora genética clásica, presenta a priori, una mayor idoneidad en un contexto social respecto a las plantas transgénicas basadas en la inclusión de genes de fuera; saltándose los límites de la naturaleza, lo cual resulta a priori, menos idónea. Además, para Duchesbeau [32], la percepción que tiene de la biología la sociedad en general, es la de una ciencia muy relacionada con la vida y con un carácter netamente teleológico o funcional. Por tanto, es una percepción mucho más sensible que la de otras disciplinas [32].

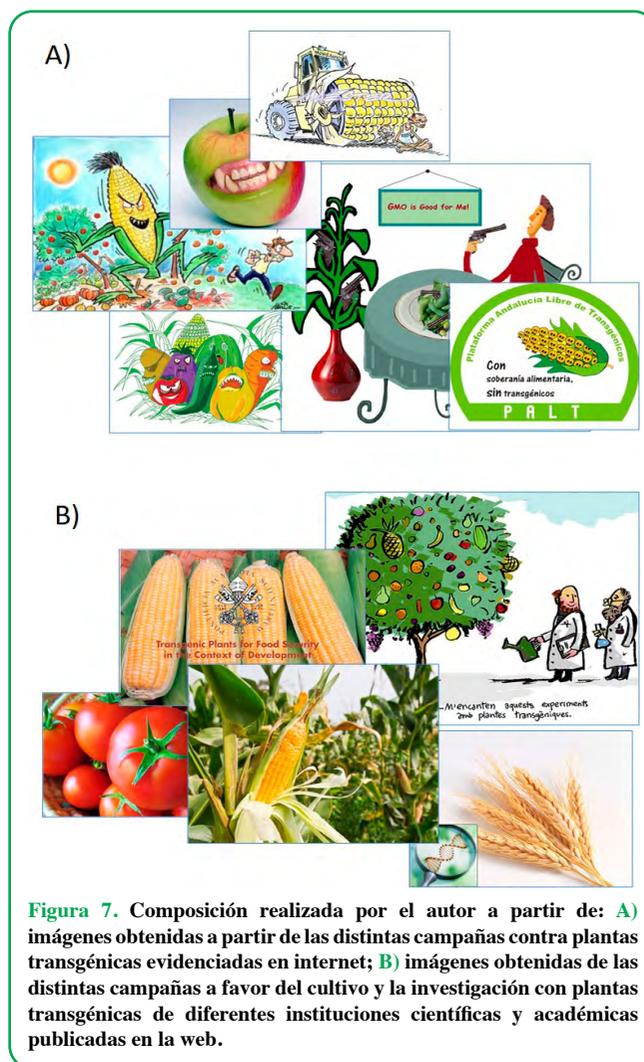
En el contexto de preocupación por el desarrollo de organismos vivos modificados genéticamente, se establece el gran rechazo social de estos cultivos [30]. Se puede entonces encontrar un gran número de campañas en contra del cultivo de estos transgénicos, tanto en medios de comunicación como en internet [33]. En estas campañas, la propaganda gráfica como herramienta en contra de los cultivos transgénicos, es más que notable (Figura 7).

Evaluación de consecuencias para la salud

Una de las cuestiones más importantes relacionadas con la aplicación de los transgénicos como tecnología, es la seguridad alimentaria de los productos (*biosafety*)

[34]. Por un lado, a nivel de los efectos perniciosos de los transgénicos para la salud, Lorenz y Wackernagel [35], fueron pioneros en la denuncia de la posible recombinación genética de bacterias al entrar en contacto con organismos modificados genéticamente. Estas superbacterias, que en algunos casos, llevan los genes de resistencia, podrían tener un elevado riesgo para la salud pública a nivel mundial. Otros autores como Teuber [36], exponen los problemas de seguridad alimentaria que pueden tener estos transgénicos para los humanos y el ganado, que después, será utilizado en la alimentación.

Los efectos de estas dudas sobre la seguridad alimentaria, continúan sintiéndose a través de la industria de la biotecnología (Figura 7).



Debido a los peligros potenciales de bioseguridad, los científicos en todo el mundo, habían detenido experimentos utilizando la tecnología del ADN recombinante, la cual implicaba la combinación de ADN de diferentes organismos; dando origen al actual comité de expertos “*Advisory Committes*”, especializados en organismos modificados genéticamente [37]. Por otro lado, desde el mundo de la ciencia, se ha hecho una campaña muy importante a favor de los beneficios de los transgénicos para la salud y la alimentación. En la web, se pueden evidenciar campañas a favor del cultivo y la y la investigación con plantas transgénicas proveniente de diferentes instituciones científicas y académicas (Figura 7). Esta presencia en la sociedad de los científicos y tecnólogos, es lo que Dusek [31] llama tecnocracia.

El investigador del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), agencia estatal española adscrita al Ministerio de Ciencia e Innovación con la consideración de organismo público de investigación en España, José Miguel Mulet Salort [38], habla de una primera generación de plantas transgénicas para producir más, una segunda generación para producir mejor, e incluso una tercera generación de plantas con diferentes “*moléculas*” beneficiosas para el organismo, lo que se llamaría “*alicamentos*” o alimentos del tipo medicamentos [38].

Evaluación de consecuencias medioambientales

La influencia del cultivo de transgénicos a nivel medioambiental, ha sido ampliamente estudiada a diferentes niveles, logrando describir un gran número de riesgos. Por un lado, se ha descrito la recombinación genética de hongos, al entrar en contacto con organismos modificados genéticamente; estos hongos como *Aspergillus nigra*, llevan los genes de resistencia a los antibióticos usados en el proceso de obtención de organismos transgénicos, los cuales podrían representar un elevado riesgo para el cultivo de plantas que pudieran resultar afectadas [39].

El otro gran grupo de riesgos medioambientales causados por el cultivo de transgénicos, es la propia transferencia de estos genes introducidos de forma artificial a otras plantas. Dale y Sheffer [40], analizan esta posibilidad y el efecto que tendría en la contaminación de germoplasma

autóctono o de especies silvestres no cultivadas. Estos problemas medioambientales, obligan a establecer unos rigurosos controles transcontinentales y la elaboración de protocolos para la toma y análisis de muestras [41]. Uno de los ejemplos más estudiados, es el del maíz (*Zea mays* L.) transgénico cultivado en México. Se debe tener en cuenta que el maíz, es originario de México y su ancestro silvestre, el “*teosinte*”, todavía se encuentra actualmente en el territorio. Por lo tanto, la contaminación de los recursos naturales del maíz en México, con los genes transgénicos, supondría una erosión genética de esta especie de incalculable valor [18].

Para contrarrestar esta cuestión, se está llevando a cabo una campaña por los propios científicos a favor de la llamada “*Cisgénesis*” en contraposición a la “*Transgénesis*”. El proceso es similar en ambos casos, pero en el caso de la “*Cisgénesis*”, los genes que se insertan son de la propia especie, a diferencia de lo que ocurre en la “*Transgénesis*”, donde se presentan genes provenientes de otras especies u organismos. En el fondo, se quiere justificar la transformación genética, como metodología de desarrollo de nuevas variedades vegetales y desactivar las dudas sobre sus efectos medioambientales [42]. En el caso de la edición génica, el proceso de modificación genética, se puede asemejar a la cisgénesis, debido a que no existen elementos externos al organismo modificado [4].

Evaluación de consecuencias sociales

Michael Foucault estableció el concepto de “*Biopoder*” aplicable a esta concepción imperialista y colonialista del uso de la biotecnología en los EEUU. Una de las consecuencias de este “*Biopoder*”, es la pérdida de la soberanía nacional en términos tecnológicos, o también, en términos biológicos como puede suceder con el estudio de los recursos fitogenéticos de un país [20]. Finalmente, y a un nivel menos importante, hay que hablar de los motivos religiosos del rechazo a los transgénicos. Este tema lo aborda de forma detallada, Gross [43] en “*la retórica de la ciencia*”. Al margen de la figura de monstruo de Frankenstein que hay detrás de estos transgénicos, una parte de la sociedad critica la falta de ética de estos experimentos argumentando que únicamente es Dios el dueño de la vida y quien es capaz de modificarlos.

Además, algunos autores [33,38], hablan también de las falsas promesas hechas por la industria de la ingeniería agrogenética; la cual, alega, que alejará a la agricultura de la dependencia en los consumos químicos, que incrementará su productividad y que también, disminuirá los costos de los consumos; ayudando a reducir los problemas ambientales. Sin embargo, la biotecnología desarrolla soluciones monogénicas (un sólo gene introducido en una planta) para problemas que derivan de sistemas de monocultivo ecológicamente inestables, diseñadas sobre modelos industriales de eficiencia. Quienes proponen la biotecnología, se consideran que poseen una visión utilitaria de la naturaleza y favorecen el libre intercambio de las ganancias económicas por el daño ecológico, siendo indiferentes ante las consecuencias para los seres humanos [33].

En virtud de lo anterior, de Vries [25], habla de la vertiente moral de los desarrollos tecnológicos; una cuestión que debe manejarse desde una triple perspectiva, como sigue: *i*) la virtud de los desarrollos tecnológicos; *ii*) las consecuencias y *iii*) las reglas [25]. Otros autores [44], abordan el estatus moral de una tecnología o de un artefacto cerrado, por lo tanto, si existe algún problema moral con una tecnología, es necesario resolverlo.

Quintanilla [23], expone en este contexto, un progreso moral que debe acompañar al progreso tecnológico. En este sentido, se han realizado una serie de publicaciones, algunas de ellas muy recientes, abogando por el cultivo de plantas transgénicas como solución a los problemas del hambre en el mundo [3,45]. Bajo la presente perspectiva, esta sería una de las grandes justificaciones del uso de transgénicos. Sin embargo, choca con la realidad actual, en la que se observa como las variedades de transgénicos cultivadas, están en manos de multinacionales con caras patentes, y que, además, como es el caso de Monsanto™, crean una gran dependencia, además de costosa para el agricultor respecto a la multinacional. El agricultor además de comprar cada año las semillas, tiene que comprar a la misma empresa, en forma de monopolio, los agroquímicos necesarios para el cultivo.

Por otro lado, desde la perspectiva de la economía y los negocios, se insta a los científicos a intervenir en la opinión pública de un país, en el tema del uso de transgénicos, mediante la divulgación e información

dentro del mundo de los periodistas y la prensa. Autores como Sentker [46], exponen la necesidad de intervenir en la información publicada por los medios “convenciendo” con argumentos sólidos, a los periodistas para influir en la opinión pública. En este contexto: sociedad-ciencia-medios, existe, además, una presencia importante de la economía y la política [46].

Otro aspecto muy importante que abordan algunos autores [25], es la necesidad de la educación de los niños en torno a la cultura tecnológica como solución a la aceptación social de cualquier tecnología; como es en el presente caso, el uso de los transgénicos. En este contexto, la diferencia cultura técnica, cultura tecnológica e innovación, se convierten en elementos sociales de interés para la asimilación de una nueva tecnología [24]. Esta cultura de innovación, por ejemplo, entre los agricultores, será la que potencializará el cultivo de los transgénicos.

Evaluación de la entrañabilidad de las tecnologías

La tecnología entrañable, es un concepto acuñado por vez primera en el año 2002, por el profesor de la Universidad de Salamanca-España, Miguel Ángel Quintanilla [23,24]. Este concepto va encaminado a evitar la alienación de la técnica mencionada por Ortega y Gasset [5], en su obra, “*Meditación de la Técnica*”, que produce en el hombre, una pérdida de la conciencia de la técnica.

Para Quintanilla [23,24], algunas de las fuentes que producen esta alienación tecnológica, comprende: *i*) la opacidad del diseño; *ii*) la virtualización y *iii*) la simplificación. De estos tres aspectos, dos están muy implicados en el caso del desarrollo de organismos modificados genéticamente, como son la opacidad y la virtualización del diseño. Esta opacidad estructural en el diseño, produce en la opinión pública, una incapacidad en el control de estos diseños y un sometimiento. Así mismo, Quintanilla [23,24], expone las características más importantes que debe tener una tecnología entrañable, entre las cuales, se encuentran: *i*) el carácter abierto, polivalente, reversible, recuperable, participativo y sostenible y *ii*) una dimensión moral y cultural.

Por tanto, una mayor entrañabilidad de la tecnología, sería también de interés de cara a neutralizar el rechazo inicial de la tecnología. En este sentido, Kroes y Meijers [47], señalan el análisis coherente que se debe plantear ante una nueva tecnología o artefacto entre su descripción estructural y funcional. Un análisis funcional de la biotecnología en general, y la obtención de transgénicos en general, puede mejorar su percepción social [22], en línea con la entrañabilidad de la tecnología antes mencionada [23].

Conclusión

Las técnicas de obtención de nuevas variedades transgénicas (organismos modificados genéticamente mediante transformación o CRISPR), se presentan como una alternativa para la obtención de nuevas variedades mediante mejora genética clásica con una mayor eficacia y eficiencia, además de un menor costo. Sin embargo, estas nuevas tecnologías, producen un rechazo social a nivel medioambiental, de salud pública, económico y religioso. Por lo tanto, se debe vincular una ideología de rechazo o antitecnológica, por un lado, y por el otro, una ideología tecnológica de apoyo a estas investigaciones. En este contexto, una mayor cultura técnica en la población, una cultura tecnológica y de innovación entre los agricultores, será lo que potencie el cultivo de los transgénicos. Finalmente, un análisis funcional de la biotecnología en general, y la obtención de transgénicos en general, puede mejorar su percepción social en línea con la mayor entrañabilidad de la tecnología, la cual, sería también de interés de cara a neutralizar el rechazo inicial de la tecnología.

Consentimiento de publicación

El autor leyó y aprobó el manuscrito final.

Conflicto de intereses

El autor declara no tener conflictos de interés. Este documento solo refleja sus puntos de vista y no los de la institución a la que pertenece.

Perfil de autoría

Pedro Martínez Gómez

Master of Science en Mejora Genética por el IAMZ de Zaragoza, España y Dr. Ingeniero Agrónomo por la Universidad de Murcia, España; estancia Doctoral en la Universidad de California-Davis, EEUU, jefe del Departamento de Mejora Vegetal, Grupo de Mejora Genética de Frutales del Centro de Edafología y Biología Aplicada (CEBAS), Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) (<http://www.cebas.csic.es/>) en Espinardo-Murcia, España. Editor Jefe de la revista *Scientia Horticulturae* (revista Q1 de Elsevier, <https://www.journals.elsevier.com/scientia-horticulturae/>) y miembro del Editorial Board of PLANT Article Transfer Group de Elsevier. Sus temas de interés, comprende la genética, genómica y la transcriptómica de *Prunus*. Sus líneas de investigación abarcan la mejora genética del albaricoquero y del almendro; la resistencia a virus en frutales del género *Prunus*; los marcadores moleculares aplicados a la mejora genética en frutales del género *Prunus*; el letargo invernal y época de floración en frutales del género *Prunus* y la calidad del fruto en frutales del género *Prunus*. Es coobtentor de 5 variedades de albaricoquero, 2 de almendro y 1 de ciruelo. Además, ha publicado 140 trabajos en revistas científicas del SCI, director de 12 tesis doctorales, 13 TFG y TFM. En agosto de 2006, recibió en Seúl el Premio “Miklos Faust International Award for Young Pomologists”, convocado por la ASHS y la ISHS; en febrero de 2012, recibió en Teherán, el Premio “Khwarizmi International Award” y la “Medalla de la FAO” por su contribución a la investigación agraria en países en vías de desarrollo. En enero de 2019, recibió en La Habana-Cuba, el Premio *CITMA 2018* por su colaboración en la conservación y explotación de recursos fitogenéticos de Cuba.



Referencias

- [1] Wood RJ, Vitezslav A. Genetic prehistory in selective breeding. A prelude. 2nd ed. Londres, Inglaterra: Oxford University Press; 2005.
- [2] Buiatti M. Le biotecnologie L'ingegneria genetica fra biologia, etica e mercato. Madrid, España: Acento Editorial; 2002.
- [3] Mou B, Scorza R. Transgenic Horticultural Crops – Challenges and Opportunities. CRC Press. Boca Ratón-Florida, USA. 1st ed. Boca Ratón-Florida, USA: CRC Press; 2011.

- [4] Doudna J, Sternberg S. Una grieta en la creación : CRISPR, la edición génica y el increíble poder de controlar la evolución. 1st ed. Madrid, España: Alianza; 2020.
- [5] Ortega y Gasset J. Meditación de la Técnica. Madrid, España: Santillana; 1997.
- [6] Martínez Gomez P, Sozzi G, Sánchez Pérez G, Rubio M, Gradziel T. New approaches to Prunus tree crop breeding. *Journal of Food Agriculture and Environment* 2003;1:52–63.
- [7] Martínez-Gómez P. Scientific Prediction and Prescription in Plant Genetic Improvement as Applied Science of Design: The Natural and the Artificial, 2020. https://doi.org/10.1007/978-3-030-52500-2_9.
- [8] Martínez-Gómez P. Predicción científica y prescripción en mejora genética vegetal en cuanto Ciencia Aplicada de Diseño: El caso de la mejora de frutales del género Prunus. *Acta Agronómica* 2016;66:115–27. <https://doi.org/10.15446/acag.v66n1.52329>.
- [9] Hayward MD, Bosemark NO, Romagosa I. Plant breeding: principles and prospects. 1st ed. London, UK: Chapman & Hall; 1993.
- [10] Sellés M, Solís C. Historia de la ciencia. 4th ed. Barcelona, España: Espasa; 2013.
- [11] Watson JD, Berry A. ADN. El secreto de la vida. 1st ed. Buenos Aires, Argentina: Alfaguara S.A.; 2006.
- [12] Rose S. Historia y relaciones sociales de la genética. 1st ed. Barcelona, España: Fontalba; 1983.
- [13] Silva Dias J, Ortiz R. Advances in Transgenic Vegetable and Fruit Breeding. *Agricultural Sciences* 2014;05. <https://doi.org/10.4236/as.2014.514156>.
- [14] Mojica FJM, Díez-Villasenor C, Soria E, Juez G. Biological significance of a family of regularly spaced repeats in the genomes of Archaea, Bacteria and mitochondria. *Molecular Microbiology* 2000;36. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2958.2000.01838.x>.
- [15] Haurwitz RE, Jinek M, Wiedenheft B, Zhou K, Doudna JA. Sequence- and Structure-Specific RNA Processing by a CRISPR Endonuclease. *Science* 2010;329. <https://doi.org/10.1126/science.1192272>.
- [16] Jinek M, Chylinski K, Fonfara I, Hauer M, Doudna JA, Charpentier E. A Programmable Dual-RNA-Guided DNA Endonuclease in Adaptive Bacterial Immunity. *Science* 2012;337. <https://doi.org/10.1126/science.1225829>.
- [17] Wang D, Zhang C, Wang B, Li B, Wang Q, Liu D, et al. Optimized CRISPR guide RNA design for two high-fidelity Cas9 variants by deep learning. *Nature Communications* 2019;10. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-12281-8>.
- [18] Turrent Fernández A, Cortés Flores J, Espinosa Calderón A, Serratos Hernández J, Mejía Andrade H. Diferencias entre el mejoramiento genético clásico del maíz y el mejoramiento por ingeniería genética. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 2011;2:955–69.
- [19] Ruiz D, Martínez Gómez P, Rubio M, Petri C, Larios A, Campoy J, et al. Application of biotechnology tools to Apricot breeding. *Fruit, Vegetable and Cereal Science and Biotechnology Global Science Books* 2011;5:101–17.
- [20] Jasanoff S. Biotechnology and Empire: Osiris 2006;21:273–92. <https://doi.org/10.1086/507145>.
- [21] Cuevas Badallo A. Los bioartefactos: viejas realidades que plantean nuevos problemas en la adscripción funcional. *Argumentos de Razón Técnica: Revista Española de Ciencia, Tecnología y Sociedad, y Filosofía de La Tecnología* 2008:71–96.
- [22] Cuevas-Badallo A, Vermaas PE. A functional abc for biotechnology and the dissemination of its progeny. *Studies in History and Philosophy of Science Part C: Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences* 2011;42:261–9. <https://doi.org/10.1016/j.shpsc.2010.12.008>.

- [23] Quintanilla Fisac MA. La democracia tecnológica. *Arbor* 2002;173:637–51. <https://doi.org/10.3989/arbor.2002.i683-684.1143>.
- [24] Quintanilla MA. Tecnologías entrañables, una alternativa para el desarrollo tecnológico. San Cristobal de La Laguna, España: 2013.
- [25] de Vries M. Teaching about Technology. vol. 27. Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag; 2005. <https://doi.org/10.1007/1-4020-3410-5>.
- [26] González W. Racionalidad científica y racionalidad tecnológica, la mediación de la racionalidad económica. *Ágora: Papeles de Filosofía* 1998;17:95–115.
- [27] Guston DH. Between politics and science. Cambridge University Press; 2000. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511571480>.
- [28] Wiener JB. The regulation of technology, and the technology of regulation. *Technology in Society* 2004;26:483–500. <https://doi.org/10.1016/J.TECHSOC.2004.01.033>.
- [29] Rosenberg A. The structure of biological science. Cambridge University Press; 1985. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139171724>.
- [30] Turney J. Frankenstein's footsteps: science, genetics and popular culture. 1st ed. New Haven, USA: Yale University Press; 1998.
- [31] Dusek V. Philosophy of technology: an introduction. Blackwell Publishing. 2006.
- [32] Duchesbeau F. L'Argumentationj finaliste en biologie. In: de Coorebyter V, editor. *Rhétoriques de la Science*. 1st ed., Paris, France: Presses Universitaires de France; 1994, p. 189–200.
- [33] García Hernández R. Aproximación a un debate psico-sociológico sobre los transgénicos y la biotecnología. *CríticaCI* 2006;25:1–14.
- [34] Schmidt E, Hankeln T. Transgenic organisms and biosafety. Horizontal gene transfer, stability of DNA, and expression of transgenes. 1st ed. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 1996. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-61460-6>.
- [35] Lorenz MG, Wackernagel W. Bacterial gene transfer by natural genetic transformation in the environment. *Microbiological Reviews* 1994;58:563–602. <https://doi.org/10.1128/mr.58.3.563-602.1994>.
- [36] Teuber M. Genetically modified food and its safety assessment. In: Tomiuk J, Wöhrmann K, Sentker A, editors. *Transgenic organisms. Biological and social implications*. 1st ed., Berlin, Germany: Springer Berlin Heidelberg; 1996, p. 181–95. <https://doi.org/10.1007/978-3-0348-9177-6>.
- [37] Devos Y, Craig W, Schiemann J. Transgenic crops, risk assessment, breeding risk, assessment and regulatory framework in the European Union, breeding regulatory framework in the European Union. *Encyclopedia of Sustainability Science and Technology*, New York, NY: Springer New York; 2012. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0851-3_167.
- [38] Mulet Salort J. Plantas transgénicas: Mucho más que una revolución verde. In: Sam Pedro Ruiz D, editor. *Un breve viaje por la ciencia: Ensayo 2010 : V Certamen "Teresa Pinillos" de ensayos de divulgación científica y humanística*. 1st ed., Madrid, España: Universidad de la Rioja, España; 2012, p. 59–65.
- [39] Hoffmann T, Golz C, Schieder O. Preliminary findings of DNA transfer from transgenic plants to a wild-type strain of *Aspergillus niger*. In: Schmidt R, Hankeln T, editors. *Transgenic Organisms and Biosafety Horizontal Gene Transfer, Stability of DNA, and Expression of Transgenes*. 1st ed., Berlin, Heidelberg-Germany: Springer Berlin Heidelberg; 1996, p. 77–84. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-61460-6>.
- [40] Dale PJ, Scheffler. J.A. Gene dispersal from transgenic crops. In: Hoffmann T, Golz C, Schieder O, editors. *Transgenic Organisms and Biosafety Horizontal Gene Transfer, Stability of DNA, and Expression of Transgenes*. 1st ed., Berlin, Germany: Springer Berlin Heidelberg; 1996, p. 85–93. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-61460-6>.

- [41] Parker IM, Bartsch D. Recent advances in ecological biosafety research on the risks of transgenic plants: A trans-continental perspective. In: Tomiuk J, Wöhrmann K, Sentker A, editors. *Transgenic Organisms*. 1st ed., Basel: Birkhäuser Basel; 1996, p. 150–60. https://doi.org/10.1007/978-3-0348-9177-6_11.
- [42] Schouten HJ, Krens FA, Jacobsen E. Cisgenic plants are similar to traditionally bred plants. *EMBO Reports* 2006;7:750–3. <https://doi.org/10.1038/sj.embor.7400769>.
- [43] Gross A. *The rhetoric of science*. vi. Cambridge, Massachusetts, USA: Harvard University Press; 1990.
- [44] Vermaas P, Kroes P, van de Poel I, Franssen M, Houkes W. *A philosophy of technology: From technical artefacts to sociotechnical systems*. Synthesis Lectures on Engineers, Technology and Society 2011;6:1–134. <https://doi.org/10.2200/S00321ED1V01Y201012ETS014>.
- [45] Tomiuk J, Wöhrmann K, Sentker A. *Transgenic organisms. Biological and social implications*. Basel: Birkhäuser Basel; 1996. <https://doi.org/10.1007/978-3-0348-9177-6>.
- [46] Sentker A. Genetic engineering and the press — Public opinion. In: Tomiuk J, Wöhrmann K, Sentker A, editors. *Transgenic organisms. Biological and social implications*. 1st ed., Berlin, Germany: Springer Berlin Heidelberg; 1996, p. 241–54. <https://doi.org/10.1007/978-3-0348-9177-6>.
- [47] Kroes P, Meijers A. The dual nature of technical artefacts. *Studies in History and Philosophy of Science Part A* 2006;37:1–4. <https://doi.org/10.1016/J.SHPSA.2005.12.001>.

Microorganismos del suelo y sus usos potenciales en la agricultura frente al escenario del cambio climático

Soil microorganisms and their potential uses in agriculture in the face of climate change scenario

Lissy Rosabal Ayan  Paulina Macías Coutiño  Magnolia Maza González 

Rogelio López Vázquez  Francisco Guevara Hernández* 



Acceso Abierto

*Correspondencia:

francisco.guevara@unach.mx
Facultad de Ciencias Agronómicas,
Universidad Autónoma de Chiapas,
Villaflora, Chiapas, México.

Recibido: 24-03-2021
Aceptado para publicación:
13-08-2021
Publicado en línea: 20-09-2021

Palabras clave:

Agroecosistemas;
biorremediación;
cambio climático;
consorcio microbiano;
microorganismos del suelo;
potencial biotecnológico;
sistema edáfico.

Key words:

Agroecosystems;
Bioremediation;
biotechnological potential;
climate change;
edaphic system;
microbial consortia;
soil microorganism.

Resumen

El objetivo de la presente revisión es indagar sobre las interacciones biológicas de los microorganismos del suelo y su potencial biotecnológico en los sistemas agrícolas frente al panorama actual del cambio climático. En este sentido, se hace urgente la búsqueda de estrategias que permitan obtener sistemas productivos sostenibles y resilientes. En virtud de ello, el uso de microorganismos benéficos, constituye una estrategia para el desarrollo de sistemas agrícolas más sostenibles y reducir el impacto negativo de productos químicos y fertilizantes. Investigaciones sobre consorcios microbianos, han permitido estudiar los mecanismos que emplean los microorganismos para establecerse y permanecer en el sistema suelo. Los microorganismos del suelo no actúan de manera aislada, se dinamizan mediante múltiples interacciones, las cuales, contribuyen al buen funcionamiento y equilibrio ecológico del sistema edáfico. Las diferentes funciones que realizan los microorganismos en los sistemas agrícolas, están influenciadas por factores bióticos y abióticos; para lo cual, han desarrollado una capacidad de adaptación admirable y útil para el diseño de estrategias que permitan mitigar los efectos negativos del cambio climático. La inoculación con microorganismos, mejora la disponibilidad de nutrientes para las plantas; contribuye al aprovechamiento de una fuente de nutrientes renovables e incrementan la disponibilidad de nutrientes poco móviles en el suelo, como lo es el fósforo (P).

Abstract

The aim of this review is to inquire about the biological interactions of soil microorganisms and their biotechnological potential in agricultural systems in the face of the current climate change scenario. In this sense, the search for strategies that allow obtaining sustainable and resilient production systems is urgent. By virtue of this, the use of beneficial microorganisms, constitutes a strategy for the development of more sustainable agricultural systems and to reduce the negative impact of chemical products and fertilizers. Latest research on microbial consortiums has made it possible and lead to study the mechanisms used by soil microorganisms to establish themselves and remain in the soil system. Soil microorganisms do not act in isolation, they are made dynamic through multiple interactions, which contribute to the proper functioning and ecological balance of the edaphic system. The different functions that microorganisms perform in agricultural systems, are influenced by biotic and abiotic factors; for which, they have developed an admirable and useful adaptation ability for the design of strategies that have allowed to mitigate the negative effects of climate change. Inoculation with microorganisms, improves the availability of nutrients for plants; contributes to the use of a renewable nutrient source and increases the availability of nutrients that are not very mobile in the soil, such as phosphorus (P).



Introducción

El suelo es un sistema dinámico y complejo que alberga una gran biodiversidad; siendo el espacio de diversos procesos biogeoquímicos indispensables para la vida. Los microorganismos, diminutos y abundantes en esta red de interacciones, son los principales actores que mantienen el equilibrio ecológico de este ecosistema [1]. Gracias a la microbiota del suelo, ocurren procesos esenciales que dan lugar a la sucesión natural del flujo de elementos, que comprenden: *i*) la descomposición de la materia orgánica; *ii*) el reciclaje de nutrientes como el nitrógeno (N), fósforo (P) y carbono (C); *iii*) la nutrición vegetal [2].

Sin embargo, el suelo es un recurso natural no renovable. La constante presión antropogénica a la que se someten los ecosistemas, origina una serie de efectos negativos sobre el equilibrio ecológico de estos. Actualmente, la agricultura enfrenta la problemática de la degradación de los suelos; este recurso cada vez más pierde su capacidad para brindar servicios ecosistémicos como la purificación del agua o la regulación de los ciclos biogeoquímicos [3]. Por lo tanto, los sistemas agrícolas, resultan altamente dependientes al uso indiscriminado de agroquímicos para tratar de sostener la productividad de los cultivos y proveer alimento a una población humana en crecimiento desmedido [4].

Aunado a ello, el panorama actual del cambio climático, exige que se tomen acciones para mitigar los gases de efecto invernadero que se producen como consecuencia del agroextractivismo [5]. Como alternativa al uso de productos químicos, surge un creciente interés en la investigación de los microorganismos edáficos como inóculos microbianos aplicados a los cultivos; debido a las interacciones planta-suelo-microorganismos, que propician y dan lugar a los distintos procesos biológicos, permitiendo conservar la fertilidad del suelo [6–9].

Estos inóculos, llamados biofertilizantes, contienen microorganismos benéficos que ayudan a mejorar la calidad del suelo y promueven el desarrollo vegetativo de los cultivos [10]. Recientemente, han tenido un auge en los sistemas agrícolas de gran escala, como una vía sustentable de bajo costo que, además, ayuda a mantener la estructura del suelo y conservar la biodiversidad de los agroecosistemas [11].

Los biofertilizantes se componen de consorcios microbianos, como bacterias y hongos; los cuales actúan sinérgicamente para mejorar aspectos que permiten el acercamiento hacia una agricultura sostenible y sistemas productivos resilientes ante los efectos negativos del cambio climático. La fijación de nitrógeno (N), la producción de sideróforos, la producción de hormonas que regulan el crecimiento, la protección ante patógenos, la tolerancia a la sequía y la síntesis e intercambio de nutrientes con las plantas, son algunos de los procesos que permiten los agroecosistemas equilibrados [12]. Sean elaborados a nivel industrial o artesanal, estos consorcios microbianos, son estudiados para conocer su potencial biotecnológico y su incidencia en la reducción del uso de agroquímicos [13]; biorremediar los suelos [14]; producir alimentos inocuos [15], entre otros. Finalmente, transitar hacia agroecosistemas más sostenibles [16].

Debido a su importancia, se requiere escalar estas investigaciones al grado de la identificación de la capacidad de adaptación y establecimiento en nuevos ambientes de estos microorganismos y así, poder diseñar estrategias que permitan mitigar y eliminar los efectos del cambio climático. Por lo antes expuesto, el objetivo de la presente revisión es indagar sobre las interacciones biológicas de los microorganismos del suelo y su potencial biotecnológico en los sistemas agrícolas frente al panorama actual del cambio climático.

Cambio en las propiedades del suelo y su efecto en la microbiota edáfica

El equilibrio del suelo se lleva a cabo entre sus propiedades físicas, químicas y biológicas; lo que da lugar a un dinamismo que promueve las condiciones apropiadas para sostener una amplia diversidad de organismos [17]. En este espacio, se desarrollan los microorganismos, tanto eucariotas como procariotas; esta diversidad, crea múltiples interacciones complejas y variadas entre poblaciones microbianas, lo que contribuye a constituir las características propias del suelo [18]. Las comunidades microbianas juegan un rol importante en el suelo, tanto así, que son responsables del 80-90% de sus procesos [18]; principalmente al modificar su estructura, mejorar la fertilidad y reciclar nutrientes [19]. Mediante el reciclaje de los micro y macroelementos, los microorganismos regulan la disponibilidad de nutrientes, propiciando un suelo fértil

y plantas sanas que sustentan el reino animal; por lo que estos organismos microscópicos, constituyen la base de la cadena alimentaria al movilizar compuestos elementales en la biosfera [20,21].

En trabajos previos, se ha observado que los procesos microbianos son indicadores tempranos de la calidad del suelo y pueden anticipar su estado antes que los parámetros físicos o químicos. Entre estos procesos microbianos, la respiración edáfica, la actividad deshidrogenasa y las bacterias fijadoras de nitrógeno, han sido reconocidas como los parámetros más sensibles entre distintos parámetros microbiológicos y bioquímicos. La respiración edáfica y la capacidad bacteriana para la fijación de nitrógeno atmosférico, son dos de las variables que pueden ser utilizadas para medir indirectamente la actividad microbiológica y, estimar así, la capacidad del suelo para el reciclado de nutrientes y el impacto de la actividad humana sobre éste [22].

En materia de reciclaje de nutrientes, los microorganismos son fundamentales en el ciclo del carbono orgánico del suelo (COS), entre otros nutrientes; por lo tanto, son protagónicos en procesos que mitigan los efectos del cambio climático. Existen evidencias de que tienen la capacidad de producir o consumir gases de efecto invernadero (GEI) como dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O) [23]. Este último gas, es un potente GEI, 298 veces más letal que el CO₂ y, sus emisiones, representan entre el 56-70% de todas las fuentes de GEI a nivel mundial [24].

Un estudio en pastizales australianos, reportó que la elevada concentración de CO₂ en la atmósfera, provocó cambios en arqueas, hongos y bacterias [25]. Así también, se ha demostrado que el aumento de CO₂ aumentó la población de acidobacterias en el suelo [26]. El ambiente biogeoquímico de un suelo, influye sobre las respuestas metabólicas microbianas. Sin embargo, en un ecosistema tan dinámico como el suelo, la mayoría de los microorganismos, evolucionaron estrategias para adaptarse a las condiciones variables del ambiente. Según sea el caso, el microorganismo presente, se adapta y permanece en estado de dormancia o muere. Su respuesta será diferente a los tipos de estrés, según su genética o estados fisiológicos [27].

Jansson y Hofmockel [28], por su parte, ilustran las diferentes respuestas que puede darse en las comunidades microbianas respecto al estrés que se someten. Un

incremento en la temperatura puede resultar en: *i*) la pérdida de COS; *ii*) la variación en las poblaciones de bacterias o arqueas y *iii*) una disminución en la abundancia de los hongos. La sequía es proclive a disminuir la descomposición del COS, reducir la biomasa microbiana y la producción de CO₂. No obstante, las bacterias supervivientes, pueden producir moléculas para retener la turgencia celular y pueden entrar en estado latente [28].

Los suelos que presentan una abundancia relativa de hongos, contienen mayor cantidad de carbono, debido a que estos organismos son más eficientes en utilizar el carbono que las bacterias; lo cual, implica que producen mayor cantidad de biomasa por unidad de carbono utilizada [29]. Esto responde a que la diversidad de los microorganismos en el suelo, depende del sustrato y condiciones en que se desarrollan. Un factor importante es la cantidad de materia orgánica que representa la base sobre la que se desarrollan; la fuente de energía y nutrientes, y donde se puede encontrar aproximadamente, 5% de nitrógeno total y de otros elementos esenciales como fósforo (P), magnesio (Mg), calcio (Ca), azufre (S) y diversos micronutrientes [30]. A su vez, las bacterias necesitan de los exudados de las plantas para su crecimiento, por lo que es importante mantener coberturas vegetales que propicien la interacción planta-microorganismos de forma continua [31].

Incluso, los diferentes usos que se le dé al suelo, pueden afectar diferencialmente a los microorganismos, modulando así los servicios ecosistémicos brindados por estos grupos [22]. Por ejemplo, los fuegos son un peligro para los ecosistemas por una combinación de malas prácticas agrícolas y la temporada de sequías; ante este escenario, el fuego produce una renovación de las reservas de nitrógeno y carbono del suelo, reduce la biomasa microbiana y la presencia de hongos. Después de que se logra controlar el fuego, se presentan suelos degradados, erosionados y se evidencia la pérdida en cobertura vegetal, lo cual, impacta en la microbiota edáfica debido a la asociación de los microorganismos con las raíces de las plantas [28]. Otro de los factores más importantes en la fertilidad del suelo, es el pH. Una modificación de este, puede activar o inactivar las enzimas que los microorganismos producen y actuar sobre la disponibilidad o fijación de minerales nutritivos. Se puede decir que, en suelos con pH de 5.6, existen la mayoría de los microorganismos beneficiosos para los cultivos, y sus enzimas,

son activas [32]. Esto reitera que conocer la ecología microbiana del suelo, es fundamental para conocer en un futuro, los impactos que tendrá el cambio climático sobre estos ecosistemas y buscar estrategias de mitigación [28]. El análisis de las comunidades bacterianas, permite inferir sobre las funciones positivas y negativas de los gremios o poblaciones que la conforman [33], lo que permite el aprovechamiento de consorcios, cepas y metabolitos bacterianos con actividades funcionales aprovechables por el hombre. Sin embargo, solo se ha podido cultivar del 1-10% de las comunidades microbianas que se desarrollan en los suelos [18].

Grupos funcionales de microorganismos

El éxito en la restauración del suelo, está influenciado por la actividad microbiana presente y la cantidad de vínculos que se den en la interacción planta-suelo-microorganismos. Según un estudio desarrollado por Beltrán [34], se pone en evidencia que la densidad de los grupos de microorganismos, se incrementa con relación a la densidad de nutrientes, ya sea por descomposición de la materia orgánica o por la solubilización de elementos; debido a este comportamiento, estas poblaciones se denominan grupos funcionales (Figura 1).

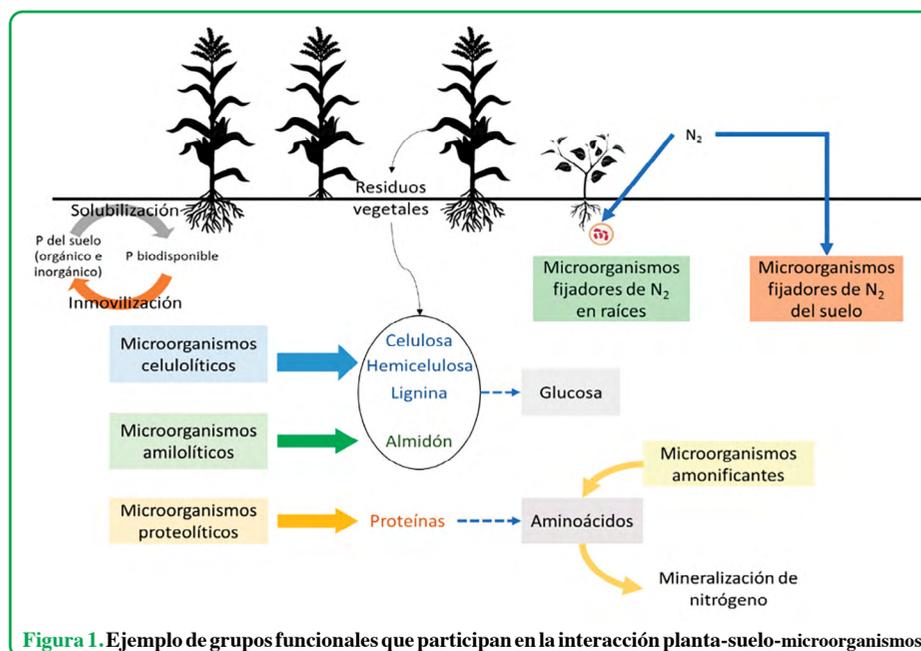


Figura 1. Ejemplo de grupos funcionales que participan en la interacción planta-suelo-microorganismos

Los grupos funcionales del suelo, son poblaciones de microorganismos que no están emparentados taxonómicamente, pero participan en la transformación bioquímica de compuestos orgánicos e inorgánicos. Pueden ser usados como indicadores de calidad del suelo y, como herramienta biotecnológica, para mejorar las propiedades del mismo [35]. Para efectos de la presente revisión, se utilizará la siguiente clasificación de los grupos funcionales: *i*) celulolíticos; *ii*) amilolíticos; *iii*) proteolíticos; *iv*) fijadores de nitrógeno (N) y *v*) movilizados y solubilizadores de fósforo (P).

Microorganismos celulolíticos

La materia orgánica como alimento, es uno de los factores que determinan el crecimiento microbiano alrededor de

este sustrato. La actividad microbiana se ve limitada por los carbohidratos dentro del sustrato, debido a la competencia en torno al carbono; por lo que dependen de la disponibilidad de este elemento para su crecimiento y desarrollo [36]. Los microorganismos de la rizósfera, se alimentan de compuestos orgánicos que componen la biomasa vegetal como la lignina, la celulosa, la hemicelulosa y otros polisacáridos; lo que les da la capacidad de no depender de exudados radiculares para sobrevivir [37,38]. Al presentar una relación directa con la transformación de la materia orgánica del suelo, se consideran los más sensibles para detectar cambios producidos por una perturbación intensa como el laboreo de suelo [39].

Así también, la abundancia de microorganismos del suelo, dependerá de la distribución de los recursos.

A medida que el carbono orgánico disminuye con la profundidad del suelo, la actividad microbiana será menor; por el contrario, esta puede ser abundante desde la superficie mientras que exista un constante suministro de materia orgánica [40]. Complementariamente, López et al. [41], encontraron que las capacidades celulolíticas, son comunes en bacterias presentes en la capa superior del suelo del bosque y en la hojarasca. Además, aislaron 22 géneros de cepas bacterianas del suelo de montaña, las que se han descrito, capaces de degradar la celulosa; siendo la mayoría, *Phyla Firmicutes*, *Actinobacteria*, *Proteobacteria* y *Bacteroidetes*.

Microorganismos amilolíticos

A nivel del suelo, los microorganismos amilolíticos, desempeñan una función esencial en el ciclo del carbono. Tanto el almidón como la celulosa, son las fuentes más importantes de carbono en la naturaleza. El grupo de amilolíticos, degrada estos polímeros con la producción de enzimas extracelulares, las amilasas, lo que provoca la liberación de la glucosa como una molécula más asimilable para otras poblaciones de microorganismos [42,43].

Sin embargo, algunos factores ambientales como la reducción en la disponibilidad de oxígeno y las bajas temperaturas, pueden hacer más lentos estos procesos de descomposición por la disminución de la velocidad del metabolismo y la reducción de la actividad de las enzimas extracelulares [10,40]. Dentro de este grupo funcional, se encuentran los hongos de los géneros *Aspergillus* y *Penicillium* [36,44]; entre las bacterias, se destacan los géneros *Pseudomonas* y *Bacillus* [45] y Actinomicetos como *Streptomyces* [44].

Microorganismos proteolíticos

Las poblaciones microbianas proteolíticas, cumplen un papel importante en la degradación de la biomasa muerta [42]. Las enzimas proteasas producen la liberación de compuestos menores asimilables, como los aminoácidos, los cuales forman parte de la materia orgánica particulada y, pueden ser rápidamente, accesibles para los microorganismos [46]. Los microorganismos entonces, pueden competir con las raíces de las plantas por aminoácidos libres en la solución del suelo; especialmente,

cuando la actividad microbiana es tan intensa como en la rizósfera [37]. En el suelo, la amonificación, es un proceso clave para mejorar la disponibilidad de nitrógeno (N). Los microorganismos proteolíticos, son capaces de degradar proteínas extracelularmente; por lo tanto, participan en los procesos de mineralización del N proteínico de los residuos orgánicos [47].

Microorganismos libres fijadores de nitrógeno

Las bacterias fijadoras de nitrógeno pueden favorecer el establecimiento de las plantas, aumentar su productividad e incrementar el aprovechamiento de los suelos en términos de agua y nutrientes. También, aumentan la cantidad de nutrientes a nivel del follaje y permiten aumentar las tasas de sucesión en los sitios revegetalizados [48]. Los microorganismos libres fijadores de nitrógeno, contribuyen al mantenimiento de la diversidad a través de su influencia en la disponibilidad de diferentes fuentes de nitrógeno, tanto orgánico como inorgánico en los suelos [49]. Tal es el caso de *Rhizobium* spp. frecuentemente utilizado para la fijación de nitrógeno en asociación con leguminosas [50].

Movilizadores y solubilizadores de fósforo

El fósforo (P), es un macronutriente esencial pero limitante [51]. A pesar de que puede estar en grandes cantidades en los suelos, en la mayoría de los casos, no se encuentra disponible para ser absorbido. Los microorganismos por medio de la solubilización y/o mineralización del P inorgánico y orgánico; ponen a disposición de la planta el elemento a través de la producción de ácidos orgánicos y por medio de la acción enzimática [52]. A su vez, para poder vivir en suelos pobres en P, las bacterias han desarrollado diferentes mecanismos como adquisición, inmovilización, reemplazo y uso eficiente del P [42]. La forma inorgánica más disponible son los ortofosfatos, pero su alta demanda y fácil reactividad química por la biota, hace que disminuya sus concentraciones rápidamente en el suelo. Por lo tanto, recurren a formas orgánicas como los ésteres de fosfato y en menor medida, compuestos organofosforados; para ello, algunas bacterias producen enzimas que catalizan

reacciones para mineralizar estas moléculas de alto peso molecular. Para el caso del fósforo inorgánico, en la membrana bacteriana, existen transportadores específicos de fosfatos que permiten el paso de este elemento hacia el interior de la célula [53].

Entre las bacterias movilizadoras y solubilizadoras de P, se encuentran los géneros: *i) Erwinia; ii) Pseudomonas; iii) Bacillus; iv) Rhizobium; v) Klebsiella; vi) Burkholderia; vii) Serratia; viii) Achromobacter; ix) Agrobacterium; x) Micrococcus; xi) Aereobacter; xii) Flavobacterium; xiii) Enterobacter; xiv) Klebsiella; xv) Arthrobacter; xvi) Rhodobacter; xvii) Pantotea y xviii) Klebsiella*. Mientras que entre los hongos, se ubican los géneros *Aspergillus, Penicillium, Trichoderma y Fusarium* [54].

Efectos del uso indiscriminado de fertilizantes químicos en la producción agrícola

Ante la creciente demanda mundial de alimentos, se ha recurrido a prácticas agrícolas intensivas; como la labranza mecánica y el uso indiscriminado de agroquímicos, incluidos los fertilizantes, con el objeto de proporcionar a la planta, los nutrientes necesarios e incrementar la productividad de los cultivos. Sin embargo, es necesario reducir la dependencia a estos insumos ya que, a largo plazo, representan mayores costos de producción. Además, contribuye a la reducción de la materia orgánica del suelo, lo que conlleva a la pérdida de la fertilidad del suelo agrícola, al incremento de la acidez del suelo y a la contaminación del ambiente; por ejemplo, con metales pesados [18,55–57].

La aplicación indiscriminada de insumos agrícolas, ha alterado significativamente los constituyentes orgánicos y vivos del suelo, modificando; principalmente, las actividades metabólicas de las diferentes poblaciones microbianas del agroecosistema [58]. El uso de suelo asociado a la producción agrícola y ganadera, es uno de los factores clave que afecta la biodiversidad edáfica, con impactos negativos en las propiedades físicas, químicas y biológicas; provocando disminución o pérdida del suelo [11]. Así también, la pérdida de microorganismos, afecta el desarrollo de la vida en el suelo; debido a que estos son los responsables de la dinámica, transformación y desarrollo del mismo.

El 98% de los suelos, tiene poca cantidad de P disponible para la nutrición de los cultivos, lo que afecta negativamente los rendimientos y niveles de productividad. Por lo tanto, se utiliza como alternativa, el fertilizante fosfórico de síntesis química, aunque es un procedimiento muy poco eficiente debido a que: *i) incrementa costos energéticos y económicos; ii) tiene muy baja eficiencia (5-30%); iii) provoca una acumulación excesiva de fosfatos no disponibles para las plantas y iv) induce una escasez a nivel global de la roca fosfórica* [54].

El P es uno de los principales macronutrientes esencial para la vida, con una dinámica compleja. Participa directamente en la formación de moléculas orgánicas como: ácidos nucleicos, ATP, fosfolípidos y en reacciones donde ocurre transferencia de energía. Es un nutriente limitante, a diferencia de otros, por lo que el manejo agrícola, determina los flujos y subciclos que permiten el movimiento del P entre los sistemas suelo-agua-organismos vivos, ya sean plantas o microorganismos [51]. En este sentido, cada vez más aumenta el interés de estudiar los microorganismos con le objeto de aplicarlos en sistemas productivos como biofertilizantes o biopesticidas; debido a los beneficios que implica la interacción planta-suelo-microorganismo y su vinculación en estrategias de resiliencia frente a los efectos del cambio climático [49].

Potencial agrícola de los inóculos microbianos

El continuo crecimiento poblacional mundial requiere la transición hacia sistemas agropecuarios productivos, eficientes y sostenibles. Debido a que la fertilidad de los suelos está fuertemente relacionada con la producción de alimentos, existe un aumento en las investigaciones con particular interés en restaurar la microbiota de los suelos mediante estrategias que permitan mejorar su calidad en relación con la productividad agrícola y de una manera no contaminante [58]. Estas estrategias, son fundamentales para contrarrestar los daños ambientales, conservar los ecosistemas, mitigar el cambio climático y contribuir a la seguridad alimentaria [59].

Por ello, el uso de la diversidad microbiana nativa asociada a los cultivos agrícolas representa una alternativa que contribuye a la conservación tanto del suelo, como del recurso microbiano y, finalmente, al establecimiento de

agroecosistemas sostenibles. Aquellos microorganismos que habitan la rizósfera e intervienen en el buen desarrollo de las plantas se pueden conocer como microorganismos benéficos, eficientes o promotores del crecimiento vegetal. Estos son hongos y bacterias que contribuyen al óptimo desarrollo de las plantas en condiciones de estrés. En los últimos años, estas condiciones de estrés se han incrementado y fortalecido con el cambio climático. Factores como la sequía, altas temperaturas, el aumento del CO₂ atmosférico, entre otros, son cada vez más recurrentes [28].

Dentro del sector agrícola, se ha popularizado el uso de biofertilizantes como alternativa al uso de fertilizantes químicos para reducir los efectos negativos que estos últimos tienen en el ambiente. Los biofertilizantes, son preparados con inóculos que contienen microorganismos benéficos que pueden aplicarse al suelo, a la semilla o a la superficie de la planta [60] y establecerse en la rizósfera o en el interior de la planta para facilitar la toma de nutrientes.

Cabe resaltar que estos inóculos, pueden contener cepas aisladas de microorganismos específicos o consorcios microbianos. Es decir, aprovechan los mecanismos que promueven el crecimiento vegetal en forma aislada, secuencial o conjunta y facilitan la disponibilidad de recursos para las plantas a partir de los productos metabólicos microbianos. La fijación biológica del nitrógeno, la solubilización del fósforo y el aumento de la disponibilidad de hierro, son algunos ejemplos de estos mecanismos [61]; algunos anteriormente descritos.

En algunos casos, los microorganismos son aislados de diversos ambientes, como el agua, el suelo, el aire o la rizósfera; y después, son procesados para su uso en el campo de forma concentrada. Entre los géneros más utilizados se encuentran: *i) Bacillus*; *ii) Pseudomonas*; *iii) Azospirillum*; *iv) Azotobacter*; *v) Rhizobium*; *vi) Bradyrhizobium*; *vii) Sinorhizobium*; *viii) Mesorhizobium* y *ix) Streptomyces* [62,63]. Asimismo, a través de la producción de sustancias reguladoras del crecimiento vegetal, estos microorganismos a menudo, producen un incremento en el desarrollo del sistema radicular; con el consecuente aumento en la absorción de nutrientes y agua, debido a una mejor y mayor exploración del suelo [64].

En cambio, los biofertilizantes que contienen consorcios microbianos, aprovechan la integración de diferentes grupos de microorganismos que mantienen

la compatibilidad metabólica y ecológica, toda vez que las transformaciones ambientales que se generen, permitan que ellos coexistan cercanamente [65]. Así mismo, la vida en asociación, puede generar mayor resistencia a las fluctuaciones del ambiente y promover la estabilidad de todos los componentes [66]. La acción de los consorcios microbianos, depende de la disponibilidad de humedad, condiciones de pH y factores de crecimiento en el suelo donde se establecen. Estos consorcios son requeridos para la producción de enzimas y metabolitos específicos que pueden ser útiles en los procesos de mineralización [67,68].

Ya sea por el intercambio de sustancias o por señales moleculares, cada población detecta y responde a la presencia de otras dentro del consorcio; ejerciendo sobre ellas, un control positivo o negativo en su crecimiento y/o metabolismo. La producción total de un consorcio, depende de la combinación de tareas desempeñadas por los constituyentes individuales. Es decir, por las poblaciones microbianas involucradas. Otra importante característica, es su habilidad para desempeñar funciones que requieren múltiples pasos. Tales tareas, son posibles cuando los diferentes pasos se completan, mediante especies microbianas especializadas [69]. Además, los consorcios microbianos pueden resistir mejor los periodos de limitación de nutrientes debido a la diversidad metabólica disponible por la diversidad de especies, combinada con la habilidad de compartir metabolitos dentro de la comunidad. Una población minoritaria, puede llegar a ser la más activa en un periodo de limitación de nutrientes si tiene la habilidad metabólica capaz de sostener la supervivencia de todo el consorcio. De hecho, el consorcio contiene unas especies minoritarias las cuales han sido retenidas por selección natural para responder a tal situación [70].

De acuerdo con diversos autores [71–73], los biofertilizantes deben: *i)* estar disponibles en formas de polvo o granulados; *ii)* tienen que aportar microorganismos que puedan establecerse e interactuar funcionalmente con los microorganismos del suelo; *iii)* debe tener la capacidad de absorción de humedad, buena aireación y capacidad amortiguadora del pH; *iv)* no debe ser tóxico para el ambiente; *v)* fácil de esterilizar, manufacturar y manejar en el campo, *vi)* debe tener características adecuadas para su almacenamiento; y *vii)* no debe ser costoso.

Los biofertilizantes pueden crear asociaciones simbióticas con las plantas, pueden establecerse en la rizósfera o en el interior de la planta para facilitar la toma de nutrientes del suelo a la planta, a la vez que mejoran la calidad del suelo [74]. Ciertos microorganismos pueden actuar como agentes de control biológico al suprimir patógenos de las plantas, debido a la síntesis de sideróforos o antibióticos [34,63,75]. Algunos microorganismos, poseen la capacidad de liberar ciertas enzimas para sintetizar sus alimentos, a la vez que, repelen la entrada de agentes patógenos como un mecanismo de defensa para conseguir sus propios alimentos. Por ejemplo, el uso de la rizobacteria *Bacillus licheniformis* en los sistemas agrícolas, es benéfica por sus mecanismos de producción de auxinas, la fijación de nitrógeno y la solubilización de fósforo [76,77]; así también, como agente de biocontrol [78]. La bacteria *Bacillus spp.* ayuda a proteger a las plantas contra hongos patógenos al inducir la resistencia sistémica al huésped [79]. Estudios demostraron que *B. licheniformis*, aportó una mayor cantidad de compuestos fenólicos, mejoró la actividad antioxidante de un cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) y reguló el metabolismo secundario de las plantas [66]; dicho metabolismo se asocia al mecanismo de defensa de las plantas [80].

Para mejorar la productividad de los cultivos, es importante movilizar fuentes de P pobremente disponibles en el suelo; a pesar de que puede estar en grandes cantidades en los suelos. En la mayoría de los casos, no se encuentra disponible para ser absorbido [52]. Por lo que, constituye una gran ventaja la inoculación de altas concentraciones de microorganismos que, solubilicen P mediante diferentes mecanismos para su uso, como los biofertilizantes en la agricultura [29].

El éxito en el uso de estos biofertilizantes en diferentes agroecosistemas, se puede potenciar si se estudia la diversidad metabólica y genética microbiana y su interacción con: *i*) plantas; *ii*) estados fenológicos del cultivo; *iii*) composición de exudados de raíces; *iv*) microbiota nativa; *v*) prácticas agrícolas; *vi*) condiciones climáticas y del suelo, entre otros factores [18]. Sin embargo, la comercialización de estos biofertilizantes a nivel local, se puede ver limitado por falta de una tecnología adecuada [81]. Por su parte, Megali et al. [82], reportaron que bajo la aplicación de microorganismos benéficos y fertilizantes químicos a un cultivo de tomate (*S. lycopersicum*) en condiciones de invernadero, se incrementó

hasta 61%, la producción de frutos. Por el contrario, las plantas inoculadas con microorganismos benéficos, presentaron mayor supervivencia a la presencia de insectos y larvas, respecto a las fertilizadas con agroquímicos. Con base en esto, se sugiere que las empresas que elaboran los biofertilizantes, incorporen atributos de protección en sus estudios, antes de la comercialización.

Otro factor a considerar para que el desarrollo de inóculos resulte favorable, es que estén adaptados a las condiciones del ambiente donde serán aplicados. Dicho esto, es importante que los métodos sean ampliamente disponibles y accesibles en el medio donde se aplicarán. Diversas investigaciones, han demostrado que los biofertilizantes preparados con cepas nativas son altamente eficientes para la producción de cultivos; debido a que por los procesos de reproducción y activación, tal y como lo plantea Suchini [83], se obtienen consorcios adaptados a un medio ambiente en específico. No obstante, las condiciones físicoquímicas y biológicas de los suelos, donde se aplican estos fertilizantes, determinará el crecimiento adecuado de las poblaciones de las especies que conforman los consorcios microbianos nativos y, por lo tanto, su efectividad [84].

Importancia de los inóculos microbianos ante el cambio climático

Las propiedades benéficas de los microorganismos, son de amplio interés en la ciencia como estrategia para aumentar la productividad de los cultivos y, para mitigar los efectos inminentes del cambio climático. La Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos, publicó recientemente, los avances científicos necesarios para la alimentación y la agricultura para el año 2030 [85]; lo cual incluye una estrategia para la manipulación del microbioma del suelo para incrementar la productividad de los cultivos frente al cambio climático. Por lo tanto, hay que incluir en las investigaciones, la necesidad de entender las rutas biogeoquímicas, apuntando a la descomposición del COS y la producción de GEI para encontrar mejores prácticas que prevengan la pérdida de carbono del suelo [28].

Los microorganismos del suelo poseen mecanismos estratégicos para la mitigación de los GEI. En este sentido, los hongos micorrícicos arbusculares (HMA), pueden ser usados para adquirir amonio (NH_4^+) y

mitigar la producción de N_2O [86]. La inoculación al suelo de comunidades consumidoras N_2O , puede considerarse una estrategia para contribuir a mantener los servicios ecosistémicos que brindan los microorganismos ante la preocupación de los efectos negativos del calentamiento global.

Se ha descubierto que los microorganismos, pueden oxidar completamente amonio (NH_4^+) a nitrato (NO_3^-) sin generar N_2O como subproducto; y estos son abundantes en el suelo [28]. Esto da pauta a entender la importancia de estudiar la fisiología y el metabolismo microbiano y, cómo puede beneficiar esta información para mitigar el cambio climático [23]. Por otro lado, el estrés hídrico, es un factor de suma importancia para la agricultura en el contexto del calentamiento global. Para aumentar la tolerancia a la sequía, algunas bacterias del suelo, producen sustancias poliméricas extracelulares, lo cual, crea biopelículas hidrofóbicas que pueden proteger a la planta del estrés hídrico [87]. De igual manera, se puede dar a través de fitohormonas que promueven el crecimiento vegetal, por la acumulación de osmolitos y también por la desintoxicación de especies reactivas de oxígeno [88–90].

Desde el punto de vista tecnológico, los consorcios microbianos, se han utilizado para la remoción de metales pesados y de contaminantes orgánicos [91] presentes en aguas residuales; para la obtención de biodiésel [92], de energía eléctrica [93], para la conversión de carbono y generación de biogás. Además, se ha demostrado que los consorcios microbianos, tienen mayor eficiencia en la síntesis de productos y la conversión de nutrientes, además de un menor costo comparado con el uso de cultivos de microorganismos puros [91,92,94]. Otras ventajas del empleo de consorcios microbianos, es su producción a gran escala, dado que los cultivos puros, no son con frecuencia, económicamente factibles debido a los altos costos de mantenimiento, sustratos, esterilización y recuperación de biomasa, entre otros factores [95].

Conclusiones

Un buen número de investigaciones, ha comprobado la importancia ecológica de las poblaciones microbianas ante los efectos del cambio climático, así como el uso potencial que tienen para contribuir a un manejo sostenible de los agroecosistemas.

Se comprobó que los diferentes grupos funcionales tienen efectos positivos sobre los cultivos al tiempo que cumplen un papel en los procesos biogeoquímicos que mantienen la fertilidad de los suelos. La acción de los consorcios microbianos puede resultar en una mejor adaptación de los microorganismos exógenos en el suelo que la aplicación aislada de una cepa de microorganismos. Sin embargo, el uso de microorganismos nativos tiene mayor probabilidad de establecerse a las condiciones de un suelo específico.

El uso de biofertilizantes presenta beneficios para aumentar la productividad de los cultivos y resulta una alternativa más económica para los productores; promoviendo además, la conservación de la biodiversidad del suelo.

Consentimiento de publicación

Los autores leyeron y aprobaron el manuscrito final.

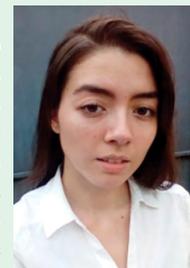
Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de interés. Este documento solo refleja sus puntos de vista y no los de las instituciones a las que cada autor pertenece.

Perfil de autoría

Paulina Macías Coutiño

Ingeniera industrial por el Instituto Tecnológico Nacional de México campus Tuxtla Gutiérrez; cursa Maestría en Ciencias en Producción Agropecuaria Tropical en la Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH), México y desarrolla una investigación sobre consorcios microbianos aplicados al agroecosistema maíz de la región Frailesca-Chiapas, México. Tiene interés en la agroecología como ciencia, práctica y movimiento.



Magnolia Maza González

Ingeniera Agrónoma, de la Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH), México. Cursa Maestría en Ciencias, énfasis en Producción Agropecuaria Tropical en la UNACH. Enfatiza actualmente su investigación, en el efecto de la aplicación de consorcios microbianos sobre las variables de crecimiento y desarrollo del maíz bajo tres sistemas de manejo.



Lissy Rosabal Ayan

Obtuvo su Maestría en Ciencias, énfasis en Recursos Naturales y Desarrollo Rural por El Colegio de la Frontera Sur en San Cristóbal de Las Casas, Chiapas-México; Licenciada en Bioquímica por la Facultad de Biología de la Universidad de La Habana, Cuba; inició sus estudios de Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Sustentabilidad de la Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH), México. Su investigación, se enfoca en el efecto del uso de consorcios microbianos en las propiedades físicoquímicas y biológicas del suelo, además de evaluar los efectos en el agroecosistema maíz.

**Rogelio López Vázquez**

Ingeniero en Desarrollo Agroambiental de la Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH), México. Su investigación se enfoca en los efectos de los microorganismos de montaña sobre el crecimiento inicial de plantas de café en condiciones de vivero.

**Francisco Guevara Hernández**

Profesor titular de tiempo completo, en la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH) e integrante del Cuerpo Académico Consolidado en Agroforestería Pecuaria (CAAP). Es especialista en Agroecología, Recursos naturales y Extensionismo. Desarrolla las líneas de investigación-acción: Capacitación en áreas naturales protegidas, Agroecosistemas tradicionales y Monitoreo y evaluación de procesos. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores-CONACYT desde 2010, actualmente Nivel II. Ha publicado más de 125 artículos científicos en revistas nacionales e internacionales. Actualmente, es miembro de varias redes y sociedades científicas, líder de 2 grupos de investigación interdisciplinarios y árbitro de 12 revistas nacionales e internacionales. Ha coordinado varios proyectos de investigación con financiamiento nacional e internacional, con un componente fuerte de extensión mediante el trabajo colaborativo y la investigación-acción. Es integrante de los Núcleos Académicos del Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Sustentabilidad (DOCAS) y la Maestría en Ciencias en Producción Agropecuaria Tropical (MCPAT) y docente de las licenciaturas en Desarrollo Agroambiental y Ganadería Ambiental. Ha recibido varios galardones académicos tanto en México como en el extranjero. Es asesor y consultor para varias agencias de desarrollo nacionales e internacionales.



Referencias

- [1] Abakumov EV, Cajthaml T, Brus J, Frouz J. Humus accumulation, humification, and humic acid composition in soils of two post-mining chronosequences after coal mining. *Journal of Soils and Sediments* 2013;13:39–59. <https://doi.org/10.1007/s11368-012-0579-9>.
- [2] Abril A. ¿Son los microorganismos edáficos buenos indicadores de impacto productivo en los ecosistemas? *Ecología Austral* 2003;13:195–204.
- [3] Julca-Otiniano A, Meneses-Florián L, Blas-Sevillano R, Bello-Amez S. La materia orgánica, importancia y experiencia de su uso en la agricultura. *Idesia (Arica)* 2006;24:49–61. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292006000100009>.
- [4] Montatixe Sánchez CI, Eche Enriquez MD. Degradación del suelo y desarrollo económico en la agricultura familiar de la parroquia Emilio María Terán, Píllaro. *Siembra* 2021;8:e1735. <https://doi.org/10.29166/siembra.v8i1.1735>.
- [5] Chaparro JM, Sheflin AM, Manter DK, Vivanco JM. Manipulating the soil microbiome to increase soil health and plant fertility. *Biology and Fertility of Soils* 2012;48:597–604. <https://doi.org/10.1007/s00374-012-0691-4>.
- [6] Herrera A, Castellanos F. Análisis metagenómico de la microbiota edáfica de la reserva de la biósfera de Calakmul. *Revista Electrónica Ide@s Del Consejo de Ciencia y Tecnología Del Estado de Guanajuato* 2007;29:802–23.
- [7] Campo Martínez A, Acosta Sanchez R, Morales Velasco S, Prado F. Evaluación de microorganismos de montaña (mm) en la producción de acelga en la meseta de Popayán. *Biocología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial* 2014;12:79–87.
- [8] Gamboa-Angulo JJ, Ruíz-Sánchez E, Alvarado-López CJ, Gutiérrez-Miceli F, Ruíz-Valdiviezo VM, Medina-Dzul KB. Efecto de biofertilizantes microbianos en las características agronómicas de la planta y calidad del fruto del chile xcat'ik (*Capsicum annum* L.). *Revista Terra*

- Latinoamericana 2020;38:817–26. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i4.716>.
- [9] Gutiérrez-Sarmiento W, Sáyago-Ayerdi SG, Goñi I, Gutiérrez-Miceli FA, Abud-Archila M, Rejón-Orantes J del C, et al. Changes in Intestinal Microbiota and Predicted Metabolic Pathways During Colonic Fermentation of Mango (*Mangifera indica* L.)—Based Bar Indigestible Fraction. *Nutrients* 2020;12:1–18. <https://doi.org/10.3390/nu12030683>.
- [10] Tanya Morocho M, Leiva Mora M. Microorganismos eficientes, propiedades funcionales y aplicaciones agrícolas. *Centro Agrícola* 2019;46:93–103.
- [11] Ney L, Franklin D, Mahmud K, Cabrera M, Hancock D, Habteselassie M, et al. Impact of inoculation with local effective microorganisms on soil nitrogen cycling and legume productivity using composted broiler litter. *Applied Soil Ecology* 2020;154:1–8. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.103567>.
- [12] Rosatto Moda L, de Mello Prado R, Castellanos Gonzáles L, Reyes Hernández A, Caione G, Silva Campos C. Solubilización de fuentes de fósforo asociadas a un compuesto orgánico enriquecido con biofertilizantes. *Agrociencia* 2014;48:489–500.
- [13] Montejo-Martínez M, Torres-López A, Martínez-Toledo J, Tenorio-López M, Cruz-Colín F, Ramos-Morales R, et al. Técnicas para el análisis de actividad enzimática en suelos. In: Cuevas-Díaz M, Espinosa-Reyes G, Ilizaliturri-Hernández C, Mendoza-Cantú A, editors. *Métodos ecotoxicológicos para la evaluación de suelos contaminados con hidrocarburos*. 1st ed., México, D.F.: Instituto Nacional de Ecología (INE-Semarnat); 2012, p. 16–46.
- [14] Bailón-Rojas MR, Florida-Rofner N. Caracterización y calidad de los compost producidos y comercializados en Rupa Rupa-Huánuco. *Enfoque UTE* 2021;12:1–11. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.644>.
- [15] Paolini Gomez JE. Actividad microbiológica y biomasa microbiana en suelos cafetaleros de los Andes venezolanos. *Revista Terra Latinoamericana* 2018;36:13–22. <https://doi.org/10.28940/terra.v36i1.257>.
- [16] Pascual-Córdova G, Obrador-Olán J, Carrillo-Ávila E, García-López E, Sánchez-Soto S, Guerrero-Peña A, et al. Indicadores de calidad del suelo en el agroecosistema caña de azúcar (*Saccharum* spp.). *Revista De La Facultad De Agronomía De La Universidad Del Zulia* 2017;35:1–25.
- [17] Reyes I, Valery A. Efecto de la fertilidad del suelo sobre la microbiota y la promoción del crecimiento Del maíz (*zea mays* l.) Con *azotobacter* spp. *BioAgro* 2007;19:117–26.
- [18] de los Santos Villalobos S, Parra Cota FI, Herrera Sepúlveda A, Valenzuela Aragón B, Estrada Mora JC. Colmena: colección de microorganismos edáficos y endófitos nativos, para contribuir a la seguridad alimentaria nacional. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 2018;9:191–202. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i1.858>.
- [19] Nogales B. La microbiología del suelo en la era de la biología molecular: descubriendo la punta del iceberg. *Ecosistemas* 2005;14:41–50.
- [20] Lyautey E, Lacoste B, Ten-Hage L, Rols J-L, Garabetian F. Analysis of bacterial diversity in river biofilms using 16S rDNA PCR-DGGE: methodological settings and fingerprints interpretation. *Water Research* 2005;39:380–8. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2004.09.025>.
- [21] Guerrero R, Berlanga M. Microbios en la niebla: descubriendo el papel de los microbios en la biosfera. *Ecosistemas* 2005;14:3–10.
- [22] Abril A. ¿Son los microorganismos edáficos buenos indicadores de impacto productivo en los ecosistemas? *Ecología Austral* 2003;13:195–204.
- [23] Wang K, Peng C, Zhu Q, Zhou X, Wang M, Zhang K, et al. Modeling global soil carbon and soil microbial carbon by integrating microbial processes into the ecosystem process model TRIPLEX-GHG. *Journal of Advances in*

- Modeling Earth Systems 2017;9:2368–84. <https://doi.org/10.1002/2017MS000920>.
- [24] Syakila A, Kroeze C. The global nitrous oxide budget revisited. *Greenhouse Gas Measurement and Management* 2011;1:17–26. <https://doi.org/10.3763/ghgmm.2010.0007>.
- [25] Hayden HL, Mele PM, Bougoure DS, Allan CY, Norng S, Piceno YM, et al. Changes in the microbial community structure of bacteria, archaea and fungi in response to elevated CO₂ and warming in an Australian native grassland soil. *Environmental Microbiology* 2012;14:3081–96. <https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2012.02855.x>.
- [26] Dunbar J, Eichorst SA, Gallegos-Graves LV, Silva S, Xie G, Hengartner NW, et al. Common bacterial responses in six ecosystems exposed to 10 years of elevated atmospheric carbon dioxide. *Environmental Microbiology* 2012;14:1145–58. <https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2011.02695.x>.
- [27] Schimel J, Balsler TC, Wallenstein M. Microbial stress-response physiology and its implications for ecosystem function. *Ecology* 2007;88:1386–94. <https://doi.org/10.1890/06-0219>.
- [28] Jansson JK, Hofmockel KS. Soil microbiomes and climate change. *Nature Reviews Microbiology* 2020;18:35–46. <https://doi.org/10.1038/s41579-019-0265-7>.
- [29] Pedraza R, Teixeira K-RS, Scavino AF, de Salamone IG, Baca B, Azcón R, et al. Microorganismos que mejoran el crecimiento de las plantas y la calidad de los suelos. Revisión. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria* 2010;11:155–64. https://doi.org/10.21930/rcta.vol11_num2_art:206.
- [30] Julca-Otiniano A, Meneses-Florián L, Blas-Sevillano R, Bello-Amez S. La materia orgánica, importancia y experiencia de su uso en la agricultura. *Idesia (Arica)* 2006;24:49–61. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292006000100009>.
- [31] Olalde V, Aguilera L. Microorganismos y biodiversidad. *Terra Latinoamericana* 1998;16:289–92.
- [32] Calvo Vélez P, Reymundo Meneses L, Zúñiga Dávila D. Estudio de las poblaciones microbianas de la rizósfera del cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) en zonas altoandinas. *Ecología Aplicada* 2008;7:141–8. <https://doi.org/10.21704/rea.v7i1-2.369>.
- [33] Aly SM, Abdel-Galil Ahmed Y, Abdel-Aziz Ghareeb A, Mohamed MF. Studies on *Bacillus subtilis* and *Lactobacillus acidophilus*, as potential probiotics, on the immune response and resistance of *Tilapia nilotica* (*Oreochromis niloticus*) to challenge infections. *Fish & Shellfish Immunology* 2008;25:128–36. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2008.03.013>.
- [34] Beltrán Pineda ME. La solubilización de fosfatos como estrategia microbiana para promover el crecimiento vegetal. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria* 2015;15:101–13. https://doi.org/10.21930/rcta.vol15_num1_art:401.
- [35] Bashan Y, Puente E, Salazar B, De-Bashan L, Bacilio M, Hernández J, et al. Reforestación de tierras erosionadas en el desierto: el papel de las bacterias promotoras de crecimiento en plantas y la materia orgánica. *Suelos Ecuatorianos* 2015;35:70–7.
- [36] Rodríguez Z, Boucort R, Rodríguez J, Albelo N, Nuñez O, Herrera F. Aislamiento y selección de microorganismos con capacidad de degradar el almidón. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 2006;40:349–54.
- [37] Matsumoto LS, Martines AM, Avanzi MA, Albino UB, Brasil CB, Saridakis DP, et al. Interactions among functional groups in the cycling of carbon, nitrogen and phosphorus in the rhizosphere of three successional species of tropical woody trees. *Applied Soil Ecology* 2005;28:57–65. <https://doi.org/10.1016/J.APSOIL.2004.06.008>.
- [38] Cao C, Jiang D, Teng X, Jiang Y, Liang W, Cui Z. Soil chemical and microbiological properties along a chronosequence of *Caragana microphylla* Lam. plantations in the Horqin sandy land of Northeast China. *Applied Soil Ecology* 2008;40:78–85. <https://doi.org/10.1016/J.APSOIL.2008.03.008>.

- [39] Bertola M, Ferrarini A, Visioli G. Improvement of soil microbial diversity through sustainable agricultural practices and its evaluation by Omics approaches: A perspective for the environment, food quality and human safety. *Microorganisms* 2021;9:1–22. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9071400>.
- [40] Helgason BL, Gregorich EG, Janzen HH, Ellert BH, Lorenz N, Dick RP. Long-term microbial retention of residue C is site-specific and depends on residue placement. *Soil Biology and Biochemistry* 2014;68:231–40. <https://doi.org/10.1016/J.SOILBIO.2013.10.002>.
- [41] López-Mondéjar R, Zühlke D, Becher D, Riedel K, Baldrian P. Cellulose and hemicellulose decomposition by forest soil bacteria proceeds by the action of structurally variable enzymatic systems. *Scientific Reports* 2016;6:6:25279. <https://doi.org/10.1038/srep25279>.
- [42] Beltrán Pineda ME, Rocha Gil ZE, Bernal Figueroa AA, Pita Morales LA. Microorganismos funcionales en suelos con y sin revegetalización en el municipio de Villa de Leyva, Boyacá. *Colombia Forestal* 2017;20:159–70. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2017.2.a05>.
- [43] Beltrán Pineda M, Lizarazo Forero L. Grupos funcionales de microorganismos en suelos de páramo afectados por incendios forestales. *Revista de Ciencias* 2013;17:121–36.
- [44] Tamariz-Angeles C. Isolation and identification of cellulolytic and xylanolytic bacteria from Huancarhuaz Hot Spring, Peru. *Annual Research & Review in Biology* 2014;4:2920–30. <https://doi.org/10.9734/ARRB/2014/10699>.
- [45] Montor-Antonio J, Olvera-Carranza C, Reyes-Duarte D, Sachman-Ruiz B, Ramírez-Coutiño L, del Moral S. Caracterización bioquímica de AmiJ33, una amilasa de *Bacillus amyloliquefaciens* aislada de suelos cultivados con caña de azúcar en la región del Papaloapan. *Nova Scientia* 2014;6.
- [46] Zimmermann M, Leifeld J, Fuhrer J. Quantifying soil organic carbon fractions by infrared-spectroscopy. *Soil Biology and Biochemistry* 2007;39:224–31. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2006.07.010>.
- [47] Álvarez-López C, Osorio-Vega W, Díez-Gómez MC, Marín-Montoya M. Caracterización bioquímica de microorganismos rizosféricos de plantas de vainilla con potencial como biofertilizantes. *Agronomía Mesoamericana* 2014. <https://doi.org/10.15517/am.v25i2.15426>.
- [48] Pyke DA, Archer S. Plant-Plant Interactions Affecting Plant Establishment and Persistence on Revegetated Rangeland. *Journal of Range Management* 1991;44. <https://doi.org/10.2307/4003035>.
- [49] Compant S, van der Heijden MGA, Sessitsch A. Climate change effects on beneficial plant-microorganism interactions. *FEMS Microbiology Ecology* 2010;73:197–214. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.2010.00900.x>.
- [50] Hu A, Chen X, Luo S, Zou Q, Xie J, He D, et al. Rhizobium leguminosarum glutathione peroxidase is essential for oxidative stress resistance and efficient nodulation. *Frontiers in Microbiology* 2021;12:627562. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.627562>.
- [51] Alori ET, Glick BR, Babalola OO. Microbial phosphorus solubilization and its potential for use in sustainable agriculture. *Frontiers in Microbiology* 2017;8:971. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00971>.
- [52] Vargas Barrantes P, Castro Barquero L. Aislamiento y evaluación de microorganismos solubilizadores de fósforo de Andisoles de Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 2018;43:47–68. <https://doi.org/10.15517/rac.v43i1.35649>.
- [53] Tapia-Torres Y, García-Oliva F. La disponibilidad del fósforo es producto de la actividad bacteriana en el suelo en ecosistemas oligotróficos: Una revisión crítica. *Terra Latinoamericana* 2013;31:231–42.

- [54] Patiño-Torres C, Sanclemente-Reyes O. Los microorganismos solubilizadores de fósforo (MSF): una alternativa biotecnológica para una agricultura sostenible. *Entramado* 2014;10:288–97.
- [55] Chuan O, Muhammad I, Chuen Y, Kamaruzzaman Y, Bidai J. Metals contamination using Polymesoda expansa (Marsh Clam) as bio-indicator in Kelatan river, Malaysia. *Malaysian Journal of Analytical Science* 2017;21:597–604. <https://doi.org/10.17576/mjas-2017-2103-09>.
- [56] Guo JH, Liu XJ, Zhang Y, Shen JL, Han WX, Zhang WF, et al. Significant acidification in major chinese croplands. *Science* 2010;327:1008–10. <https://doi.org/10.1126/science.1182570>.
- [57] Plante AF. Soil biogeochemical cycling of inorganic nutrients and metals. Academic Press; 2007. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-047514-1.50019-6>.
- [58] Hernández-Flores L, Munive-Hernández J, Sandoval-Castro E, Martínez-Carrera D, Villegas-Hernández M. Efecto de las prácticas agrícolas sobre las poblaciones bacterianas del suelo en sistemas de cultivo en Chihuahua, México. *Rev Mex Cienc Agríc* 2013;4:353–65.
- [59] Kumar A, Verma JP. Does plant–microbe interaction confer stress tolerance in plants: A review? *Microbiological Research* 2018;207:41–52. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2017.11.004>.
- [60] Grageda-Cabrera O, Díaz-Franco A, Peña-Cabriales J, Vera-Nuñez J. Impacto de los biofertilizantes en la agricultura. *Rev Mex Cienc Agríc* 2012;3:1261–74.
- [61] Restrepo Correa SP. Mecanismos de acción de hongos y bacterias empleados como biofertilizantes en suelos agrícolas: una revisión sistemática. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 2017;18:335–51. https://doi.org/10.21930/rcta.vol18_num2_art:635.
- [62] Vitorino LC, Bessa LA. Technological microbiology: Development and applications. *Frontiers in Microbiology* 2017;8:827. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00827>.
- [63] Creus C. Inoculantes microbianos: piezas de un rompecabezas que aún requiere ser ensamblado. *Revista Argentina de Microbiología* 2017;49:207–9.
- [64] Salar RK, Purewal SS, Sandhu KS. Bioactive profile, free-radical scavenging potential, DNA damage protection activity, and mycochemicals in *Aspergillus awamori* (MTCC 548) extracts: a novel report on filamentous fungi. *3 Biotech* 2017;7:164. <https://doi.org/10.1007/s13205-017-0834-2>.
- [65] Díaz Borrego L, Marín Leal J, Alburgue Díaz D, Carrasquero Ferrer S, Morales Avendaño E. Consorcio microbiano autóctono para el tratamiento de aguas contaminadas con gasoil del puerto de Isla de Toas (Venezuela). *Ciencia e Ingeniería Neogranadina* 2018;28:5–27. <https://doi.org/https://doi.org/10.18359/rcin.2792>.
- [66] Ochoa Carreño DC, Montoya Restrepo A. Consorcios microbianos: una metáfora biológica aplicada a la asociatividad empresarial en cadenas productivas agropecuarias. *Revista Facultad de Ciencias Económicas* 2010;18:55–74. <https://doi.org/10.18359/rfce.2272>.
- [67] Gadd GM. Metals, minerals and microbes: geomicrobiology and bioremediation. *Microbiology* 2010;156:609–43. <https://doi.org/10.1099/mic.0.037143-0>.
- [68] Northup E, Kathleen H, Lavoie D. Geomicrobiology of Caves: A Review. *Geomicrobiology Journal* 2001;18:199–222. <https://doi.org/10.1080/01490450152467750>.
- [69] Brenner K, You L, Arnold FH. Engineering microbial consortia: a new frontier in synthetic biology. *Trends in Biotechnology* 2008;26:483–9. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2008.05.004>.
- [70] Maier R, Pepper I, Gerba C. *Environmental Microbiology*. 2nd ed. Elsevier; 2009. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-370519-8.X0001-6>.

- [71] Rivera Cruz M, Trujillo Narcia A, Cordova Ballona G, Kohler J, Caravaca F, Roldan A. Poultry manure and banana waste are effective biofertilizer carriers for promoting plant growth and soil sustainability in banana crops. *Soil Biology and Biochemistry* 2008;40:3092–5. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2008.09.003>.
- [72] ben Rebah F. Wastewater sludge as a substrate for growth and carrier for rhizobia: the effect of storage conditions on survival of *Sinorhizobium meliloti*. *Bioresource Technology* 2002;83:45–51. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(01\)00202-4](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00202-4).
- [73] Stephens JHG, Rask HM. Inoculant production and formulation. *Field Crops Research* 2000;65:249–58. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(99\)00090-8](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(99)00090-8).
- [74] Basu S, Rabara R, Negi S. Towards a better greener future - an alternative strategy using biofertilizers. I: Plant growth promoting bacteria. *Plant Gene* 2017;12:43–9. <https://doi.org/10.1016/J.PLGENE.2017.07.004>.
- [75] González F. H, Fuentes M. N. Mecanismo de acción de cinco microorganismos promotores de crecimiento vegetal. *Revista de Ciencias Agrícolas* 2017;34:17–31. <https://doi.org/10.22267/rcia.173401.60>.
- [76] Jha CK, Saraf M. Evaluation of multispecies plant-growth-promoting consortia for the growth promotion of *Jatropha curcas* L. *Journal of Plant Growth Regulation* 2012;31:588–98. <https://doi.org/10.1007/s00344-012-9269-5>.
- [77] Domenech J, Reddy MS, Kloepper JW, Ramos B, Gutierrez-Mañero J. Combined application of the biological product LS213 with *Bacillus*, *Pseudomonas* or *Chryseobacterium* for growth promotion and biological control of soil-borne diseases in pepper and tomato. *Biocontrol* 2006;51:245–58. <https://doi.org/10.1007/s10526-005-2940-z>.
- [78] Chung S. Powder formulation using heat resistant endospores of two multi-functional plant growth promoting rhizobacteria *Bacillus* strains having *Phytophthora* blight suppression and growth promoting functions. *Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry* 2010;53:485–92. <https://doi.org/10.3839/jksabc.2010.074>.
- [79] Adam M, Heuer H, Hallmann J. Bacterial antagonists of fungal pathogens also control root-knot nematodes by induced systemic resistance of tomato plants. *PLoS ONE* 2014;9:1–9. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0090402>.
- [80] Ferraz HGM, Resende RS, Moreira PC, Silveira PR, Milagres EA, Oliveira JR, et al. Antagonistic rhizobacteria and jasmonic acid induce resistance against tomato bacterial spot. *Bragantia* 2015;74:417–27. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.0074>.
- [81] Khavazi K, Akhyani A, Baybordi A, Darya S, Abdolhamid A. Isolation and characterization of plant growth promoting fluorescent pseudomonads and their influence on yield of potato. Rome, Italy: 2007.
- [82] Megali L, Glauser G, Rasmann S. Fertilization with beneficial microorganisms decreases tomato defenses against insect pests. *Agronomy for Sustainable Development* 2014;34:649–56. <https://doi.org/10.1007/s13593-013-0187-0>.
- [83] Suchini Ramírez J. Innovaciones agroecológicas para una producción agropecuaria sostenible en la región del Trifinio. Cartago, Turrialba-Costa Rica: 2012.
- [84] Alarcon J, Recharte D, Yanqui F, Moreno S, Buendía M. Fertilizing with native efficient microorganisms has a positive effect on the phenology, biomass and production of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Scientia Agropecuaria* 2020;11:67–73. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.01.08>.
- [85] National Academies of Sciences Engineering and Medicine. Science breakthroughs to advance food and agricultural research by 2030. Washington, D.C.: National Academies Press; 2019. <https://doi.org/10.17226/25059>.
- [86] Itakura M, Uchida Y, Akiyama H, Hoshino YT, Shimomura Y, Morimoto S, et al. Mitigation of nitrous oxide emissions from soils by

- Bradyrhizobium japonicum inoculation. *Nature Climate Change* 2013;3:208–12. <https://doi.org/10.1038/nclimate1734>.
- [87] Naylor D, Coleman-Derr D. Drought stress and root-associated bacterial communities. *Frontiers in Plant Science* 2018;8:2223. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.02223>.
- [88] Hu A, Chen X, Luo S, Zou Q, Xie J, He D, et al. Rhizobium leguminosarum glutathione peroxidase is essential for oxidative stress resistance and efficient nodulation. *Frontiers in Microbiology* 2021;12:627562. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.627562>.
- [89] Lakshmanan V, Ray P, Craven KD. Toward a resilient, functional microbiome: Drought tolerance-alleviating microbes for sustainable agriculture. *Methods Mol Biol* 2017;1631:69–84. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-7136-7_4.
- [90] Vurukonda SSKP, Vardharajula S, Shrivastava M, SkZ A. Enhancement of drought stress tolerance in crops by plant growth promoting rhizobacteria. *Microbiological Research* 2016;184:13–24. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2015.12.003>.
- [91] Muñoz R, Alvarez MT, Muñoz A, Terrazas E, Guieysse B, Mattiasson B. Sequential removal of heavy metals ions and organic pollutants using an algal-bacterial consortium. *Chemosphere* 2006;63:903–11. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2005.09.062>.
- [92] Hena S, Fatimah S, Tabassum S. Cultivation of algae consortium in a dairy farm wastewater for biodiesel production. *Water Resources and Industry* 2015;10:1–14. <https://doi.org/10.1016/j.wri.2015.02.002>.
- [93] Gajda I, Greenman J, Melhuish C, Ieropoulos I. Self-sustainable electricity production from algae grown in a microbial fuel cell system. *Biomass and Bioenergy* 2015;82:1–7. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2015.05.017>.
- [94] Vasseur C, Bougaran G, Garnier M, Hamelin J, Leboulanger C, Chevanton M le, et al. Carbon conversion efficiency and population dynamics of a marine algae–bacteria consortium growing on simplified synthetic digestate: First step in a bioprocess coupling algal production and anaerobic digestion. *Bioresource Technology* 2012;119:79–87. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.05.128>.
- [95] Höffner K, Barton PI. Design of Microbial Consortia for Industrial Biotechnology. *Computer Aided Chemical Engineering* 2014;34:65–74. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63433-7.50008-0>.

Mermelada de arándano y frambuesa: evaluación sensorial, nutricional y de aceptabilidad

Cranberry and raspberry jam: sensory, nutritional and acceptability evaluation

Nelson Eduardo Loyola López*  Carlos Alberto Acuña Carrasco 

Acceso Abierto

*Correspondencia:

nloyola@ucm.cl
Universidad Católica del Maule.
Facultad de Ciencias Agrarias y
Forestales. Escuela de Ciencias
Agrarias. Región del Maule, Chile.

Recibido: 14-03-2021
Aceptado para publicación:
28-07-2021
Publicado en línea: 09-09-2021

Palabras clave:

Aceptabilidad;
ácido ascórbico;
orgánico;
mermelada;
nutricional;
sensorial.

Key words:

Acceptability;
ascorbic acid;
jam;
nutritional;
organic;
sensory.

Resumen

El objetivo de esta investigación fue obtener una mermelada realizada con mix de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) y frambuesa (*Rubus idaeus* L.) orgánicos como materia prima, sellado al vacío y endulzado con azúcar granulada orgánica y/o stevia en polvo orgánica, para su posterior evaluación nutricional, sensorial y de aceptabilidad. Los análisis nutricionales realizados fueron: *i*) ácido ascórbico (Vitamina C); *ii*) azúcares totales; *iii*) ácido cítrico (acidez); *iv*) °Brix y *v*) pectato de calcio (pectina). Los análisis sensoriales realizados, se elaboraron a través de una cartilla de evaluación sensorial; sobre la cual, se determinó el sabor, color, textura y aroma; además de realizar la medición de aceptabilidad en conjunto con los panelistas. De acuerdo con los resultados obtenidos en las mermeladas elaboradas, se presentaron los valores promedio mayores en concentración de ácido cítrico (1.47%) y pectado de calcio (0.57%), respectivamente (T_0); los valores más altos en referencia a °Brix (60.46); azúcares totales (0.8%); color y textura, los aportó T_1 ; con T_3 , se obtuvieron los promedios más altos en concentración de ácido ascórbico (25.7mg), sabor, aroma y aceptabilidad. De este modo, fue factible la realización de mermeladas con base en arándanos y frambuesas orgánicas selladas al vacío y en términos de composición, se logró la afectación de los valores nutricionales, organolépticos y de aceptabilidad.

Abstract

The aim of this research was to obtain a jam made with a mix of organic blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) and raspberry (*Rubus idaeus* L.) as raw material, vacuum sealed and sweetened with organic granulated sugar and/or organic powdered stevia, for subsequent nutritional evaluation, sensory and acceptability. The nutritional analysis performed were as follows: *i*) ascorbic acid (Vitamin C); *ii*) total sugars; *iii*) citric acid (acidity); *iv*) °Brix and *v*) calcium pectate (pectin). The sensory analysis carried out were elaborated through a sensory evaluation card; from which, the flavor, color, texture and aroma, were determined; in addition to carrying out the acceptability measurement in conjunction with the panelists. According to the results obtained in the processed jams, the highest average values were presented in citric acid concentration (1.47%) and calcium content (0.57%), respectively (T_0); the highest values in reference to °Brix (60.46); total sugars (0.8%); color and texture, provided by T_1 ; with T_3 , the highest averages were obtained in ascorbic acid concentration (25.7mg), flavor, aroma and acceptability. In this way, it was feasible to make jams based on vacuum-sealed organic blueberries and raspberries, and in terms of composition, it was possible to affect the nutritional, organoleptic and acceptability values.

Introducción

El arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) es un cultivo que crece de forma silvestre en el Hemisferio Norte y se encuentra en regiones frías o moderadamente frías. Este fruto, perteneciente al género *Vaccinium*, incluye más de 450 variedades [1]. Los frutos en la etapa inicial de maduración, se caracterizan por presentar un color blanco, en la siguiente etapa, se tornan de un color rojizo-púrpura, para finalmente, llegar a la maduración de la baya de un color azul; esta característica le otorga la denominación de *blueberry* en inglés [2].

La frambuesa (*Rubus idaeus* L.), pertenece a la familia de las rosáceas y al género *Rubus* en donde se incluyen cerca de 2000 variedades [3]. La frambuesa proviene del monte Ida, Grecia y su requerimiento climático es templado. El fruto de la frambuesa está compuesto por varias drupas acomodadas en forma de piña, la drupa posee un color rojo escarlata y su piel es aterciopelada; su pulpa es carnosa, jugosa y muy aromática, de un carácter agrídulce [2,4].

La confección de mermeladas es regida por la norma del *Codex Alimentarius* de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y la Organización Mundial de la Salud (OMS) [5], para las confituras, jaleas y mermeladas; en el cual, es especificado los requerimientos necesarios para la correcta elaboración de dicho producto. La mermelada es aquella elaborada con fruta entera, pulpa, puré, zumo (jugo), extracto acuoso o cáscara de frutos cítricos, mezclados con azúcares y/o edulcorantes carbohidratos como la miel, con o sin agua y elaborado hasta adquirir una consistencia gelatinosa adecuada, en donde la cantidad de fruta no se debe ser menor al 20% del cual, no menos del 7.5% se obtiene del endocarpio, en el producto terminado [5].

La población a nivel mundial, actualmente, presenta una tendencia marcada hacia el consumo de alimentos que sean más sanos, con menores cantidades de químicos que afecten al producto, de fácil preparación y cómodo transporte. Los cambios en los hábitos de alimentación, en conjunto con el incremento del ingreso económico; ha llevado a que la población, consuma productos preferiblemente saludables y sabrosos, además de

una fácil preparación y que se encuentren disponibles a lo largo del tiempo [6]. Las nuevas tendencias de alimentación, tienen nuevas exigencias, tales como: *i*) el compromiso con el medio ambiente y *ii*) la disminución y/o la no utilización de productos químicos; lo que se ve reflejado en el incremento de consumidores que buscan productos orgánicos [7]. El fin de este proyecto es satisfacer las nuevas exigencias alimentarias.

La comercialización de productos procesados, ha experimentado un crecimiento significativo durante la última década. A su vez, el consumo de *berries* se ha incrementado por sus diversas características que aportan valores nutricionales asociados a productos denominados sanos; se proyecta entonces que el consumo de *berries*, seguirá en aumento [6]. Desde otro punto de vista más económico, Chile, necesita experimentar con productos nuevos, buscar nuevas opciones, que agreguen valor y sustentabilidad a los productos agrícolas; generando de esta forma, nuevas alternativas de comercialización. El objetivo de esta investigación fue obtener una mermelada realizada con mix de arándano (*V. corymbosum*) y frambuesa (*R. idaeus*) orgánicos como materia prima, sellado al vacío y endulzado con azúcar granulada orgánica y/o stevia en polvo orgánica, para su posterior evaluación nutricional, sensorial y de aceptabilidad.

Materiales y métodos

Área de estudio

La investigación fue llevada a cabo en el Laboratorio de la Universidad Católica del Maule, Campus San Isidro, km 6 caminos a Los Niches, Provincia de Curicó-Región del Maule, Chile (Latitud 35°01'39.7"S Longitud 71°11'38.7" Oeste).

Descripción del proceso de elaboración de mermelada

La descripción del proceso de elaboración de la mermelada con mix de arándano (*V. corymbosum*) y frambuesa (*R. idaeus*) y la línea de flujo utilizado, se expone en la Figura 1.

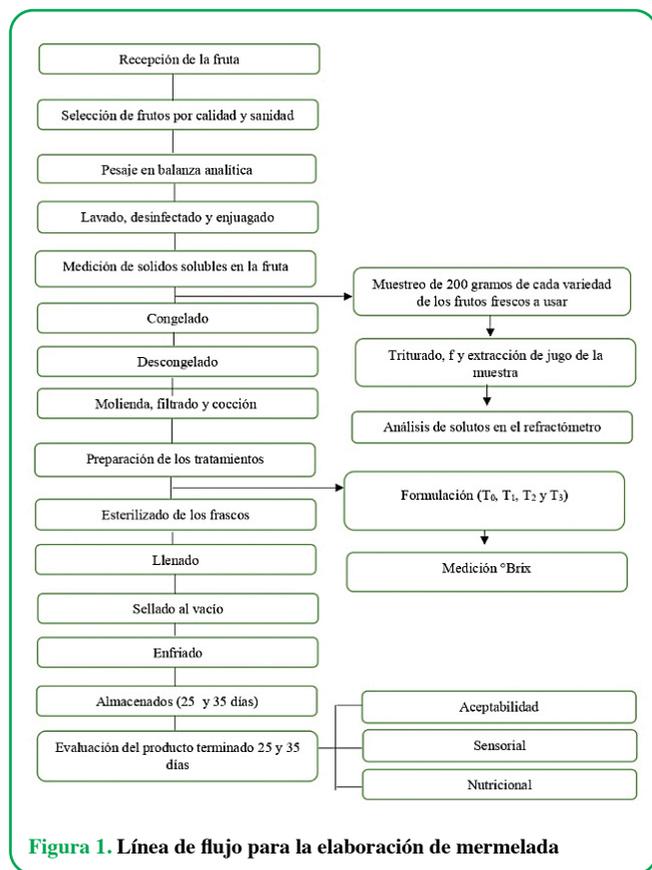


Figura 1. Línea de flujo para la elaboración de mermelada

Recepción de frambuesas y arándanos orgánicos

Se recibió una cantidad de 18 kg de arándanos y 12 kg de frambuesas, obtenidos de la empresa Minuto Verde, ubicada en Parral, Región del Maule, Chile (latitud 36° 9' 8.73" Sur, longitud 71° 46' ,76" Oeste), con el objeto de ser procesados. En las cajas correspondientes a una temperatura ambiente; los productos fueron transportados hasta la región de Los Niches, para ser sometidos al proceso de congelamiento.

Selección de frutos por criterios de sanidad

Una vez seleccionados los frutos por criterios de calidad y sanidad (Figura 1), se descartaron aquellas frutas que no cumplieran con los estándares y condiciones adecuadas; principalmente, frutas que exhibían la presencia de una enfermedad o ataque de microorganismos patógenos relacionados con enfermedades postcosecha; con el fin de garantizar la inocuidad del producto. Las frutas seleccionadas (Figura 1), se pesaron en una balanza analítica (Mettler Toledo™, modelo AB204-s) [8].

Lavado y esterilización de la materia prima

El lavado y esterilización de la materia prima se realizó con una solución de 3 L de hipoclorito de sodio (NaClO), el cual contenía cloro (Cl₂) a una concentración de 50 ppm para disminuir la carga bacteriana al mínimo, sin afectar la calidad del producto. Los frutos fueron posteriormente sumergidos y agitados cuidadosamente en la solución durante aproximadamente 1.5 minutos. Acto seguido, se lavaron los frutos con agua potable para eliminar cualquier tipo de residuo; posteriormente, fueron sometidos a proceso de congelamiento en una nevera.

Medición de sólidos solubles (°Brix)

Se determinaron los sólidos solubles de los frutos de arándano y frambuesa, utilizando una muestra de 200g. Luego, se efectuaron las lecturas de °Brix en el refractómetro (Atago™, modelo atc-1), haciendo uso de la norma AOAC (Official Methods of Analysis) 932.12 [9].

Molienda y filtrado

Después del descongelado de la fruta, se procedió a triturar la fruta en una juguera hasta lograr una pasta uniforme; la cual, fue filtrada con un género para extraer las semillas de los frutos.

Preparación del medio de cobertura

El medio de cobertura, correspondió a distintos tratamientos: T₀, T₁, T₂ y T₃, respectivamente. Para cada tratamiento, se utilizaron distintos aditivos, como sigue: i) T₀ = sin aditivo; ii) T₁ = con azúcar; iii) T₂ = con stevia y iv) T₃ = azúcar + stevia. La mermelada se preparó a una temperatura de cocción de 98°C, determinada por termómetro, siguiendo los protocolos establecidos [10].

Formulación de las mermeladas

En las mermeladas elaboradas, se realizaron cuatro formulaciones distintas, las que fueron denominadas como tratamientos (Tabla 1); en las cuales, varía la cantidad de fruta utilizada y principalmente, los aditivos que poseen. La cantidad de materia prima en conjunto con los aditivos y conservantes, es denominada dosis. La Tabla 1, expone los distintos tratamientos en conjunto con las dosis utilizadas.

Tabla 1. Formulación de las mermeladas elaboradas

Tratamiento	Dosis
T ₀	50% de fruta de arándano y un 50% de fruta de frambuesa + 1.5% de conservante [80% Benzoato de Sodio (C ₇ H ₅ NaO ₂) y 20% Sorbato de Potasio (C ₆ H ₇ KO ₂)]
T ₁	25% de fruta de arándano y 25% de fruta de frambuesa + 50% azúcar + 1.5% de conservante [80% Benzoato de Sodio (C ₇ H ₅ NaO ₂) y 20% Sorbato de Potasio (C ₆ H ₇ KO ₂)]
T ₂	40% de fruta de arándano y 40% de fruta de frambuesa + 20% manzana Granny Smith orgánica 1.5% de conservante [80% Benzoato de Sodio (C ₇ H ₅ NaO ₂) y 20% Sorbato de Potasio (C ₆ H ₇ KO ₂) + Stevia (equivalente al poder edulcorante del azúcar 50%)
T ₃	32.5% de fruta de arándano y 32.5% de fruta de frambuesa + 10% manzana Granny Smith orgánica + 25% de azúcar + Stevia (equivalente al poder edulcorante del azúcar 25%) + 1.5% de conservante [80% Benzoato de Sodio (C ₇ H ₅ NaO ₂) y 20% Sorbato de Potasio (C ₆ H ₇ KO ₂)]

Formulación balance de sólidos solubles

Esta fórmula es diseñada con el fin de evaluar la cantidad de sólidos solubles necesarios para cumplir con la cantidad de sólidos solubles establecida por el Codex Alimentarius [5], la cual debe estar entre 60 - 65% en el producto terminado. La Tabla 2, enseña la formulación con base en 1 kg de fruta.

Tabla 2. Balance sólidos solubles

Materia prima	G	°Brix	g sólidos solubles
Fruta	1000	°Brix de la fruta (%)	% sólidos solubles de la fruta
Azúcar	(1000 – sólidos solubles de la fruta)	1 (100%)	(1000 – sólidos solubles de la fruta)

Los sólidos solubles expuestos en la Tabla 2, obedecen a la siguiente determinación:

$$\text{Sólidos solubles} = \frac{\sum g \text{ sólidos solubles}}{\sum g} \times 100$$

Adicionalmente, se realizó la formulación del rendimiento para obtener la concentración necesaria para la formulación de mermeladas.

$$\text{Rendimiento} = \frac{\sum g \times \% \text{ sólidos solubles}}{\% \text{ ° Brix norma (65}^\diamond\text{)}}$$

Con base en lo anterior, se logró conocer cuál es la cantidad de agua que se debió evaporar para lograr la concentración de sólidos solubles adecuada. Para la problemática del uso de Stevia como edulcorante, no rige la norma Codex Alimentarius [5].

Frascos

Se utilizaron frascos de vidrio de 250ml, los cuáles fueron desinfectados y esterilizados con una solución desinfectante de 200 ppm de hipoclorito de sodio (NaClO). La capacidad de los envases, se consideró de acuerdo con semejanzas en el mercado actual; el cual, posee 240 ml de mermelada correspondiente a cada tratamiento.

Sellado al vacío

El sellado al vacío se realizó por medio de temperatura, para evitar la presencia de oxígeno; el cual, se ejecutó a temperaturas entre los 55°-98°C, durante 45 segundos [11].

Parámetros a evaluar

Sólidos solubles

Determinación de sólidos según Método Oficial AOAC 932.12 sólidos solubles en frutas y productos frutales; método refractométrico [9]. Se evaluaron los sólidos solubles de los tratamientos (T₀, T₁, T₂ y T₃) tres veces por muestra a partir del día 25 y 35 de almacenado.

Determinación de ácido ascórbico (vitamina C) en mermeladas

Se determinó la cantidad de ácido ascórbico (Vitamina C) a través del método AOAC 967.21 [12], con mediciones a los 25 y 35 días después de la elaboración de la mermelada.

Determinación de azúcares totales

La determinación de azúcares totales se determinó siguiendo los lineamientos expuestos por la norma AOAC 923.02 [13] con mediciones a los 25 y 35 días después de la elaboración de la mermelada.

Determinación de acidez

Mediante la norma AOAC 942.15 [14], se determinó la acidez que poseía la mermelada.

Determinación de pectato de calcio (Pectina)

Se determinó la cantidad de pectina mediante el método gravimétrico de Carré y Haynes, descrito por Kirk et al. [15].

Evaluación sensorial y aceptabilidad

La evaluación sensorial se realizó posterior a 25 y 35 días de almacenamiento de las mermeladas, en los cuales, se comprobarán que no representan ningún riesgo para la salud humana. Este proceso se realizó de forma aleatoria, aplicando cartillas de evaluación sensorial y de aceptabilidad, para 15 panelistas.

Diseño experimental

El diseño estadístico aplicado fue bloques completamente al azar (BCA) e incluyó la evaluación a partir del análisis de varianza. En los casos que se encontraron diferencias significativas, se sometieron a la prueba de honestidad de Tukey con un nivel de significancia del 0.05. Los datos fueron analizados con el programa estadístico STATGRAPHICS® Centurión versión 16, 2009.

Resultados

Análisis de propiedades nutricionales y parámetros químicos

Análisis de °Brix

Las mermeladas elaboradas fueron evaluadas y los resultados obtenidos, se promediaron como se demuestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Valores promedio de °Brix en 25 y 35 días

Tratamiento	Prom. °Brix 25 días	Prom. °Brix 35 días
T ₁	60.40 ^a	60.46 ^a
T ₃	39.96 ^b	40.10 ^b
T ₂	12.43 ^c	12.70 ^c
T ₀	12.73 ^c	12.86 ^c

Promedios con la misma letra no difieren significativamente entre sí (P>0.05 ANOVA seguido de la prueba Tukey).

Las mermeladas elaboradas con los tratamientos T₀ (fruta orgánica sin edulcorante) y T₂ (fruta orgánica + Stevia), no presentaron diferencias significativas entre ellos (Figura 2) respecto a los °Brix medidos.

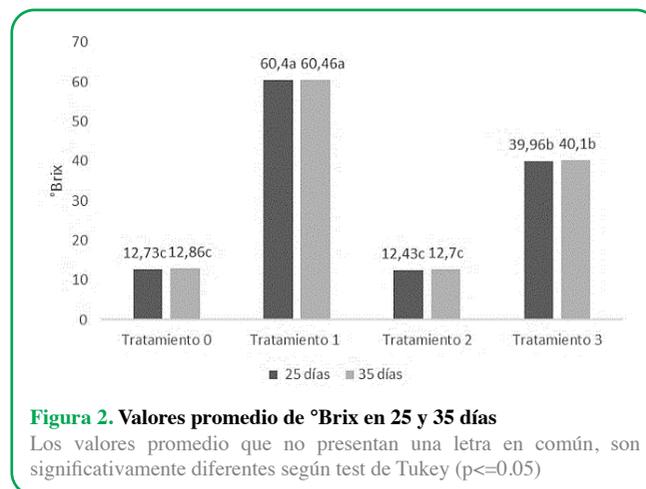


Figura 2. Valores promedio de °Brix en 25 y 35 días

Los valores promedio que no presentan una letra en común, son significativamente diferentes según test de Tukey (p<=0.05)

La adición de azúcar granulada orgánica en las mermeladas elaboradas con el tratamiento T₁, permitió un incremento significativo en la concentración de los sólidos solubles (valores T₁ y T₂), debido a que la fruta en un comienzo, presentó entre 11 y 12°Brix.

Análisis del contenido de ácido cítrico

La cantidad de ácido cítrico que se extrajo de cada mermelada elaborada, fue expresada en porcentaje de acuerdo con una muestra de 2g (Tabla 4).

Tabla 4. Valores promedio de ácido cítrico en 25 y 35 días

Tratamiento	Ácido cítrico 25 días	Ácido cítrico 30 días
T ₀	1.46% ^a	1.47% ^a
T ₂	1.18% ^b	1.12% ^b
T ₃	0.92% ^c	0.90% ^c
T ₁	0.81% ^d	0.79% ^d

Promedios con la misma letra no difieren significativamente entre sí (P>0.05 ANOVA seguido de la prueba Tukey).

La mermelada elaborada que presentó una mayor concentración de ácido cítrico fue obtenida con el tratamiento T₀, obteniéndose promedios entre 1.46% y 1.47% de ácido cítrico; el tratamiento que presentó una

menor concentración de ácido cítrico fue el tratamiento T_1 con promedios de concentración entre 0.81% y 0.79%. Los resultados se exponen en la Figura 3.

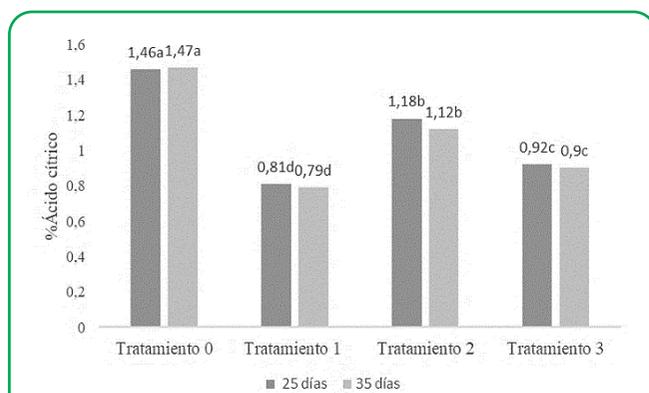


Figura 3. Valores promedio de ácido cítrico en 25 y 35 días

Los valores promedio que no presentan una letra en común, son significativamente diferentes según test de Tukey ($p < 0.05$)

En las mermeladas elaboradas, respecto al porcentaje de ácido cítrico, todos los tratamientos presentaron diferencias significativas entre ellos, debido a la concentración de fruta que poseían (Figura 3).

Análisis del contenido de ácido ascórbico (vitamina C)

En las mermeladas elaboradas, se realizó la medición de ácido ascórbico en 100gr de muestra. La Tabla 5, muestra la cantidad promedio en mg de ácido ascórbico evaluada.

Tabla 5. Valores promedio en mg de ácido ascórbico en 25 y 35 días

Tratamiento	Prom. ácido ascórbico 25 días	Prom. ácido ascórbico 35 días
T_3	24.50 _a	25.70 _a
T_2	22.20 _b	23.56 _b
T_1	20.00 _c	19.80 _c
T_0	14.40 _d	16.40 _d

Promedios con la misma letra no difieren significativamente entre sí ($P > 0.05$ ANOVA seguido de la prueba Tukey).

El análisis estadístico reflejó diferencias significativas en todos los tratamientos de las mermeladas realizadas, respecto a la cantidad de ácido ascórbico. La mermelada elaborada con el tratamiento T_3 , fue la

que presentó la mayor concentración de vitamina C, en donde los arándanos y frambuesas fueron mezclados con azúcar orgánica, Stevia y manzana orgánica; obteniendo 24.5mg de ácido ascórbico.100g⁻¹ de muestra. El segundo tratamiento que presentó una mayor concentración de ácido ascórbico fue el T_2 , el cual, contiene como adición, manzana y Stevia; obteniendo 20.2mg de ácido ascórbico.100g⁻¹ de muestra (Figura 4).

Análisis del contenido de azúcares totales

Los resultados obtenidos de las mermeladas elaboradas, son expresados en porcentaje de acuerdo a las muestras realizadas de 100ml de mermelada (Tabla 6).

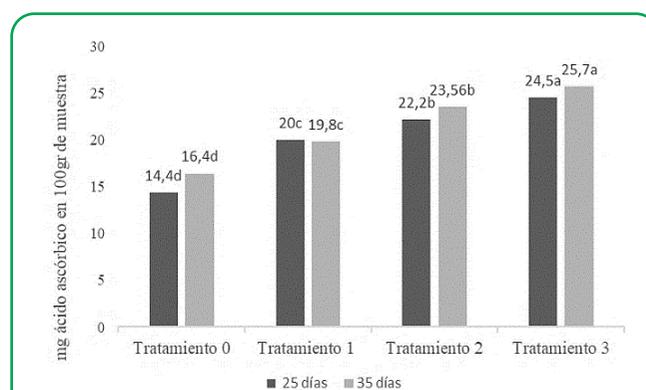


Figura 4. Valores promedio en mg de ácido ascórbico en 25 y 35 días

Los valores promedio que no presentan una letra en común, son significativamente diferentes según test de Tukey ($p < 0.05$)

Tabla 6. Valores promedios de azúcares totales en 25 y 35 días

Tratamiento	Prom. Azúcares totales 25 días	Prom. Azúcares totales 35 días
T_1	0.80% _a	0.78% _a
T_3	0.70% _b	0.70% _b
T_0	0.18% _c	0.19% _c
T_2	0.19% _d	0.20% _d

Promedios con la misma letra no difieren significativamente entre sí ($P > 0.05$ ANOVA seguido de la prueba Tukey).

La mermelada elaborada con el tratamiento T_1 , fue la que presentó la mayor concentración de azúcares totales, debido a que este tratamiento, estaba compuesto por azúcar y fruta orgánica. La cantidad de azúcares totales obtenidos en la mermelada elaborada con

el tratamiento T_1 , fluctuó entre 0.8% y 0.78%. Las mermeladas elaboradas con los tratamientos T_2 y T_0 , no presentaron diferencias significativas entre ellos en cuanto al contenido de azúcares totales (Figura 5).

Análisis del contenido de pectato de calcio (Pectina)

Los resultados obtenidos de las mermeladas elaboradas, fueron promediados y expresados en porcentaje (Tabla 7).

La mermelada con el tratamiento que presentó la mayor cantidad de pectato de calcio, fue el T_0 , elaborado únicamente con fruta orgánica y conservantes; los promedios obtenidos con el tratamiento T_0 , se encontraban entre 0.55% y 0.57% (Tabla 7).

Tabla 7. Valores promedio de pectato de calcio en 25 y 35 días

Tratamiento	Pectina 25 días	Pectina 30 días
T_0	0.55% ^a	0.57% ^a
T_2	0.48% ^b	0.46% ^b
T_1	0.37% ^c	0.39% ^c
T_3	0.39% ^c	0.40% ^c

Promedios con la misma letra no difieren significativamente entre sí ($P > 0.05$ ANOVA seguido de la prueba Tukey).

La segunda mermelada que obtuvo una mayor cantidad de pectato de calcio, fue la elaborada con el tratamiento T_2 , la cual presentó un tango entre 0.48% y 0.46% de pectato de calcio (Figura 5).

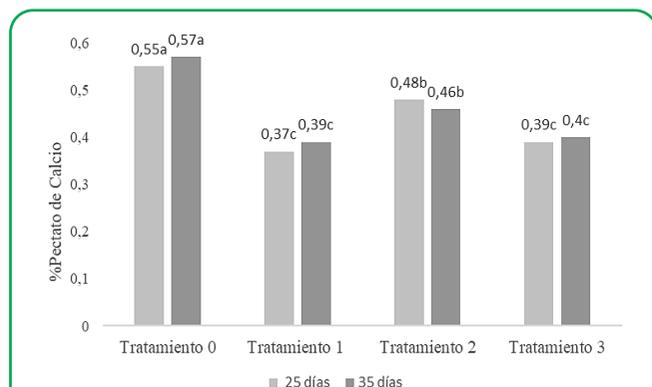


Figura 5. Valores promedio de pectato de calcio en 25 y 35 días

Los valores promedio que no presentan una letra en común, son significativamente diferentes según test de Tukey ($p < 0.05$)

Evaluación sensorial de las mermeladas

Análisis sensorial: Sabor

En las mermeladas realizadas, los valores obtenidos oscilaron entre 0 y 13, donde 13, fue el valor máximo “dulce” (Tabla 8).

La mermelada elaborada con el tratamiento T_0 , fue la que presentó un sabor más “insípido” percibido por los panelistas; los degustadores evaluaron el tratamiento entre los valores 3.33 y 2.83 y lo catalogaron como “cercano a insípido” (Tabla 8).

Tabla 8. Valores promedio de sabor en 25 y 35 días

Tratamiento	Sabor 25 días	Sabor 30 días
T_3	12.07 ^a (dulce)	12.23 ^a (dulce)
T_1	10.13 ^b (cercano a dulce)	10.50 ^b (cercano a dulce)
T_2	7.27 ^c (no muy dulce)	7.60 ^c (no muy dulce)
T_0	3.33 ^d (cercano a insípido)	2.83 ^d (cercano a insípido)

Promedios con la misma letra no difieren significativamente entre sí ($P > 0.05$ ANOVA seguido de la prueba Tukey).

La mermelada elaborada con el tratamiento T_3 , fue la que presentó el sabor “más dulce”, donde los panelistas evaluaron la mermelada con Stevia, azúcar orgánica y manzana orgánica; obteniendo valores entre 12.07 y 12.23, considerada finalmente como “dulce” (Figura 6).

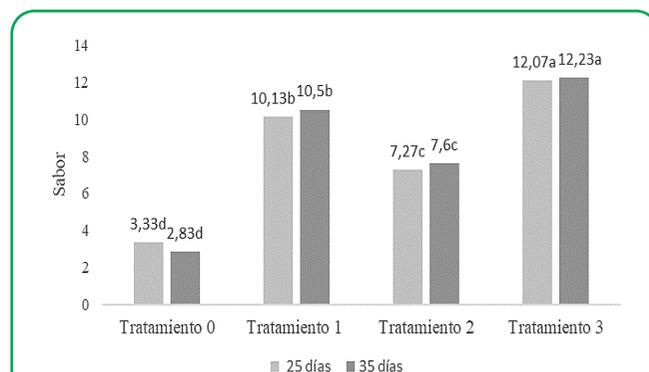


Figura 6. Valores promedio de sabor en 25 y 35 días

Los valores promedio que no presentan una letra en común, son significativamente diferentes según test de Tukey ($p < 0.05$)

De acuerdo con el análisis estadístico realizado a las mermeladas elaboradas, todos los tratamientos evaluados, presentaron diferencias significativas entre ellos; respecto al atributo sensorial del sabor, por los distintos componentes edulcorantes en la mermelada elaborada (Figura 6).

Análisis sensorial: Color

Los valores obtenidos oscilaron entre 0 (“color claro”) y 13 (“color oscuro”) (Tabla 9).

Tabla 9. Valores promedio de color en 25 y 35 días

Tratamiento	Color 25 días	Color 30 días
T ₁	11.93 _a	12.03 _a
	(oscuro)	(oscuro)
T ₃	9.03 _b	9.50 _b
	(medianamente oscuro)	(medianamente oscuro)
T ₂	5.00 _c	4.80 _c
	(levemente oscuro)	(levemente oscuro)
T ₀	5.10 _c	5.50 _c
	(levemente oscuro)	(levemente oscuro)

Promedios con la misma letra no difieren significativamente entre sí (P>0.05 ANOVA seguido de la prueba Tukey).

Los panelistas percibieron que las mermeladas elaboradas con el tratamiento T₁, presentaron un color oscuro, el cual, contenía azúcar y fruta orgánica con valores promedios resultantes entre 11.93 y 12.03, que lo catalogaban como “oscuro” (Tabla 9). De la misma manera, los panelistas evaluaron con “levemente oscuro” a las mermeladas elaboradas con los tratamientos T₀ y T₂, respectivamente, los cuales no contenían adición de azúcar; resultando entre 4.8 y 5.5, caracterizado finalmente como “levemente oscuro” (Tabla 9; Figura 7).

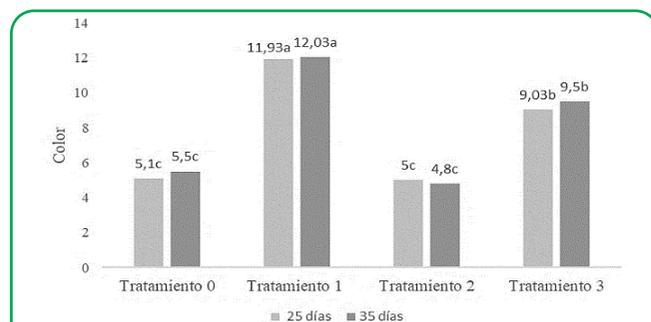


Figura 7. Valores promedio de color en 25 y 35 días

Los valores promedio que no presentan una letra en común, son significativamente diferentes según test de Tukey (p<=0.05)

Análisis sensorial: Textura

De acuerdo con la cartilla de evaluación sensorial realizada a las mermeladas elaboradas, en donde el valor 0 es el mínimo y 13 el máximo; los resultados fueron promediados como se demuestra en la Tabla 10.

Tabla 10. Valores promedio de textura en 25 y 35 días

Tratamiento	Textura 25 días	Textura 30 días
T ₁	12.07 _a	11.96 _a
	(firme)	(firme)
T ₃	10.07 _b	10.22 _b
	(medianamente firme)	(medianamente firme)
T ₂	8.73 _c	8.74 _c
	(levemente firme)	(levemente firme)
T ₀	2.10 _d	2.17 _d
	(suave)	(suave)

Promedios con la misma letra no difieren significativamente entre sí (P>0.05 ANOVA seguido de la prueba Tukey).

De acuerdo con la percepción de los panelistas, las mermeladas elaboradas con el tratamiento T₀, presentaron una menor textura, obteniendo resultados entre 2.1 y 2.17, caracterizado como “suave”. Las mermeladas elaboradas con el tratamiento T₁, presentaron los mayores valores en cuanto a textura percibido por los panelistas; el que consiste en la mezcla de fruta orgánica y azúcar orgánica, otorgando la calificación de 12.07, catalogada como “firme” (Tabla 10; Figura 8).

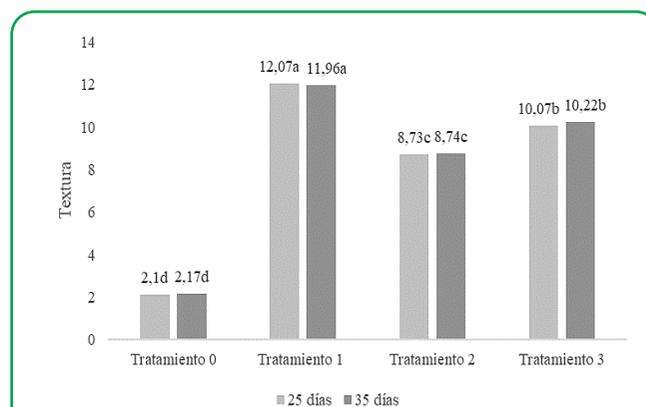


Figura 8. Valores promedio de textura en 25 y 35 días

Los valores promedio que no presentan una letra en común, son significativamente diferentes según test de Tukey (p<=0.05)

Análisis sensorial: Aroma

Mediante el uso de cartillas sensoriales, se evaluó el atributo aroma, percibido por los panelistas en las mermeladas elaboradas. En una escala de 0-13 en donde 0, indica un aroma insípido y 13, un aroma frutal (Tabla 11).

Tabla 11. Valores promedio de aroma en 25 y 35 días

Tratamiento	Aroma 25 días	Aroma 30 días
T ₃	10.80 _a (aroma frutal)	10.83 _a (aroma frutal)
T ₁	8.6 _b (medianamente frutal)	8.67 _b (medianamente frutal)
T ₂	6.50 _c (levemente frutal)	6.87 _c (levemente frutal)
T ₀	4.33 _d (cercano a insípido)	4.50 _d (cercano a insípido)

Promedios con la misma letra no difieren significativamente entre sí (P>0.05 ANOVA seguido de la prueba Tukey).

La mermelada que presentó un mayor aroma (“frutal”) según los panelistas, fue el tratamiento T₃, con valores entre 10.8 y 10.83, catalogado como “aroma frutal”, en los cuales, los panelistas percibieron e indicaron que posee un aroma “agradable y frutal”. El tratamiento que presentó un aroma “más insípido” fue el T₀, con valores entre 4.33 y 4.5 “cercano a insípido”, en el cual, los panelistas lo señalaron como aroma “ácido”. El tratamiento T₁, presentó valores entre 8.6 y 8.67, catalogado como “medianamente frutal”, e incluso, un aroma a “caramelo”, señalado por los degustadores (Tabla 11; Figura 9).

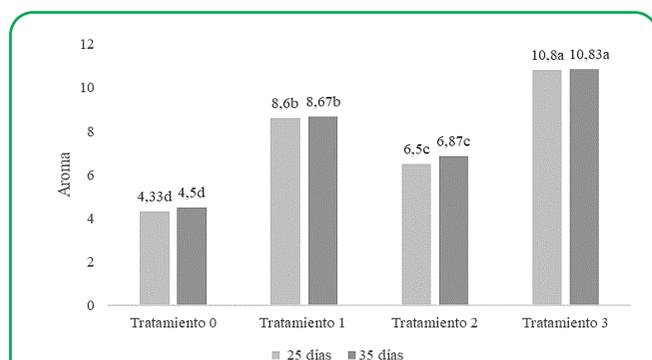


Figura 9. Valores promedio del atributo aroma en 25 y 35 días
Los valores promedio que no presentan una letra en común, son significativamente diferentes según test de Tukey (p<=0.05)

Análisis de aceptabilidad

Los valores obtenidos de las mermeladas elaboradas, oscilaron entre 0- 9, en donde 0, fue el valor mínimo (“me disgusta extremadamente”) y 9, el valor máximo (“me gusta extremadamente”) (Tabla 12).

Tabla 12. Valores promedio de aceptabilidad en 25 y 35 días

Tratamiento	Aceptabilidad 25 días	Aceptabilidad 30 días
T ₃	7.8 _a (me gusta mucho)	8.0 _a (me gusta mucho)
T ₁	7.0 _b (me gusta moderadamente)	7.2 _b (me gusta moderadamente)
T ₂	6.2 _c (me gusta levemente)	6.0 _c (me gusta levemente)
T ₀	1.6 _d (me disgusta extremadamente)	1.8 _d (me disgusta extremadamente)

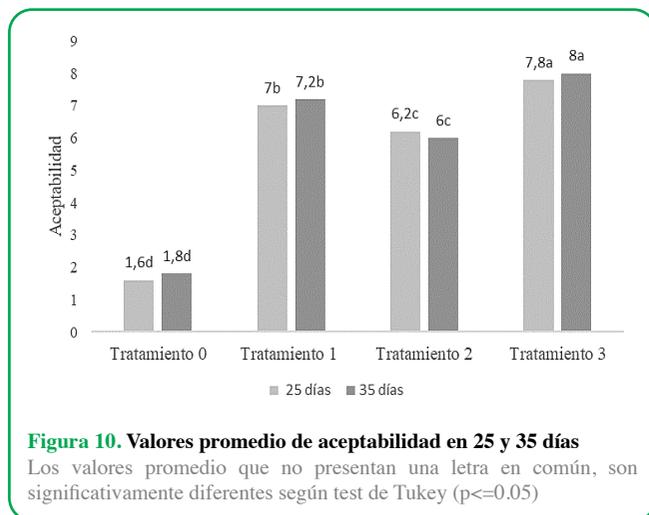
Promedios con la misma letra no difieren significativamente entre sí (P>0.05 ANOVA seguido de la prueba Tukey).

Los panelistas aceptaron de mejor forma aquellas mermeladas elaboradas con el tratamiento T₃ (Tabla 12); de acuerdo con los panelistas, fue clasificado con un promedio de 8 “me gusta mucho”, lo que indica que, el producto genera satisfacción en el consumidor; por lo que indicaron que la mermelada resultó “agradable y de buen sabor”. La mermelada que presentó una menor aceptabilidad fue la elaborada con el tratamiento T₀, con valores entre 1.6 y 1.8 “me disgusta extremadamente”, en donde los panelistas comentaron que la mermelada T₀ era de un “sabor demasiado ácido y mala” (Tabla 12; Figura 10).

Discusión

Después de 25 y 35 días de la elaboración de las mermeladas, la medición de °Brix en la mermelada elaborada con el tratamiento T₁ (fruta orgánica + azúcar), se acoge a la norma establecida por el Codex Alimentarius [5], el cual se rige en medida de las mermeladas que poseen azúcar en forma de aditivo; producto que debe contener al menos un 60-65% °Brix

en su presentación final. Se menciona en el Codex Alimentarius [5], que se exceptúa de esta norma a las mermeladas que contengan edulcorantes como la Stevia.



La mermelada elaborada con el tratamiento T_1 , presentó los mayores valores de °Brix, con un total de 60.4 debido a que contenía azúcar orgánica, arándanos y frambuesas. Este efecto se produce según la FAO [16], dado que la adición de azúcar a las mermeladas, permitió el aumento de los °Brix, lo que fue corroborado por el tratamiento T_3 (fruta orgánica + Stevia + azúcar + manzana), tratamiento que presentó la menor cantidad de °Brix, al poseer 50% menos de azúcar granulada respecto al tratamiento T_1 .

El proceso de elaboración de la mermelada permite incrementar los °Brix por el efecto de la evaporación del agua, lo que favoreció una mayor concentración de los sólidos solubles [16]. La mermelada elaborada con el tratamiento T_0 fue la que presentó la mayor cantidad de ácido cítrico, debido a que estaba compuesta únicamente de fruta y sin edulcorante. El tratamiento T_2 presentó una menor cantidad de ácido cítrico dado que contenía 20% de manzana, la cual posee menos ácido cítrico que los arándanos y la frambuesa [17]. Los tratamientos T_1 y T_3 , disminuyeron la cantidad de ácido cítrico debido a que posee una menor concentración de fruta.

La adición de un componente frutal extra en este caso, el uso de manzana en los tratamientos T_2 y T_3 , permitió una mayor concentración de ácido ascórbico en comparación con las mermeladas que no se les adicionó manzana orgánica. Los resultados obtenidos

aquí corroboran lo señalado por Gattás [18], quien menciona que la adición de un componente frutal extra, incrementa la ganancia nutritiva en la elaboración de un componente alimentario. La pérdida del contenido de ácido ascórbico es influenciada por el retiro de la piel de las frutas; el cual contiene el mayor contenido de ácido ascórbico; para el caso del arándano y la frambuesa, por causa del filtrado realizado y en el caso de la manzana, por el pelado de la fruta [18]. En este sentido, Fellows [19], menciona la pérdida de Vitamina C, por un breve tiempo de ebullición de los alimentos y además, el proceso de congelado en la fruta, disminuye al menos un 30% la cantidad de ácido ascórbico [20].

Las mermeladas elaboradas con los tratamientos T_0 y T_2 , no presentan diferencias significativas en la cantidad de azúcares totales, debido a la utilización del edulcorante no nutritivo (Stevia). Tal y como lo destaca Brouns et al. [21], que al utilizar un edulcorante no nutritivo en su totalidad o en parte, disminuye la cantidad de azúcares totales. La mermelada elaborada con el tratamiento T_3 , presentó menor cantidad de azúcares totales en comparación con el tratamiento T_1 , debido a que poseía un 50% menos de azúcar granulada orgánica.

De acuerdo con los resultados obtenidos en las mermeladas elaboradas, los tratamientos T_1 y T_3 , no presentaron diferencias significativas en el porcentaje de pectina entre ellos; sin embargo, la mermelada realizada con el tratamiento T_0 es la que presentó la mayor concentración de pectato de calcio. Según Coronado y Hilario [22], la pectina es una sustancia natural que se encuentra en las células de las frutas, y cuya función, consiste en gelificar; es decir que, a mayor concentración de fruta, mayor es la cantidad de pectina, lo que coincide con la información de las mermeladas elaboradas en la presente investigación.

La mezcla de Stevia, azúcar, fruta orgánica y manzana orgánica (T_3), demostró ser el tratamiento con mayor sabor “dulce” y “agradable”, percibido y comentado por los panelistas con valores entre 12.07 y 12.23, lo que coincide con lo planteado por Rubio et al. [23], aunque mientras mayor sea la concentración de Stevia en el producto, se incrementará el “sabor amargo”.

Las mermeladas elaboradas con los tratamientos T_0 y T_2 , no presentaron diferencias significativas en el color entre las muestras, según la percepción reflejada entre

los panelistas; debido a que la Stevia, favorece el mantenimiento del color natural del producto [23]; sin embargo, las mermeladas elaboradas con los tratamientos T_1 y T_3 , si presentan diferencias significativas entre ellos, lo que probablemente se debió a la aplicación de edulcorantes (azúcar) que se evidenció la afectación en el color del producto final; obteniendo una tonalidad más oscura, tal y como lo señala Raza et al. [24].

Todos los tratamientos en las mermeladas elaboradas, presentaron diferencias significativas en su textura. Destaca Boatella et al. [25] que la adición de azúcar y/o manzana, incrementa la textura de las mermeladas; lo que se demuestra en las mermeladas elaboradas con los tratamientos T_1 , T_2 y T_3 , los cuales presentan un incremento en la textura en comparación con el tratamiento T_0 .

Todas las mermeladas elaboradas, presentaron diferencias significativas en el aroma, en sus distintos tratamientos. Según Torregroza et al. [26], el remplazo total de un edulcorante nutritivo afecta en la mermelada modificando sus propiedades organolépticas. Al utilizar completamente la adición de Stevia, no se evidenció incremento en el aroma frutal en la mermelada preparada, pero al utilizar la combinación de los 2 edulcorantes (azúcar y Stevia), sí aumentó el aroma frutal; sin embargo la utilización de solo azúcar y fruta (T_1), produjo que el aroma frutal, se enmascarara con el aroma a caramelo.

Todos los tratamientos en las mermeladas elaboradas, presentaron diferencias significativas entre ellos, respecto a la aceptabilidad (Figura 10), en donde la mermelada elaborada con el tratamiento T_3 , fue la que presentó los mayores promedios obtenidos; calificándolo con nota 8 “*me gusta mucho*”. Los panelistas señalaron en sus observaciones, que la mermelada elaborada con el tratamiento T_3 fue la que más les agradó, señalando que tenía un gusto “*agradable*” y no “*hostigante*”. Sin embargo, también se destacó que el tratamiento T_1 otorgó a las mermeladas, valores entre 7 y 7.2 calificados como “*me gusta moderadamente*” según la percepción de los panelistas.

Según Rocha et al. [27], mientras mayor es la concentración de Stevia, aumenta el sabor amargo en el producto final, lo que generaría disgusto en el consumidor. Al reducir la cantidad de Stevia utilizada

en la presente investigación, se generó una mayor aceptación del producto final. Al contener una mezcla de azúcar y manzana orgánica, generó una buena concentración de pectina, lo que coincide con los hallazgos de Boatella et al. [25], lo que permitió que en la presente investigación, se obtuviera una mejor textura en la mermelada para el consumidor. La cantidad de contenido de ácido ascórbico (vitamina C), varió en cada elaboración de mermelada, en donde la mayor concentración, se obtuvo en los tratamientos en los cuales se adicionó un componente frutal extra a la mermelada, en el cual, el tratamiento T_3 (fruta orgánica + manzana Granny Smith + Stevia + azúcar orgánica), presentó la mayor cantidad de ácido ascórbico en concentraciones de 24.5 y 25.5 mg de ácido ascórbico.100g⁻¹ de muestra.

Conclusiones

La elaboración de mermelada de arándano y frambuesa orgánicos, sellados al vacío, permitió la conservación de los valores nutricionales y favoreció los valores sensoriales durante 35 días.

La adición de Stevia, no presentó diferencias significativas en la cantidad de azúcares totales entre las mermeladas elaboradas con el tratamiento T_0 (fruta orgánica + conservantes) y T_2 (fruta orgánica + Stevia), por lo cual, la Stevia no incrementó significativamente los azúcares totales y los °Brix en la mermelada elaborada.

El contenido de ácido cítrico y pectato de calcio (pectina), se ven afectados de acuerdo con la concentración de fruta en cada mermelada; donde existió una mayor concentración de fruta, hubo una mayor concentración de ácido cítrico y pectina; como se demostró en las mermeladas elaboradas con los tratamientos T_0 y T_2 .

La mermelada elaborada con el tratamiento T_2 , presentó los valores más elevados en sabor y aroma, mientras que el tratamiento T_1 , exhibió los valores más altos en textura y sabor, de acuerdo con la perceptibilidad de los panelistas.

La mermelada que presentó la mayor aceptabilidad, fue la elaborada con el tratamiento T_3 , de acuerdo a lo percibido por el grupo de panelistas, el producto fue clasificado con un promedio de 8, lo cual pone

de manifiesto que la mermelada elaborada con el mix de arándanos y frambuesas, genera satisfacción en el consumidor, y los panelistas la catalogaron con un alto nivel de aceptabilidad (“*me gusta mucho*”).

Consentimiento de publicación

Los autores leyeron y aprobaron el manuscrito final.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de interés. Este documento solo refleja sus puntos de vista y no los de las instituciones a las que cada autor pertenece.

Perfil de autoría

Nelson Eduardo Loyola López

Ingeniero Agrónomo Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile; Licenciado en Agronomía Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile; Diploma Food Processing and Quality Assurance Wageningen University, Holanda; Master of Science Horticulture and Landscape Architecture Washington State University, Estado de Washington, EE.UU. Asistente de investigación en proyecto de papas para agro industria en Departamento Horticultura, Washington State University, Estado de Washington, EE.UU.; Gerente empresa agro industria en el área de exportación. Director Departamento Ciencias Agrarias, Facultad Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Católica del Maule. Decano Facultad Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad Católica del Maule, Chile. Investigador asociado en temas de agroindustria financiado por Fondo Innovación Agraria en la línea de producción orgánica. Numerosas publicaciones tanto Scielo, como ISI web of Science, nacionales e internacionales. Autor de dos libros de fundamentos hortofrutícolas; Autor de dos patentes en tramitación y referidas a alimentos procesados.



Carlos Alberto Acuña Carrasco

Químico laboratorista Universidad de Chile; ha realizado diversas actividades industriales, como las llevado a cabo en la Industria Azucarera Nacional Iansa Curico; Fideos y Alimentos Carozzi S.A.; Rocofrut Curico, planta de cerezas; Procefrut Curico, exportación alcachofas; kiwi; cerezas; Agroindustrial Surfrut S.A.; Prodasa división congelados y deshidratados; realiza actividades de docencia en el Instituto Profesional AIEP, en el programa Agroindustria y en la Universidad Católica del Maule. Imparte consultorías y asesorías especializada en temas se agroindustria a diversos sectores.



Referencias

- [1] García Rubio J, García González G, Ciorda Ara M. Situación actual del cultivo del arándano en el mundo. *Tecnología Agroalimentaria* 2013:5–8.
- [2] Sánchez Rodríguez G. La red de valor de la zarzamora. El cluster de Los Reyes, Michoacán un ejemplo de reconversión competitiva. Michiacán, México: 2008.
- [3] Kim MJ, Sutton KL, Harris GK. Raspberries and Related Fruits. *Encyclopedia of Food and Health Reference Module in Food Science* 2016:586–91. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00586-9>.
- [4] González G, Aguilera F, D’Afonseca V. Transcriptome profiling of raspberry (*Rubus idaeus* Var. Amira) in response to infection by tomato ringspot virus (ToRSV). *Heliyon* 2020;6:e04518. <https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2020.E04518>.
- [5] Codex Alimentarius. Normas Internacionales de los Alimentos. Norma para las confituras, jaleas y mermeladas CXS 296-2009. Adoptada en 2009. Enmendada en 2017, 2020. Roma, Italia: 2020.
- [6] González Zagal C. Balance general de la industria de frambuesas congeladas. Santiago de Chile, Chile: 2014.
- [7] Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). The future of food and agriculture. Trends and challenges. Rome, Italy: 2017.
- [8] Mettler Toledo. Balanzas y básculas AB-S & PB-S. Folleto técnico. Greifensee, Suiza: 2014.
- [9] Official Methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists (AOAC). Official Methods of Analysis 932.12 Solid (Soluble) in Fruit Products. Refractometer Method. Arlington-Virginia, USA: 1990.
- [10] Featherstone S. Jams, jellies, and related products. vol. 3. 3rd ed. Sawston, United Kingdom: Woodhead Publishing Books. Elsevier; 2016. <https://doi.org/10.1016/B978-0-85709-679-1.00009-X>.

- [11] Shoji K, Schudel S, Onwude D, Shrivastava C, Defraeye T. Mapping the postharvest life of imported fruits from packhouse to retail stores using physics-based digital twins. *Resources, Conservation and Recycling* 2022;176:105914. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2021.105914>.
- [12] Association of Official Agricultural Chemists (AOAC). *Official Methods of Analysis* 967.21 Official titratable 2,6-dichloroindophenol method for determination of vitamin C in fruit juices analysis. *Official Methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists* . . Rockville-Maryland, USA: 1990.
- [13] Analysis of the Association of Official Analytical Chemists (AOAC). AOAC Official Method 923.02. Carbon dioxide (total) in baking powders. Gasometric determination. Section 25.1.02. Rockville-Maryland, USA: 1995.
- [14] *Official Methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists. Official Methods of Analysis* 942.15 Acidity (Titratable) Of Fruits Products. Arlington-Virginia, USA: 1990.
- [15] Kirk R, Sawyer R, Egan H. *Composición y análisis de alimentos de Pearson*. 2nd ed. México, D.F., México: Editorial CECSA; 1996.
- [16] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). *Procesamiento a pequeña escala de frutas y hortalizas amazónicas nativas e introducidas*. Roma, Italia: 1997.
- [17] Yadav AK, Singh SV. Osmotic dehydration of fruits and vegetables: a review. *Journal of Food Science and Technology* 2014;51. <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0659-2>.
- [18] Gattás Zaror V. *Guía de la composición nutricional de los alimentos naturales de la industria y preparaciones chilenas habituales*. 2nd ed. Santiago de Chile, Chile: 2011.
- [19] Fellows P. *Tecnología y procesamiento de los alimentos. Principios y prácticas*. 1st ed. Zaragoza, España: Editorial Acribia; 1994.
- [20] Ramos Alvarado Z, García Panduro L, Pinedo Panduro L, Souza N R. Evaluación de factores de procesamiento y conservación de pulpa de *Myrciaria Dubia* H.B.K. (Camu-Camu) que reducen el contenido de vitamina c (ácido ascórbico). *Alimentaria* 2002;2:89–99.
- [21] Brouns F, Bjorck I, Frayn KN, Gibbs AL, Lang V, Slama G, et al. Glycaemic index methodology. *Nutrition Research Reviews* 2005; 18:145–71. <https://doi.org/10.1079/NRR2005100>.
- [22] Coronado Trinidad M, Hilario Rosales R. *Elaboración de mermeladas. Procesamiento de alimentos para pequeñas y microempresas agroindustriales*. 1st ed. Lima, Perú: Centro de Investigación, Educación y Desarrollo (CIED); 2001.
- [23] Rubio-Arreaez S, Capella JV, Castelló ML, Ortolá MD. Physicochemical characteristics of citrus jelly with non-cariogenic and functional sweeteners. *Journal of Food Science and Technology* 2016;53:3642–50. <https://doi.org/10.1007/s13197-016-2319-4>.
- [24] Raza Mehboob Ansari A, Jahangir Mulla S, Jairam Pramod G. Review on artificial sweeteners used in formulation of sugar free syrups. *International Journal of Advances in Pharmaceutics* 2015;4:5–9. <https://doi.org/10.7439/ijap>.
- [25] Boatella Riera J, Codony Salcedo R, López Alegret P. *Química y Bioquímica de los alimentos II* . 1st ed. Barcelona, España: Universitat Barcelona, España; 2004.
- [26] Torregroza Espinosa AM, Gomezcaeres Pérez LD carmen, Rodríguez Manrique JA, López Martínez RJ. Optimizing acceptability of mango jam enriched with pectin from cacao husk (*Theobroma cacao* L.). *DYNA* 2019; 86:292–6. <https://doi.org/10.15446/dyna.v86n208.72972>.
- [27] Rocha IF de O, Bolini HMA. Passion fruit juice with different sweeteners: sensory profile by descriptive analysis and acceptance. *Food Science & Nutrition* 2015;3. <https://doi.org/10.1002/fsn3.195>.

Perspectiva agroecológica en el Antropoceno

Agroecological perspective in the Anthropocene

Miguel Ángel Altieri*  Clara Inés Nicholls 

Acceso Abierto

*Correspondencia:

agroeco3@berkeley.edu
Universidad de California,
Berkeley, California 94720, EEUU.

Recibido: 14-03-2021
Aceptado para publicación:
26-06-2021
Publicado en línea: 09-09-2021

Palabras clave:

Agroecología;
la COVID-19;
desarrollo sostenible;
resiliencia;
retos globales.

Key words:

Agroecology;
COVID-19;
global challenges;
resilience;
sustainable development.

Resumen

El objetivo de esta reflexión es mostrar cómo se puede utilizar la agroecología en el desarrollo de un nuevo sistema agrícola post-COVID-19 como alternativa de desarrollo sostenible, revitalizando la agricultura campesina creando sistemas alternativos de producción animal y potencializando la agricultura urbana. Un sistema agrícola basado en la agroecología, es capaz de minimizar las futuras interrupciones generalizadas del suministro de alimentos debido a las pandemias y el cambio climático al mejorar los vínculos entre la producción de alimentos a pequeña escala, el consumo local y proporcionar pautas para la reconstrucción de un sistema agrícola posterior a la COVID-19. La agroecología es una estrategia que se centra en lograr la autonomía y la resiliencia, que puede transformar rápidamente las formas en que los pequeños agricultores producen y consumen alimentos al mismo tiempo que abordan los desafíos globales, incluido el cambio climático, la pérdida de biodiversidad, la inseguridad alimentaria, la pobreza y el deterioro de la salud.

Abstract

The aim of this reflection is to show how agroecology can be used in the development of a new post-COVID-19 agricultural system as an alternative sustainable development strategy, revitalizing small farms, creating alternative animal production systems and enhancing urban agriculture. Agricultural system based on agroecology, are capable of minimizing future widespread disruptions of food supplies due to pandemics and climate change by enhancing linkages between small-scale food production, local consumption and providing guidelines for the reconstruction of a post-COVID-19 agricultural system. Agroecology is a strategy, that focused in achieving autonomy and resilience, which can rapidly transform the ways in which small farmers produce and consume food while addressing global challenges, including climate change, biodiversity loss, food insecurity, poverty and deteriorating health.

Introducción

La pandemia COVID-19 ha revelado las deficiencias de los monocultivos y las explotaciones de animales confinados, que generan dramáticas pérdidas de biodiversidad, deterioro de la salud pública, desperdicio de alimentos, explotación de los trabajadores migrantes y el debilitamiento de los medios de vida de los pequeños agricultores en todo el mundo. Dada esta cruda realidad, la agroecología es el único camino agrícola disponible en el Antropoceno, ofreciendo a las familias rurales beneficios ambientales y socioeconómicos al tiempo que proporciona a las poblaciones, aprovisionamiento de alimentos en forma equitativa y sostenible [1]. Actualmente, la agroecología es un movimiento mundial impulsado por miles de agricultores respaldado por muchos sectores de la sociedad civil cuyo objetivo común es promover la soberanía alimentaria, la reforma agraria y la protección de la tierra rural y su biodiversidad [2].

El objetivo final de la agroecología es desarrollar agroecosistemas que apoyen la salud de los ecosistemas al tiempo que proporciona una mezcla diversa de cultivos, mejorando la diversidad alimentaria y la salud humana, con el objetivo final de crear sistemas alimentarios equitativos [3].

En este artículo se hace una reflexión del potencial de la agroecología para abordar los desafíos globales que se enfrentan en el Antropoceno analizando las contribuciones de la agroecología a los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) y examina tres (3) caminos que ofrece la agroecología para la reconstrucción post-COVID-19.

La agroecología y su contribución a la consecución de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS)

La agroecología puede contribuir directa e indirectamente a la consecución de cada uno de los objetivos del

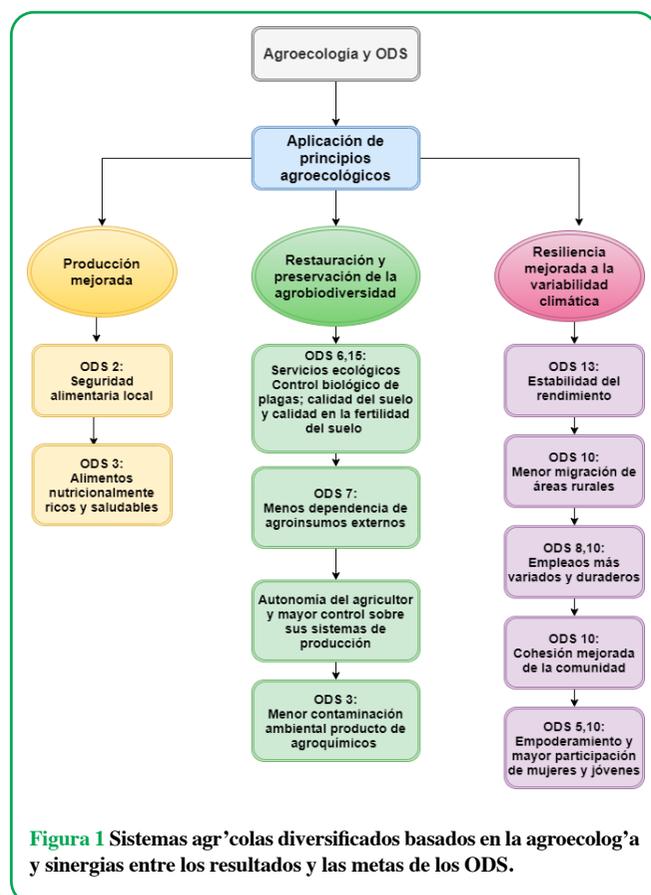
desarrollo sostenible al proporcionar estrategias técnicas y sociales que remodelan los sistemas alimentarios del mundo.

La evidencia científica ha demostrado que la agroecología puede incrementar el rendimiento de los cultivos y la producción animal y, por lo tanto, la producción agrícola total; aumentando la estabilidad de la producción agrícola a través de la diversificación, mejorando la resiliencia de las fincas al cambio climático, enriqueciendo las dietas y mejorando los ingresos; conservando la biodiversidad y la base de los recursos naturales, reduciendo la dependencia de los agricultores a insumos externos, todos ingredientes esenciales para mejorar los medios de vida de los pequeños agricultores [4].

Además de aumentar la producción de alimentos y otros beneficios ecológicos de base agroecológica, los sistemas multifuncionales tienen muchos más beneficios económicos, como la diversificación de ingresos, el empoderamiento de la mujer, una mayor autonomía entre los agricultores y la capacidad de los agricultores para controlar sus sistemas de producción de alimentos, apoyando los múltiples aspectos ambientales, sociales y dimensiones económicas de los ODS (Figura 1).

Claramente, la aplicación de los principios de la agroecología para la consecución de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS), requiere abordar las preocupaciones ambientales (biodiversidad, producción agrícola sostenible y resiliente, etc.), problemas de salud pública (hambre, desnutrición, etc.) y factores socioeconómicos (ingresos de los agricultores, mercados, políticas, etc.).

La Figura 1 ilustra la complejidad de las sinergias que surgen cuando se aplican principios agroecológicos para diseñar sistemas agrícolas diversificados destinados a abordar los limitantes para mejorar la producción, la resiliencia y la conservación de la biodiversidad, al tiempo que impactan directamente los ODS y en particular, el ODS 2 (hambre cero) y el ODS 13 (acción climática).



Mucho se ha escrito sobre el papel de la agricultura en la consecución del ODS 2 (hambre cero). Sin embargo, la mayoría de los enfoques se enfocan en el aumento de los rendimientos de los cultivos para superar el hambre [5] y no se considera adecuadamente el hecho de que el hambre hoy en día, no se debe a la baja producción de alimentos o a un deficiente suministro mundial que no satisface la demanda; más bien, se debe a problemas estructurales como la pobreza, la mala distribución de alimentos, el desperdicio de alimentos, la falta de acceso a la tierra y otros aspectos del sistema alimentario [6].

Una visión productivista del hambre no logra alterar la distribución estrechamente concentrada del poder económico que determina quiénes pueden comprar alimentos o tener acceso a semillas, ganado, conocimientos, agua y tierra para la producción. Lo que se necesita es abordar las causas fundamentales del hambre y aumentar el acceso a dietas saludables, tierras e ingresos entre los segmentos más pobres de la población [7]. Un cambio transformador solo se puede lograr, diseñando políticas que aseguren que los pequeños

agricultores tengan acceso seguro a la tierra, el agua, las semillas y la cría de animales para producir alimentos basados en prácticas agroecológicas y la capacidad de distribuir alimentos diversificados localmente a través de mercados solidarios, haciendo los alimentos accesibles a todos los segmentos de las sociedades urbanas y rurales; en particular, a personas que tienen hambre e inseguridad alimentaria [8]. Para lo(a)s agroecólogo(a)s, está claro que la seguridad alimentaria y la conservación de la biodiversidad están íntimamente conectados, pero en la mayoría de las políticas nacionales e internacionales, se perciben como objetivos en competencia. La narrativa dominante se centra en duplicar la producción alimenticia con un impacto mínimo en los ecosistemas y la biodiversidad asociada, objetivos que en agroecología son compatibles [9].

Agroecología en tiempos de la COVID-19

Como resultado de la pandemia del COVID-19, las prácticas de producción agrícola se han visto afectadas por la falta de condiciones de trabajo y, la distribución de alimentos, por cadenas de suministro interrumpidas, lo cual ha llevado a la escasez de alimentos, especialmente entre las poblaciones más pobres y desempleadas [10]. La fragilidad del sistema alimentario globalizado se ha hecho aparente y pone en manifiesto la necesidad de una transición hacia una sociedad más justa, ecológicamente resiliente y un sistema alimentario localizado; donde la agroecología, puede ayudar en tales transiciones mediante la promoción de agroecosistemas resilientes que producen alimentos mientras a la vez, prestan servicios ecosistémicos [11].

La agroecología ya está proporcionando soluciones a algunos de los nuevos desafíos alimentarios y agrícolas que surgen de la COVID-19, en particular, reforzando acciones para optimizar la agricultura urbana y la revitalización de la agricultura campesina familiar [12].

Revitalizando pequeñas fincas y la agricultura familiar

La base de los nuevos sistemas agrícolas que la humanidad necesita en el Antropoceno se encuentra en las prácticas heredadas y/o desarrolladas por los

agricultores tradicionales y los pueblos indígenas, principalmente en países en desarrollo y que aún utilizan miles de campesinos [13]. Combinando los conocimientos agrícolas tradicionales y elementos de la ecología moderna y las ciencias agronómicas; la agroecología proporciona principios y prácticas para restaurar la productividad de las pequeñas explotaciones agrícolas al mejorar la sanidad vegetal y la calidad del suelo [14]. La aplicación de los principios agroecológicos, conduce al diseño de granjas biodiversas con cosechas estables, generando ingresos y diversidad dietética clave para mejorar la nutrición de las familias rurales [15]. En América Latina, las evaluaciones realizadas entre más de 100000 unidades agrícolas familiares, revelaron que las prácticas agroecológicas, pueden incrementar rendimientos en los cultivos de 400–600 hasta 2000–2500 kg.ha⁻¹ [16], mejorando la seguridad alimentaria mientras se conserva la agrobiodiversidad y la calidad ambiental, los abonos verdes, los cultivos de cobertura y el mulching, incrementan los rendimientos del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en entornos marginales de 1 a 1.5 t.ha⁻¹ hasta 4 t.ha⁻¹. Esto es significativo en regiones donde las fincas de pequeña escala, producen entre 50 y 70% de la comida nacional pero poseen solo el 30% del suelo cultivable [17].

Potencializando la agricultura urbana

A medida que la COVID-19 fractura el suministro existente de cadenas de alimentos, un número creciente de habitantes urbanos que dependen de alimentos procedentes de granjas remotas, están recurriendo a la agricultura urbana como fuente de subsistencia [18].

En todo el mundo, la agricultura urbana ha experimentado un fuerte incremento y muchas ciudades derivan aproximadamente el 30% de sus hortalizas a partir de huertos urbanos. Con una implementación adecuada, la agricultura urbana podría ser una vía importante para superar algunas de las brechas alimentarias promoviendo la producción de frutas, hortalizas y huevos frescos cerca de los consumidores, mejorando así la seguridad alimentaria y la nutrición, particularmente en las comunidades más vulnerables [19]. Adicionalmente a ello, la agricultura urbana puede crear puestos de trabajo muy necesarios para la población desempleada en aumento [20].

Los mismos principios agroecológicos utilizados en las áreas rurales, se pueden aplicar en el diseño de granjas urbanas altamente biodiversas y productivas. Las prácticas que siguen a los principios agroecológicos, como los cultivos intercalados, cultivos de cobertura y compostaje, llevan a un mejor reciclaje de nutrientes e incorporación de la materia orgánica que se traduce finalmente, en un gradiente positivo de fertilidad del suelo, así como también en la conservación de la humedad del suelo, una regulación mejorada de plagas y todos los procesos clave que determinan la producción óptima de cultivos en zonas urbanas [11].

Las granjas urbanas bien gestionadas, pueden ser hasta 15 veces más productivas que las fincas ubicadas en áreas rurales, un metro cuadrado de suelo cultivado intensivamente, puede producir hasta 20 kg de alimento al año. No solo una cama de 10 m² puede suplir las necesidades de hortalizas de una persona (72 kg año⁻¹), pero sus 200 kg de producción de hortalizas, proporciona el 55% de las necesidades de hortalizas anuales a una familia de cinco (5) integrantes [21].

La agricultura urbana mejora la capacidad de acceso de los hogares a los alimentos producidos localmente, trayendo consigo, notables resultados de nutrición de las familias a través de una mayor diversidad dietética. En esta época de crisis, causada por la COVID-19, la producción urbana de alimentos se está expandiendo cada vez más en la medida en que más personas se dan cuenta de que la producción y el acceso a alimentos producidos localmente es de gran importancia estratégica. Además, se aumenta la ingesta dietética de nutrientes, lo cual puede mejorar el sistema inmunológico; y en este sentido, existe evidencia de que una dieta basada en plantas, podría ayudar a las personas a mejorar sus defensas contra los virus [22].

Conclusiones

Existe un indudable consenso en que las formas predominantes en que se producen y consumen los alimentos necesitan urgentemente un cambio para abordar desafíos globales como el cambio climático, la pérdida de biodiversidad, la pobreza, el deterioro de la salud y la protección del medio ambiente. Invertir en la agroecología, es una estrategia clave para fomentar el desarrollo agrícola y al mismo tiempo, alcanzar varios ODS en un planeta que enfrenta múltiples crisis.

Los agroecosistemas que son gestionados agroecológicamente, no dependen de insumos externos como los agroquímicos; en cambio, los agroecosistemas son biodiversos y dependen de las sinergias que se establecen entre los diversos componentes agrícolas que conllevan a mejorar la fertilidad del suelo, la regulación de plagas y/o enfermedades además de otros servicios ecosistémicos esenciales, bajando los costos de producción y aumentando la autonomía de los agricultores.

La crisis de la COVID-19 brinda nuevas oportunidades para que lo(a)s agroecólogo(a)s exploren respuestas adaptativas a la pandemia, diseñando sistemas alimentarios más resilientes y sostenibles que se basan en huertas urbanas comunitarias, la revitalización de pequeñas fincas y formas innovadoras de acortar distancias entre productores y consumidores, creando mercados que se rijan por los principios de la economía solidaria. Los consumidores deben ser conscientes de que al comer, cometen un acto ecológico y político y, que al apoyar a los agricultores locales, se están comprometiendo con la promoción de la sostenibilidad socioecológica y la resiliencia en sus comunidades. La ampliación de la agroecología, requiere de importantes cambios en las políticas, instituciones, investigación y agendas de desarrollo para asegurar que las alternativas agroecológicas, sean adoptadas y accesibles ampliamente.

La crisis que se desató a causa de la COVID-19, impulsó el movimiento agroecológico mundial que durante años había desafiado el modelo de agricultura industrial, abogando por una transición hacia sistemas alimentarios mucho más equitativos.

Consentimiento de publicación

Los autores leyeron y aprobaron el manuscrito final.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de interés. Este documento solo refleja sus puntos de vista y no los de las instituciones a las que cada autor pertenece.

Perfil de autoría

Miguel Ángel Altieri

Es una autoridad mundial en Agroecología. Estudió en la Universidad de Chile, donde recibió el grado de Ingeniero Agrónomo. También obtuvo un Master en la Universidad Nacional de Colombia. Se graduó con un PhD en entomología de la Universidad de Florida. En 1981, se convirtió en Profesor de Agroecología en la Universidad de California, Berkeley en el Departamento de Ciencias Ambientales, Política y Gestión, y después de 37 años de servicio, es ahora Profesor Emérito, y aún mantiene un programa activo de enseñanza e investigación. En Berkeley enseñó agroecología y agricultura urbana, pero también se desempeña como profesor invitado en numerosas universidades de América Latina, España e Italia. Ha dirigido la mayor parte de su investigación en California y América Latina, trabajando estrechamente con agricultores para implementar principios de agroecología para diseñar sistemas agrícolas productivos, biodiversos y resilientes. En 2015, fue galardonado con un Doctor Honoris Causa en la Université Catholique du Lovain, Bélgica. En 2017, se convirtió en Profesor Honorario de la Universidad de La Frontera en Chile. En Febrero de 2018 fue inducido al Salón de la Fama de la Tierra (Earth Hall of Fame) por la Prefectura de Kyoto, Japón. En Diciembre de 2018, recibió el reconocimiento Biodiversidad, Sociedad y Territorio por la Universidad de Guadalajara, México. Ha escrito más de 250 artículos científicos y más de 20 libros.



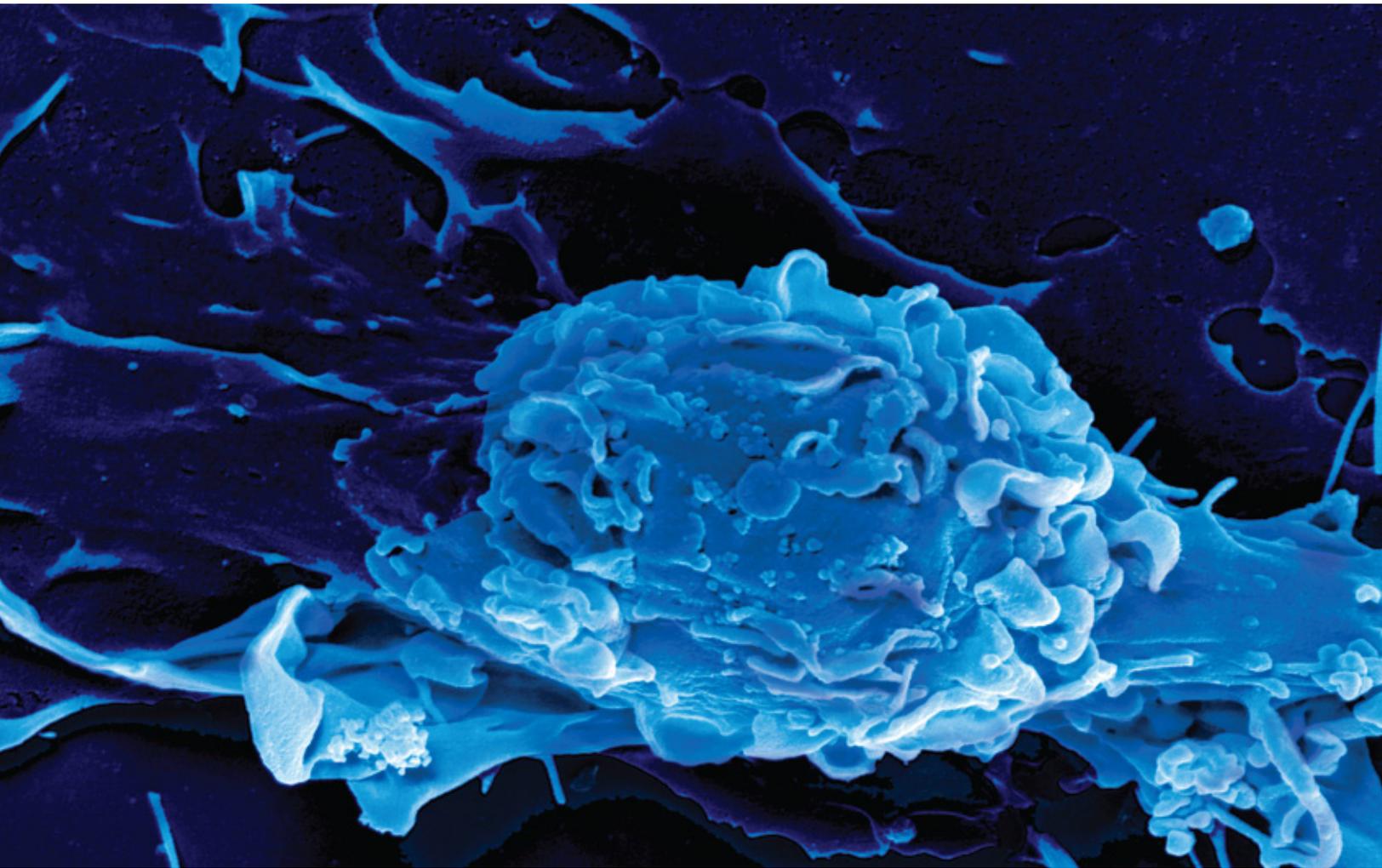
Clara Inés Nicholls

Es una Ingeniera Agrónoma colombiana con un Máster en Entomología del Colegio de Posgraduados, Chapingo, México y un PhD. en Entomología y Control Biológico de Plagas de Insectos de la Universidad de California Davis. Es profesora permanente de Desarrollo Rural Sostenible en América Latina en la Universidad de California, Berkeley. También da clases en la Universidad de Santa Clara en California y en varias universidades de Colombia, Brasil, Nicaragua, Argentina, España, Italia y varios otros países, y es expositora activa en varias conferencias internacionales. Actualmente es presidenta honorífica de la Sociedad Científica Latinoamericana de Agroecología-SOCLA (www.socla.co) y Coordinadora Regional de REDAGRES. (www.redagres.org), una red de investigadores latinoamericanos que exploran formas de evaluar y mejorar la resiliencia de los sistemas agrícolas al cambio climático. Actualmente, es Co-Directora del Centro Latinoamericano de Investigaciones Agroecológicas (CELIA)..



Referencias

- [1] Bezner Kerr R, Madsen S, Stüber M, Liebert J, Enloe S, Borghino N, et al. Can agroecology improve food security and nutrition? A review. *Global Food Security* 2021;29:100540. <https://doi.org/10.1016/J.GFS.2021.100540>.
- [2] Giraldo OF, Rosset PM. Agroecology as a territory in dispute: between institutionality and social movements. *The Journal of Peasant Studies* 2018;45. <https://doi.org/10.1080/03066150.2017.1353496>.
- [3] Altieri MA, Nicholls CI. Agroecology: challenges and opportunities for farming in the Anthropocene. *International Journal of Agriculture and Natural Resources* 2020;47. <https://doi.org/10.7764/ijanr.v47i3.2281>.
- [4] Monjane B. Agroecology: science and politics. *The Journal of Peasant Studies* 2019;46:1106–9. <https://doi.org/10.1080/03066150.2019.1615184>.
- [5] Byerlee D, Fanzo J. The SDG of zero hunger 75 years on: Turning full circle on agriculture and nutrition. *Global Food Security* 2019;21:52–9. <https://doi.org/10.1016/J.GFS.2019.06.002>.
- [6] Food and Agriculture Organization of the United Nations-FAO, Center for Development Research University of Bonn. Investment costs and policy action opportunities for reaching a world without hunger (SDG 2) . Bonn, Germany: 2020.
- [7] Blesh J, Hoey L, Jones AD, Friedmann H, Perfecto I. Development pathways toward “zero hunger.” *World Development* 2019;118:1–14. <https://doi.org/10.1016/J.WORLDDEV.2019.02.004>.
- [8] Clark TP. A Theory of Migration. *Journal of Ethnic and Migration Studies* 2018;83:702–4. <https://doi.org/10.1111/ruso.12247>.
- [9] Mbow C, Rosenzweig LC, Barioni TG, Benton M, Herrero M, Krishnapillai E, et al. Food Security. In: Shukla PR, Skea J, Calvo Buendia E, Masson-Delmotte HE, Pörtner DC, Roberts P, et al., editors. *Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems*. 1st ed., Intergovernmental Panel on Climate Change-IPCC; 2019, p. 439–520.
- [10] Aday S, Aday MS. Impact of COVID-19 on the food supply chain. *Food Quality and Safety* 2020;4:167–80. <https://doi.org/10.1093/fqsafe/fyaa024>.
- [11] Altieri MA, Nicholls CI. Agroecology and the reconstruction of a post-COVID-19 agriculture. *The Journal of Peasant Studies* 2020;47. <https://doi.org/10.1080/03066150.2020.1782891>.
- [12] Tiftonell P, Fernandez M, el Mujtar VE, Preiss P v., Sarapura S, Laborda L, et al. Emerging responses to the COVID-19 crisis from family farming and the agroecology movement in Latin America – A rediscovery of food, farmers and collective action. *Agricultural Systems* 2021;190:103098. <https://doi.org/10.1016/J.AGSY.2021.103098>.
- [13] Salazar L, Schling M, Palacios AC, Pazos N. Retos para la agricultura familiar en el contexto del COVID-19: Evidencia de productores en ALC 2020. <https://doi.org/10.18235/0002453>.
- [14] Altieri MA, Nicholls CI, Henao A, Lana MA. Agroecology and the design of climate change-resilient farming systems. *Agronomy for Sustainable Development* 2015;35:869–90. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0285-2>.
- [15] High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition-HLPE. Agroecological and other innovative approaches for sustainable agriculture and food systems that enhance food security and nutrition. A report by the High-Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition of the Committee on World Food Security. Rome, Italy: 2019.
- [16] Nicholls CI, Altieri MA. Pathways for the amplification of agroecology. *Agroecology and Sustainable Food Systems* 2018;42:1170–93. <https://doi.org/10.1080/21683565.2018.1499578>.



Es una publicación de la Unidad Central del Valle del Cauca

Carrera 27 A No. 48 -144 Kilómetro 1 Salida Sur. – Tuluá – Valle del Cauca – Colombia,
Sur América. Código Postal: 763022. 60+2 2242202. Ext.: 122-139.