

inventio

La génesis de la cultura universitaria en Morelos

Año 17, núm. 43, 2021 | ISSN: 2448-9026 (digital)

DOI: [10.30973/inventio/2021.17.43](https://doi.org/10.30973/inventio/2021.17.43)

ARTÍCULOS

Optimización de sistemas mediante análisis exergonómico

System optimization through exergonomic analysis

Ofir Lailani Álvarez Benítez, Anilu PARRALES Bahena, Arianna PARRALES Bahena,
Armando Huicochea Rodríguez, José Alfredo Hernández Pérez

Marte: experimentos de simulación y misiones de exploración espacial

Mars: simulation experiments and space exploration missions

Sandra Ignacia Ramírez Jiménez, Marisela Aguirre Ramírez, Pável Ulianov Martínez Pabello

Contaminantes y su efecto en el comportamiento de peces cíclidos

Contaminants and their effect on the behavior of cichlid fish

Elsah Arce Uribe, Hugo F. Olivares-Rubio

El contexto necropolítico y las cifras del desplazamiento interno forzado en México

The necropolitical context and data on forced internal displacement in Mexico

Joel Ruiz Sánchez

Síndrome de *burnout*, actividad física y alimentación

Burnout syndrome, physical activity and nutrition

María Araceli Ortiz Rodríguez, Paola Kattyana Antúnez Bautista, Alma Janeth Moreno Aguirre

Percepción ambiental en estudiantes a través de dimensiones ecológicas

Environmental perception in students through ecological dimensions

Catalina Vargas Ramos, María Guadalupe Martínez Treviño

Evaluación de productividad en estanques para cultivo de alimento vivo

Productivity evaluation in ponds for cultivation of live food

Merari Castro Camaño, Migdalia Díaz Vargas, Judith García Rodríguez, Elsah Arce Uribe

Una segunda vida para los residuos de la industria mezcalera

A second life for waste from the mezcal industry

Grecia Paniagua Pérez, Yanely Lizeth Sarabia Sereno, Yadira Belmonte Izquierdo

SIGNIFICAR CON TEXTOS

Fondo Editorial UAEM

Universidad Autónoma del Estado de Morelos

Secretaría Académica

Dirección de Publicaciones y Divulgación

inventio.uaem.mx, inventio@uaem.mx



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS



PUBLICACIONES
Y DIVULGACIÓN



ÍNDICE DE REVISTAS MEXICANAS
CONACYT DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

DIRECTORIO

Rector

Gustavo Urquiza Beltrán

Secretario Académico

José Mario Ordóñez Palacios

Directora de Publicaciones y Divulgación

Jade Nadine Gutiérrez Hardt

CONSEJO EDITORIAL INSTITUCIONAL

Verónica Lira Ruan

Centro de Investigación en Dinámica Celular (CIDC)

María Luisa Villarreal Ortega

Centro de Investigación en Biotecnología (CEIB)

Vera L. Petricevich López

Facultad de Medicina (FM)

Elsa Guzmán Gómez

Facultad de Ciencias Agropecuarias (FCA)

Joaquín Mercado Yebra

Facultad de Estudios Superiores de Cuautla (FESC)

Ana Esther Escalante Ferrer

Centro de Investigación Interdisciplinar
para el Desarrollo Universitario (CIDU)

María Ema Llorente

Centro Interdisciplinario de Investigación en Humanidades (CIHU),
Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM)

EQUIPO EDITORIAL

Coordinación editorial

Gerardo Ochoa

Edición, corrección y dictamen

Gerardo Ochoa

Ariadna Segura Ocampo

CONSEJO EDITORIAL EXTERNO

Luz de Teresa Oteyza

Instituto de Matemáticas, UNAM

Diana María Escalante Alcalde

Instituto de Fisiología Celular, UNAM

Lourival Domingos Possani Postay

Instituto de Biotecnología (IBT), UNAM

María Isabel Mora Ledesma

Programa de Estudios Antropológicos, El Colegio de San Luis AC

Carlos Gómez Chiñas

Departamento de Economía,
Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), Unidad Azcapotzalco

Faustino Medardo Tapia Uribe

Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias (CRIM), UNAM

Inventio, año 17, número 43, noviembre de 2021, es una publicación cuatrimestral editada por la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM), a través de la Dirección de Publicaciones y Divulgación, Edificio 59 (Facultad de Artes), Campus Norte. Av. Universidad 1001, Col. Chamilpa, CP 62209, Cuernavaca, Morelos, México. Teléfono +52 777 3297000, ext. 3815. Correo: inventio@uaem.mx Las normas editoriales pueden consultarse en <http://inventio.uaem.mx>

Editor responsable: Jade Nadine Gutiérrez Hardt. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2009-093012081100-102. ISSN: 2448-9026 (digital). Responsable de la última actualización de este número: Gerardo Ochoa. Av. Universidad 1001, Col. Chamilpa, CP 62209, Cuernavaca, Morelos, México. Teléfono +52 777 329 7000, ext. 3815. Correo: inventio@uaem.mx Fecha de la última modificación: 12 de septiembre de 2022.

El contenido de los artículos que presenta *Inventio* muestra la diversidad del pensamiento universitario y es responsabilidad de cada autor.

Inventio está incluida en el Índice de Revistas Mexicanas de Divulgación del Conacyt, directorio de LATINDEX (UNAM), repositorio de Dialnet (UNIRIOJA), PKP Index (Public Knowledge Project), Latinoamericana (Chile) y LatinREV (Flacso, Argentina).

Publica artículos de divulgación que sean resultado de investigaciones originales desarrolladas por investigadores mexicanos y del extranjero. El contenido de los artículos muestra la diversidad del pensamiento universitario y es responsabilidad de cada autor.

Esta revista proporciona acceso abierto inmediato a su contenido, con base en el principio de ofrecer al público un acceso libre a las investigaciones para contribuir a un mayor intercambio global de conocimientos. Se distribuye bajo una licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).



ARTÍCULOS

Optimización de sistemas mediante análisis exergonómico

System optimization through exergonomic analysis

Ofir Lailani Álvarez Benítez

ORCID: 0000-0001-5559-9063/ofir.alvarezb@uaem.edu.mx

Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas (CIICAP), Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM)

Anilu Parrales Bahena

ORCID: 0000-0003-2972-7724/anilu.parralesb@gmail.com

Facultad de Ciencias Químicas e Ingenierías (FCQEI), Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM)

Arianna Parrales Bahena

ORCID: 0000-0001-8554-8777/arianna.parrales@uaem.mx

Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas (CIICAP), Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM)

Armando Huicochea Rodríguez

ORCID: 0000-0002-4067-0143/huico_chea@uaem.mx

Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas (CIICAP), Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM)

José Alfredo Hernández Pérez

ORCID: 0000-0002-2107-3044/alfredo@uaem.mx

Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas (CIICAP), Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM)

RESUMEN

Durante los últimos años ha aumentado el consumo energético mundial de manera sobresaliente debido principalmente al crecimiento económico y poblacional. La energía, tanto a nivel internacional como nacional, se genera, en gran medida, mediante la transformación de hidrocarburos (energía no renovable) como el carbón, el petróleo y el gas. En conjunto con otras acciones, el uso de estos insumos desencadena la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), lo que a su vez provoca impactos negativos en el medio ambiente y la población.

PALABRAS CLAVE

exergonomía, sistemas energéticos, economía, energía, medio ambiente, termodinámica

ABSTRACT

In recent years, world energy consumption has increased considerably, mainly due to economic and population growth. As is well known, the generation of energy both internationally and nationally is obtained largely from the transformation of hydrocarbons (non-renewable energy), such as coal, oil or gas. The use of these supplies has triggered, together with other actions, the emission of greenhouse gases (GHG), which in turn has caused negative impacts on the environment and the population.

KEY WORDS

exergonomy, energy systems, economy, energy, environment, thermodynamics

El consumo energético mundial se ha incrementado de manera notable durante los últimos años, debido principalmente al crecimiento económico y poblacional. Como es sabido, la energía, tanto en el ámbito internacional como en el nacional, se genera en gran medida mediante la transformación de hidrocarburos (energía no renovable) como el carbón, el petróleo y el gas. El uso de estos insumos desencadena, en conjunto con otras acciones, la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), lo que a su vez provoca impactos negativos en el medio ambiente y la población (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2021).

En la actualidad, la mayoría de los países industrializados son los principales responsables de los altos niveles de emisiones de GEI en la atmósfera, pues el aumento en la producción y comercialización de bienes implica un incremento del consumo energético y, por lo tanto, también en los niveles de contaminación. Particularmente, los gobiernos de los países desarrollados sólo se enfocan en resolver aspectos económicos y políticos y dejan de lado la responsabilidad ambiental que adquieren por su consumo energético (ONU, 2021).

Por ello, la ONU propuso un plan de acción dirigido a los países miembros: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, cuyo objetivo 7 establece la necesidad de garantizar que la energía sea asequible y no contaminante. De esta forma fomenta la eficiencia energética y la innovación en tecnologías aplicadas a energías renovables para lograr que sean ecológicamente racionales (ONU, 2020).

Por su parte, la comunidad científica ha elaborado soluciones alternativas mediante el análisis de eficiencia de sistemas energéticos. Un ejemplo de ello es el estudio que incluye la aplicación del primer principio de la termodinámica, el cual enuncia que la energía no se crea ni se destruye, sino que únicamente se transforma. Según este principio, la energía perdida por el sistema es igual a la ganada por el entorno.

Sin embargo, para lograr la cuantificación de la energía útil dentro de los sistemas no basta con realizar análisis energéticos simples por medio de los cuales sólo se observe la cantidad de energía (primer principio de la termodinámica), sino que también es necesario conocer la calidad de ésta mediante el segundo principio de la termodinámica.

Este segundo principio afirma que, dentro de un sistema, la calidad de la energía varía desde un estado inicial cualquiera hasta un estado final, el cual sea coincidente con el ambiente que lo rodea o bien al que se haga referencia (degradación de energía). Además, este principio ofrece un margen suficiente para la mejora del sistema, por lo que ha demostrado ser una herramienta eficaz para la optimización de sistemas termodinámicos complejos (Velasco Callau et al., 2011).

Una de las propiedades termodinámicas que nos ayuda en la optimización de procesos es la exergía, es decir, el cálculo del trabajo disponible que se puede obtener en un sistema dentro de un entorno definido. El análisis de la exergía ayuda a determinar no sólo los coeficientes de eficiencia en el desempeño de los sistemas, sino también las irreversibilidades de

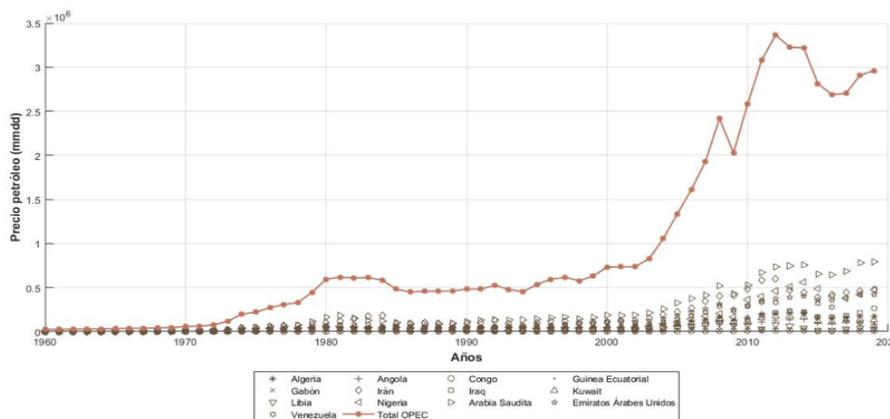
los componentes principales, con la finalidad de mejorar las condiciones de operación y de diseño o las configuraciones (Velasco Callau et al., 2011).

Hoy en día es posible asignar un valor económico a la energía descartada de un sistema, mediante un análisis costo-beneficio de su inversión. El impacto financiero derivado de la operación y eficiencia de los sistemas energéticos influye en la satisfacción de los requerimientos energéticos de la sociedad, al considerar un menor costo energético y ambiental posible. Los análisis que incluyen valores económicos permiten establecer si existe un mercado competitivo que minimice los costos generados pero que, a su vez, maximice los recursos y utilidades (Azqueta et al., 2007).

La asociación de la exergía a la economía se dio desde la década de 1980; no obstante, comenzó a tener relevancia durante la Joint European Thermodynamics Conference en Roma (1987), cuando Richard A. Gaggioli, Yehia M. El-Sayed y George Tsatsaronis realizaron un estudio referente a la construcción y el diseño de una central eléctrica. Como parte de la problemática, los científicos identificaron que la incertidumbre en la variación de los precios del petróleo influye en gran medida en los análisis de los sistemas energéticos, por lo que consideraron apto vincular los términos de exergía y economía, con lo que se creó una nueva área de conocimiento: la exergonomía.

Es importante recordar que durante esta década el mundo sufría una crisis energética causada por el conflicto árabe-israelí, lo que implicó una reducción de producción petrolera (Ruiz Caro, 2001) y provocó que el precio de este recurso fuera un arma de negociación y de influencia de los países productores de hidrocarburos (figura 1).

Figura 1
Variación de precios de petróleo (1984-2019)



Fuente: Agencia Internacional de las Energías Renovable (IRENA, por sus siglas en inglés).

El término *exergonomía* se define como el costo de la unidad exergética expresado en unidades monetarias (Tsatsaronis y Pisa, 1994), el cual toma como base la producción o destrucción de exergía para otorgarle un valor a un proceso o sistema. Por consiguiente, el análisis exergonómico combina los principios básicos de la termodinámica y de la economía para determinar el costo de la exergía en un sistema.

Diversos autores han hecho análisis exergonómicos para optimizar diferentes sistemas de generación energética, como el desarrollado por Frangopoulos (1994), quien llevó a cabo la optimización técnica y económica de un sistema de cogeneración utilizando un algoritmo de programación no lineal.

Por su parte, Tsatsaronis y Pisa (1994) mejoraron un sistema de cogeneración simple que consistió en un proceso regenerativo de una turbina de gas y de un generador de vapor. En este estudio, por medio de modelos matemáticos, calcularon las relaciones entre la inversión de costos de los componentes y su operación.

Por otro lado, Von Spakovsky (1994) se ocupó de construir un modelo de un sistema energético que permitiría representar la economía interna del sistema, así como su comportamiento óptimo. Dicho modelo ocupaba el análisis funcional de ingeniería (*engineering functional analysis*), que descentralizaba la optimización o mejoramiento de los componentes y establecía que éstos se comportaran aisladamente con respecto al sistema.

En otro estudio desarrollado por Valero et al. (1994) se utilizó como estrategia de mejora una teoría de costos exergéticos (TCE), en conjunto con variables exergonómicas. La TCE es una técnica de contabilidad de costos que permite identificar el costo de cada flujo dentro del sistema. El resultado de este trabajo aportó información valiosa acerca de la interacción entre los componentes. El desarrollo de la exergonomía continúa con nuevos análisis; algunos por destacar son los mostrados en la tabla 1 (ver p. 5).

Algunos de los sistemas de generación de energía con mayores aplicaciones de modelos exergonómicos son las plantas térmicas, los sistemas combinados y los sistemas de enfriamiento; sin embargo, todavía un área de oportunidad vigente es la posibilidad de utilizarlos en sistemas ecoindustriales, donde, además de evaluar el sistema tecnológica y económicamente, se pueda hacerlo con estudios de impacto ambiental. Aunado a ello, los estudios exergonómicos recientes también se han aplicado en áreas tan diversas como la arquitectura, aeronáutica y ciencia cognitiva, e incluso se ha utilizado la inteligencia artificial como herramienta auxiliar. Es una realidad que los análisis necesitarán de programas especiales para un mejor procesamiento de datos, pero sobre todo para tener una interfaz que permita evaluar sistemas con diferentes configuraciones y diversos combustibles.

Un ejemplo de su aplicación en la arquitectura son los análisis realizados para evaluar ciertas áreas de edificios y hospitales donde el uso eficiente de calderas es necesario, pues permite el ahorro de gas y de recursos financieros (Bautista y Soto, 2018). Asimismo, la

aplicación industrial propuesta por la empresa Airbus Operations GmbH permitió convertir la energía de las naves de forma eficiente, tanto económica como ecológica y tecnológicamente, por medio de un dispositivo que después fue patentado (God et al., 2012).

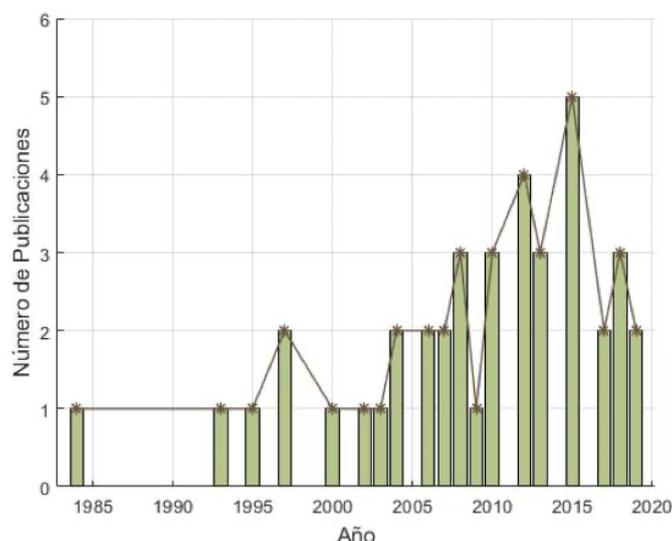
Tabla 1
Trabajos de análisis exergonómicos

Autor	Trabajo
Fals Acuña et al. (2010)	Se realizó un análisis exergonómico a una planta de cogeneración en una empresa azucarera. Se obtuvo una eficiencia exergética del 17%, con un costo termoeconómico de 0.55 €/s.
Baghernejad y Yaghoubi (2011)	Se aplicó un análisis termoeconómico usando algoritmos genéticos para la optimización de un sistema de energía solar de ciclo combinado. El resultado fue la optimización del sistema en un 11% y la unidad de costo eléctrico en un 13%.
Farshi et al. (2013)	Se analizaron tres sistemas de refrigeración por absorción de doble efecto con el fin de determinar la influencia de ciertos parámetros de operación sobre el costo de inversión del sistema.
Yildirim y Ozgener (2012)	Se calculó la eficiencia energética y exergética de una planta geotérmica. Asimismo, se determinó cuáles son los efectos de los fluidos utilizados, considerando los costos de inversión y los costos de mantenimiento.
Fazelpour y Morosuk (2014)	Se evaluaron los aspectos energéticos, exergéticos, económicos y exergoeconómicos de una máquina de refrigeración, lo cual ayudó a disminuir el costo total del producto final en un 14%.
Calise et al. (2016)	Se realizó un modelo de simulación dinámica para un sistema de poligeneración de energía geotérmica solar. El modelo muestra que la eficiencia de exergía varía entre 40 y 50% durante la recuperación de calor y de 16 a 20% durante el enfriamiento.
Aghbashlo et al. (2018)	Se hizo un análisis exergonómico a un motor DI de diésel monocilíndrico con diferentes combustibles y concentraciones de agua. El estudio determinó cuáles eran las composiciones de combustible y de operación óptimas en términos termodinámicos y económicos.
Aghbashlo et al. (2019)	Se llevó a cabo un análisis de rendimiento exergonómico de una planta municipal de residuos sólidos integrada con un sistema de biogás. Uno de los resultados indica que se debe minimizar el costo de inversión del digestor para obtener un mejor rendimiento exergoeconómico de la planta.

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la figura 2, en 2015 se incrementó el número de publicaciones relacionadas con estudios de sistemas energéticos mediante análisis exergonómicos. Dicha tendencia se debe principalmente a que durante ese año entraron en vigor programas internacionales como la Agenda 2030, cuyo objetivo principal es mantener en buen estado las condiciones climatológicas del planeta.

Figura 2
Publicaciones sobre análisis exergonómicos



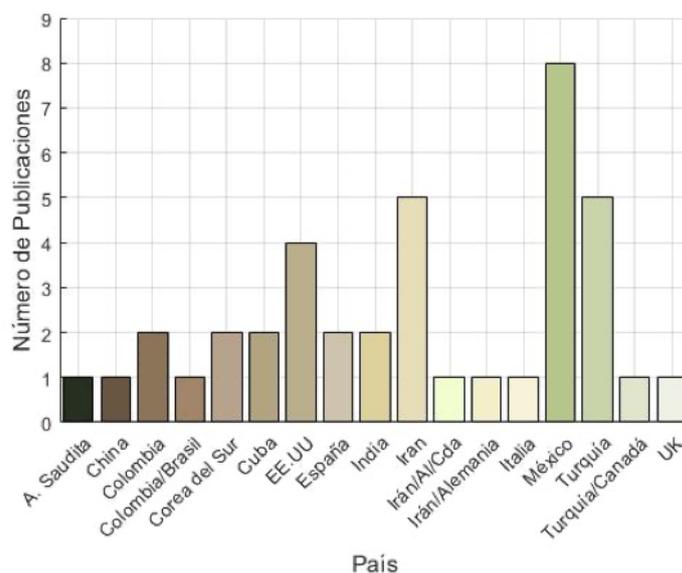
Fuente: Elaboración propia.

Sin embargo, el cumplimiento de los objetivos ambientales ocurre a un ritmo lento. La Unión Europea encabeza la lucha por este cumplimiento (figura 3) y se ha logrado que el bloque establezca políticas que regulen a las industrias en materia ambiental. Por otro lado, el continente americano no ha ratificado por completo su compromiso ambiental debido a que la región, liderada por Estados Unidos, se ve influenciada por satisfacer en primer lugar los requisitos de las industrias, dejando de lado los compromisos con el planeta.

Para llevar a cabo un análisis exergonómico a un sistema energético, Tsatsaronis y Pisa (1994) refieren que debe estar integrado por un análisis detallado de exergía, un análisis económico a nivel de cada componente que integra el sistema, el cálculo del costo de cada corriente —con ayuda de un método que determine el costo exergético— y la evaluación de cada componente de acuerdo con las variables exergonómicas que se consideren relevantes.

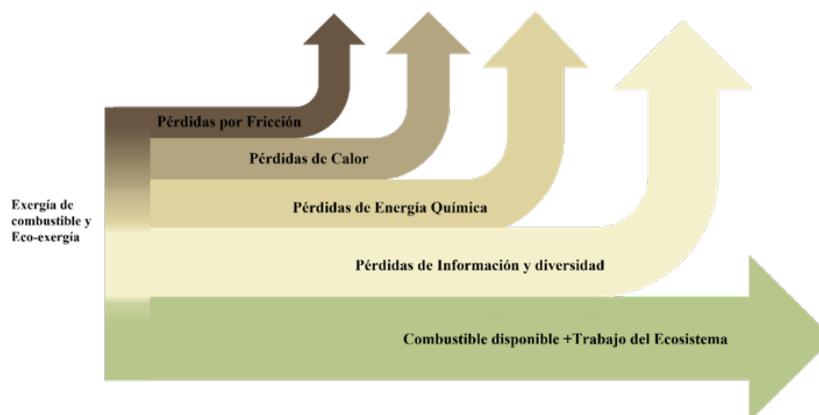
El análisis de exergía (figura 4, p. 7) considera, en detalle, la exergía destruida y perdida en cada componente, la exergía total suministrada en el sistema y la exergía total del sistema. Para llevar a cabo este cálculo es necesario realizar un balance exergético.

Figura 3
Países referentes en materia de exergonomía



Fuente: Elaboración propia.

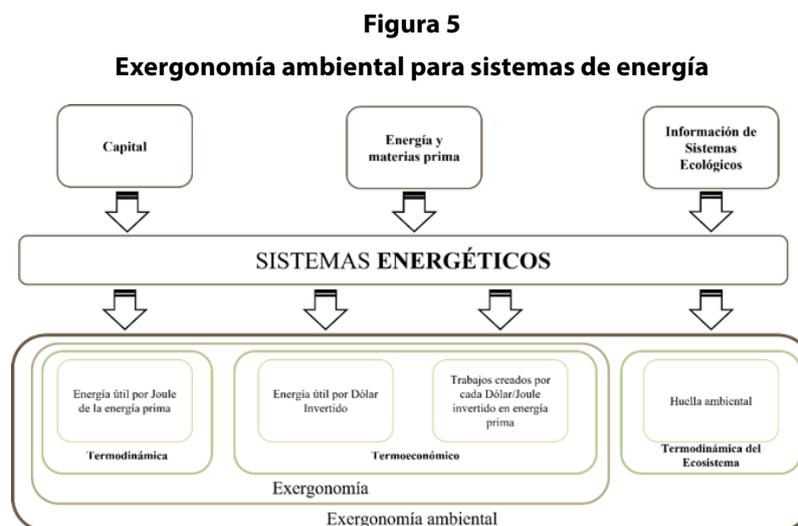
Figura 4
Diagrama de flujo exergético



Fuente: Golberg, 2015.

En lo que se refiere al aspecto económico (figura 5, p. 8), el costo puede ser calculado por medio de dos métodos de costeo de exergía: el de costo promedio y el de costo específico. El primero asigna un valor promedio a cada unidad de exergía, ya sea física o química. El segundo divide la exergía física en exergía térmica y mecánica, lo que aumenta el número de

incógnitas en un sistema lineal de ecuaciones que se forma por las corrientes de flujo que hay en el sistema energético (Tsatsaronis y Pisa, 1994).



Fuente: Golberg, 2015.

En definitiva, los análisis exergonómicos son una herramienta necesaria para aumentar la optimización de los costos y mejorar el diseño tecnológico de los sistemas energéticos. Además, se vuelven reportes con información valiosa para la toma de decisiones de inversionistas e investigadores, ya que detallan el rendimiento energético del flujo, componentes y el sistema en general, lo que permite conocer y mejorar las inversiones que se requieren para un mejor funcionamiento o, en caso contrario, ubicar los puntos con mayor consumo financiero.

La exergonomía continúa siendo una disciplina en desarrollo, ya que aún no cuenta con un modelo estandarizado que permita simplificar la nomenclatura y los métodos de cálculo exergético. Particularmente, se sugiere que el área de ingeniería siga ocupando este tipo de análisis para reducir errores en el diseño e incrementar su entendimiento sobre los verdaderos impactos económicos que se producen por una deficiente evaluación energética.

Es necesario resaltar que en futuros proyectos energéticos se consideren evaluaciones exergonómicas con la finalidad de conocer las especificaciones técnicas y económicas necesarias para lograr maximizar la eficiencia energética y minimizar los costos de inversión de los sistemas.

Conclusiones

La economía es un aspecto importante para los sistemas energéticos, pues minimiza los costos de los componentes, analiza el impacto de los factores externos sobre el costo de los

recursos utilizados y otorga valor económico al trabajo útil (exergía) producido en el sistema principalmente.

Asimismo, la exergonomía permite optimizar el funcionamiento y rentabilidad de los sistemas energéticos desde un punto de vista tecnológico y económico. Aunado a ello, ofrece ventajas; por ejemplo, la maximización de la eficiencia exergética, diseños de plantas con puntos de operación óptimos, modificación de los componentes para obtener mejores rendimientos energéticos y análisis del comportamiento energético del sistema. Lo anterior hace que suscite interés como área de conocimiento.

Los análisis exergonómicos posibilitan detectar las ineficiencias de la calidad energética en los sistemas, lo cual ayuda a mejorar las condiciones de operación, diseño o configuraciones. Con el avance de las investigaciones en la exergonomía se podrán implementar nuevas herramientas que complementen dichos análisis para obtener mejores resultados en los sistemas.

Referencias

- Aghbashlo, M., Tabatabaei, M., Khalife, E., Shojaei, T. R. y Dadak, A. (2018). Exergoeconomic analysis of a DI diesel engine fueled with diesel/biodiesel (B5) emulsions containing aqueous nano cerium oxide. *Energy*, 149, 967-978. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.02.082>
- Aghbashlo, M., Tabatabaei, M., Soltanian, S., Ghanavati, H. y Dadak, A. (2019). Comprehensive exergoeconomic analysis of a municipal solid waste digestion plant equipped with a biogas genset. *Waste Management*, 87, 485-498. [10.1016/j.wasman.2019.02.029](https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.02.029)
- Azqueta, D., Alviar, M., Domínguez, L. y O’Ryan, R. (2007). *Introducción a la economía ambiental*. McGraw Hill.
- Baghernejad, A. y Yaghoubi, M. (2011). Exergoeconomic analysis and optimization of an Integrated Solar Combined Cycle System (ISCCS) using genetic algorithm. *Energy Conversion and Management*, 52(5), 2193-2203. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2010.12.019>
- Bautista Culquipoma, M. A. y Soto Chirinos, G. A. (2018). *Termoeconomía del reemplazo de combustible diésel-2 por glp en la caldera menor del Hospital Regional Docente las Mercedes-Chiclayo* [tesis de ingeniería]. Universidad Señor de Sipán.
- Calise, F., d’Accadia, M. D., Macaluso, A., Piacentino, A. y Vanoli, L. (2016). Exergetic and exergoeconomic analysis of a novel hybrid solar-geothermal polygeneration system producing energy and water. *Energy Conversion and Management*, 115, 200-220. [10.1016/j.enconman.2016.02.029](https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.02.029)
- Fals Acuña, M. M., Loret de Mola López, M. A. y Alonso Cervantes, D. (2010). Análisis exergoeconómico de la planta de cogeneración de la empresa azucarera “Carlos Manuel de Céspedes”. *Centro Azúcar*, 37(3), 11-17.

- Farshi, L. G., Mahmoudi, S. M. S., Rosen, M. A., Yari, M. y Amidpour, M. (2013). Exergoeconomic analysis of double effect absorption refrigeration systems. *Energy Conversion and Management*, 65, 13-25. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2012.07.019>
- Fazelpour, F. y Morosuk, T. (2014). Exergoeconomic analysis of carbon dioxide transcritical refrigeration machines. *International Journal of Refrigeration*, 38, 128-139. [10.1016/j.ijrefrig.2013.09.016](https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2013.09.016)
- Frangopoulos, C. A. (1994). Application of the thermoeconomic functional approach to the CGAM problem. *Energy*, 19(3), 323-342. [https://doi.org/10.1016/0360-5442\(94\)90114-7](https://doi.org/10.1016/0360-5442(94)90114-7)
- God, R., Kurz, C. y Westenberger, A. (2012). Patente no. PCT/EP2011/000275. Oficina Europea de Patentes.
- Golberg, A. (2015). Environmental exergonomics for sustainable design and analysis of energy systems. *Energy*, 88, 314-321. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.05.053>
- Organización de las Naciones Unidas (2020). *Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2020*. https://unstats.un.org/sdgs/report/2020/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2020_Spanish.pdf
- Organización de las Naciones Unidas (2021). *¿Qué es el Protocolo de Kyoto?* https://unfccc.int/es/kyoto_protocol
- Ruiz Caro, A. (2001). *El papel de la OPEP en el comportamiento del mercado petrolero internacional*. Cepal (serie Recursos naturales e infraestructura). https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/6372/1/S0103287_es.pdf
- Tsatsaronis, G. y Pisa, J. (1994). Exergoeconomic evaluation and optimization of energy systems. Application to the CGAM problem. *Energy*, 19(3), 287-321. [https://doi.org/10.1016/0360-5442\(94\)90113-9](https://doi.org/10.1016/0360-5442(94)90113-9)
- Valero, A., Lozano, M. A., Serra, L., Tsatsaronis, G., Pisa, J., Frangopoulos, C. y Von Spakovsky, M. R. (1994). CGAM problem: Definition and conventional solution. *Energy*, 19(3), 279-286. [https://doi.org/10.1016/0360-5442\(94\)90112-0](https://doi.org/10.1016/0360-5442(94)90112-0)
- Velasco Callau, C., Martínez Gracia, A. y Gómez Martín, T. (2011). *Termodinámica Técnica II. Termodinámica aplicada a instalaciones térmicas*. Prensas Universitarias de Zaragoza.
- Von Spakovsky, M. R. (1994). Application of engineering functional analysis to the analysis and optimization of the CGAM problem. *Energy*, 19(3), 343-364. [https://doi.org/10.1016/0360-5442\(94\)90115-5](https://doi.org/10.1016/0360-5442(94)90115-5)
- Yildirim, D. y Ozgener, L. (2012). Thermodynamics and exergoeconomic analysis of geothermal power plants. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(8), 6438-6454. [10.1016/j.rser.2012.07.024](https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.07.024)

ARTÍCULOS

Marte: experimentos de simulación y misiones de exploración espacial

Mars: simulation experiments and space exploration missions

Sandra Ignacia Ramírez Jiménez

ORCID: 0000-0002-4344-0896/ramirez_sandra@uaem.mx

Centro de Investigaciones Químicas (CIQ), Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM)/Sociedad Mexicana de Astrobiología

Marisela Aguirre Ramírez

ORCID: 0000-0002-9764-0324/marisela.aguirre@uacj.mx

Instituto de Ciencias Biomédicas, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ)

Pável Uliánov Martínez Pabello

ORCID: 0000-0002-8591-0622/pavel.martinez@ciencias.unam.mx

Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)

RESUMEN

Se describen las características que hacen de Marte uno de los planetas de mayor interés en astrobiología. Se presenta información sobre las misiones de exploración espacial que han visitado al planeta, así como las que lo han estudiado remotamente. Se comentan algunas de las evidencias que sustentan la presencia de agua líquida en el pasado y en las actuales condiciones del planeta rojo, con especial énfasis en lo que esto significa para las investigaciones relacionadas con el estudio de ambientes análogos al de Marte. Se concluye con menciones de las misiones de exploración y algunas investigaciones orientadas hacia las futuras misiones tripuladas que se enviarán a Marte.

PALABRAS CLAVE

astrobiología, Marte, exploración, planeta, marciano, agua, bacteria

ABSTRACT

The characteristics that make Mars one of the most interesting planets in astrobiology are described. Information on the space exploration missions that have visited the planet is presented, as well as those that have studied it remotely. Some of the evidence that supports the presence of liquid water in the past and in the current conditions of the red planet is mentioned, with special emphasis on what this means for the investigations related to the study of analogous environments of Mars. The article concludes with mentions of the exploration missions and some research focused on the future manned missions that will be sent to Mars.

KEY WORDS

astrobiology, Mars, exploration, planet, martian, water, bacteria

Características generales e importancia astrobiológica de Marte

Marte, el cuarto planeta rocoso del sistema solar, ha sido objeto de fascinación y estudio desde tiempos ancestrales. Se localiza a 1.52 unidades astronómicas del Sol; gira sobre su propio eje en 24 horas y 37 minutos, con lo que se define un sol o un día marciano, y completa un año marciano en 687 días terrestres (tabla 1, p. 3). Su tamaño es de apenas una décima parte del tamaño de la Tierra, su masa es un orden de magnitud menor y todo ello resulta en que la gravedad de su superficie sea de sólo un tercio de la gravedad terrestre. Tiene una inclinación de 25.2° respecto a su eje de rotación, lo cual favorece la existencia de cuatro estaciones, como en la Tierra. Las temperaturas predominantes en Marte son bajas; el promedio ronda los 210 Kelvin (K), que equivalen a -63 °C. Un día muy cálido en el ecuador puede alcanzar los 303 K (30 °C), mientras que en los polos se han registrado temperaturas de hasta 133 K (-140 °C) en invierno.

La atmósfera marciana es cien veces menos densa que la terrestre (tabla 1, p. 3); por lo tanto, la radiación proveniente del Sol y la cósmica irradian su superficie con altas dosis. La atmósfera de Marte está compuesta principalmente por dióxido de carbono (CO₂), con porcentajes menores de argón (Ar) y nitrógeno molecular (N₂), así como por pequeñas cantidades de oxígeno molecular (O₂) y otros gases minoritarios, como monóxido de carbono (CO) y vapor de agua (H₂O) (Mahaffy et al., 2013). La corteza superficial de Marte la componen rocas basálticas, por lo que, en términos mineralógicos, las regiones terrestres más parecidas a la superficie del planeta rojo son los desiertos basálticos de los volcanes hawaianos (Ming et al., 1988).

El característico color rojo de la superficie marciana se debe a la presencia de óxidos de hierro (FeOx). Estudios muy recientes han comenzado a analizar el interior del planeta, que parece estar formado principalmente por rocas silicatadas, mientras que el núcleo puede estar compuesto por una aleación de hierro, níquel y azufre. La misión InSight de la agencia espacial norteamericana NASA (National Aeronautics and Space Administration), que actualmente se encuentra en la superficie de Marte (tabla 2 , pp. 5-8), podrá revelar la naturaleza del interior del planeta rojo.

Los asteroides Fobos y Deimos quedaron atrapados en la órbita de Marte y se convirtieron en sus satélites naturales. Ambos tienen un diámetro menor que el de la Luna, 22.2 km y 12.6 km, respectivamente, y se cree que en ellos pueden existir reservorios de agua congelada (Cordell, 1985).

Marte ha sido uno de los planetas más estudiados y explorados. Existen registros de observaciones realizadas por antiguas civilizaciones, como la sumeria, egipcia, griega, china y maya. Con el desarrollo de instrumentos de observación como los telescopios fue posible conocer con más detalle algunas de las características de su superficie. La resolución de los primeros telescopios que se apuntaron hacia Marte era de entre 100 y 200 km por cuadro. Curiosamente, fue el reporte del astrónomo italiano Giovanni Schiaparelli relativo a las

observaciones de Marte realizadas durante la oposición del 5 de septiembre de 1877 con ayuda de un telescopio de 22 cm, lo que originó la idea de que Marte estaba habitado como la Tierra.

Tabla 1
Características de Marte comparadas con las de la Tierra

Característica	Marte	Tierra
Distancia al Sol (10 ⁶ km)	228	150
Perihelio (UA)	1.381	0.98
Afelio (UA)	1.666	1.02
Periodo orbital (días terrestres)	686.971	365.256
Velocidad orbital promedio (km/s)	24.007	29.78
Periodo de rotación	24 h 37 m	23 h 56 m 4.1 s
Masa (kg)	6.4171 × 10 ²³	5.972 × 10 ²⁴
Densidad media (g/cm ³)	3.93	5.514
Radio ecuatorial (km)	3 397	40 075
Gravedad en la superficie (m/s ²)	3.711	9.807
Inclinación axial	25.19°	23.44°
Temperatura en la superficie (K)		
Mínima	130	184
Media	210	288
Máxima	308	330
Radiación UV recibida en la superficie	≥ 190 nm (UVC, UVB, UVA)	≥ 290 nm (UVB, UVA)
Presión en la superficie (kPa)	0.636	101.325
Compuestos orgánicos	Clorobenceno y dicloroalcanos (C ₂ -C ₄) en ppb	Abundantes y diversos
Composición atmosférica (% volumen)	95 de CO ₂ , 1.93 de Ar, 1.89 de N ₂ , 0.146 de O ₂ , 0.056 de CO, 0.021 de H ₂ O _v , 0.01 de NO _x	78.08 de N ₂ , 20.95 de O ₂ , 1.00 de H ₂ O _v , 0.93 de Ar, 0.04 de CO ₂ , 0.00182 de Ne, 0.00052 de He, 0.00017 de CH ₄ , 0.00011 de Kr, 0.00006 de H ₂
Agua líquida	Salmuera en la superficie y en el subsuelo	Océanos, mares, lagos, ríos, acuíferos subterráneos
Satélites naturales	Fobos y Deimos	Luna

Fuente: Elaboración propia.

En ese reporte, Schiaparelli afirmaba haber observado regiones claras y oscuras sobre la superficie marciana y asociaba las regiones claras con grandes extensiones de hielo de agua localizadas en los polos marcianos. Esos hielos se derretían e inundaban las tierras bajas a través de una red de canales, alimentando mares, lagos y golfos ubicados entre las masas continentales localizadas hasta 60 grados latitud norte. Es justamente la palabra *canales* la que origina toda la historia. El término originalmente utilizado por Schiaparelli fue el vocablo italiano *canale*, con el que se refería a las líneas o vetas oscuras que separaban a los continentes marcianos —las regiones claras que él observó— de los cuerpos de agua y que formaban una intrincada red desde los polos hacia el resto del planeta.

Cuando el reporte escrito de Schiaparelli se tradujo del italiano al inglés, la palabra *canale* se transcribió erróneamente como *canals*, término que hace alusión a un cauce artificial por donde se conducen las aguas. Aun cuando el mismo Schiaparelli especifica en su reporte que la red de vetas que él describió puede explicarse perfectamente con base en la geología del planeta rojo, son justamente esas vetas y sus registros sobre la existencia de cuerpos de agua observables desde la Tierra lo que se convierte en la base del mito sobre la existencia de avanzadas civilizaciones marcianas capaces de construir vastos sistemas de canales de irrigación que podían llevar el agua derretida de los polos hacia las tierras bajas marcianas.

Marte atrae el interés de la comunidad científica por diversas razones, entre ellas, la posibilidad de determinar si allá surgió también la vida y, de ser el caso, si ésta comparte o compartió las características de la vida terrestre o si son distintas. Las misiones que en décadas recientes han estudiado a Marte directamente o a la distancia presentan evidencias cada vez más claras de que el agua líquida, un requerimiento indispensable para todo ser vivo, existió sobre su superficie y que en la actualidad puede estar presente en el subsuelo marciano e inclusive, por cortos periodos, sobre la superficie. Estas dos premisas constituyen en buena medida la base de los proyectos de exploración de Marte, de innumerables estudios de laboratorio y de la preparación del envío de seres humanos a ese planeta para establecerse en pequeñas comunidades.

Exploración de Marte

La era moderna de la exploración de Marte comenzó el 14 de julio de 1965, cuando el orbitador Mariner 4 (tabla 2 pp. 5-8) sobrevoló el hemisferio sur del planeta a una distancia ligeramente menor a los 10 000 km y logró captar una veintena de fotografías con la mejor resolución para la época (5 km por cuadro). Estas imágenes demostraban tajantemente la inexistencia de canales o alguna otra construcción atribuible a una avanzada civilización marciana, pero sí reportaban una superficie llena de cráteres y los ya conocidos hielos polares que sufrían cambios estacionales; es decir, que se derretían en las épocas de alta temperatura, contrayendo su extensión, y que se congelaban durante los tiempos de baja temperatura,

ampliando nuevamente su área superficial. Esta coincidencia del comportamiento del hielo polar con las observaciones de Schiaparelli contribuyó a mantener la idea de la existencia de agua líquida sobre la superficie de Marte, ya que en ese tiempo aún no se sabía de qué estaban hechos esos hielos polares, pero por su brillo se especulaba que eran hielos de agua.

En 1971, otro orbitador, el Mariner 9, identificó estructuras geológicas notables en Marte, como el Monte Olimpo, los tres volcanes de la región de Tharsis, el sistema de cañones de Valles Marineris, enormes lechos secos que parecían haber sido labrados por ríos y extensos campos con dunas. Años más tarde, la misión Vikingo (Viking), formada por los orbitadores y vehículos robóticos gemelos Vikingo 1 y Vikingo 2, logró posarse exitosamente sobre la superficie de Marte o amortizar los respectivos vehículos robóticos. El primero el 20 de julio de 1976 y el segundo el 3 de septiembre de 1976 (tabla 2, pp. 5-8). Los instrumentos científicos a bordo de estos vehículos realizaron los primeros experimentos orientados a conocer los procesos químicos del suelo de Marte, analizar con detalle los componentes de su atmósfera y determinar la presencia de vida marciana.

Además de estas misiones pioneras, la tabla 2 (pp. 5-8) enlista todas las misiones que han sido exitosas en la exploración de Marte. Es notable que, en años recientes, las agencias espaciales de países como India, China y los Emiratos Árabes Unidos van teniendo participaciones importantes en el conocimiento de Marte. Los estudios realizados por todas estas misiones permiten reunir información detallada sobre la geología y la química de la atmósfera y de la superficie de Marte; acerca de las evidencias actuales que indican que en el pasado Marte tuvo agua líquida sobre la superficie y que inclusive en la actualidad aún puede ser posible encontrar agua líquida en lugares específicos, así como de los registros de vida pasada o presente.

Tabla 2
Misiones exitosas enviadas a Marte

Misión (agencia espacial a cargo) y fecha de lanzamiento	Fecha de llegada a Marte y principales logros
Mariner 4 (NASA) 28 de noviembre de 1964	14 de julio de 1965 Primer sobrevuelo exitoso en un planeta distinto a la Tierra que obtuvo las primeras 22 fotografías de la superficie de Marte. Permitted además obtener experiencia y probar las capacidades de ingeniería de la época para realizar vuelos interplanetarios de larga duración.
Mariner 6 (NASA) 25 de febrero de 1969	31 de julio de 1969 Estudia la superficie y la atmósfera de Marte desde los sobrevuelos realizados para preparar futuras investigaciones orientadas a la búsqueda de vida extraterrestre. Demuestra que la tecnología de la época es adecuada para misiones interplanetarias de larga duración. Obtiene los primeros espectros de emisión en infrarrojo y ultravioleta de Marte, mide la refracción de la atmósfera, determina la composición del casquete del polo sur, mide la presión de la superficie y realiza estimaciones sobre la masa, el radio y la forma del planeta rojo.

Mariner 7 (NASA) 27 de marzo de 1969	5 de agosto de 1969 Misión gemela de la Mariner 6 que viajó un poco más hacia el sur de Marte. Su máximo acercamiento ocurrió a 3 430 km de la superficie marciana, lo que la convirtió, en ese entonces, en el objeto construido por la humanidad que más se había acercado al planeta rojo.
Mariner 9 (NASA) 30 de mayo de 1971	14 de noviembre de 1971 Primera nave de exploración espacial que orbita exitosamente un planeta distinto a la Tierra; como resultado obtuvo imágenes del 70% de la superficie de Marte y realizó estudios de los cambios estacionales de su atmósfera y superficie.
Mars 5 (SSP) 25 de julio de 1973	12 de febrero de 1974 Primera nave soviética que se inserta exitosamente en la órbita marciana para fotografiar la superficie del planeta y obtener información sobre la composición, estructura y propiedades de su atmósfera y del hemisferio sur.
Viking 1 (NASA) 20 de agosto de 1975	20 de julio de 1976 Primera nave en posarse sobre la superficie de Marte o amartizar en Chryse Planitia. Fotografió sus alrededores, recolectó muestras de la superficie para analizar su composición y buscar evidencias de vida, determinó la composición de la atmósfera, estudió la meteorología y colocó algunos sismómetros.
Viking 2 (NASA) 9 de septiembre de 1975	3 de septiembre de 1976 La nave se posó en la superficie de Marte, en la región de Utopia Planitia, para realizar estudios semejantes a los de la nave gemela Viking 1. La información recolectada y los análisis realizados por los orbitadores y las naves de la misión Viking permitieron una visión más completa de Marte en su época.
Phobos 2 (SSP) 12 de julio de 1988	29 de enero de 1989 Esta misión soviética realizó un análisis remoto de Marte y de Fobos, uno de sus satélites naturales.
Mars Global Surveyor (NASA) 7 de noviembre de 1996	11 de septiembre de 1997 Orbitador diseñado para obtener imágenes de alta resolución de la superficie de Marte y realizar estudios acerca de su topografía y gravedad; sobre el papel del agua y del polvo en su superficie y atmósfera; del tiempo y el clima, así como sobre la existencia y evolución del campo magnético marciano.
Mars Pathfinder (NASA) 4 de diciembre de 1996	4 de julio de 1997 Misión formada por la nave Pathfinder, que funcionó como una estación fija, y el vehículo robótico Sojourner. Estaba preparada para evaluar nuevas estrategias de amartizaje centradas en el uso de paracaídas, retropropulsores y bolsas de aire; en la evaluación de tecnologías de comunicación entre la nave y el vehículo robótico, así como entre el vehículo robótico y un operador en la Tierra.
2001 Mars Odyssey (NASA) 7 de abril de 2001	24 de octubre de 2001 Orbitador que durante tres años analizó la mineralogía de la superficie de Marte y midió la cantidad de radiación recibida en la superficie del planeta para la preparación de futuras misiones tripuladas.

Mars Express (ESA) 2 de junio de 2003	25 de diciembre de 2003 El Mars Express Orbiter, elemento principal de la misión, se dedicó a obtener imágenes de alta resolución (10 m por cuadro), analizar la mineralogía y la composición atmosférica, determinar la circulación atmosférica global y la interacción entre la atmósfera y el subsuelo marcianos. La nave Beagle 2, que también integraba esta misión, se perdió durante su descenso hacia Marte, el 25 de diciembre de 2003.
Mars Exploration Rover A (MER-A) (NASA) 10 de junio de 2003	4 de enero de 2004 El vehículo robótico Spirit, componente principal de esta misión, fue el primero con la capacidad para desplazarse sobre la superficie marciana del orden de 100 m por día. Sus objetivos se centraron en la caracterización de la geología del cráter Gusev, que pudo haber albergado un lago de agua en el pasado, así como en el estudio del clima marciano y en recolectar información para preparar la futura exploración tripulada de Marte.
Mars Exploration Rover B (MER-B) (NASA) 7 de julio de 2003	25 de enero de 2004 Esta misión llevó al Opportunity, el segundo vehículo robótico gemelo del Spirit, a la superficie de Marte. Sus objetivos se centraron en caracterizar la geología de la región de Terra Meridiani y recolectar información para preparar la futura exploración tripulada de Marte.
Mars Reconnaissance Orbiter (NASA) 12 de agosto de 2005	10 de marzo de 2006 Orbitador que obtiene fotografías de alta resolución, analiza remotamente el clima y las estaciones durante un año marciano, busca sitios con evidencias de actividad acuosa e hidrotermal y ubica sitios de amortizaje para que futuras misiones recolecten muestras de la superficie de Marte que puedan ser traídas de regreso a la Tierra.
Phoenix (NASA) 4 de agosto de 2007	25 de mayo de 2008 Vehículo robótico dedicado a estudiar la geomorfología de las planicies del norte de Marte, la mineralogía y la química del regolito, los hielos y el clima polares, así como la composición de la atmósfera durante su descenso.
Mars Science Laboratory (NASA) 26 de noviembre de 2011	6 de agosto de 2012 Estuvo a cargo del vehículo robótico Curiosity, diseñado para explorar el ambiente del cráter Gale, un sitio seleccionado por sus altas posibilidades (antiguas o actuales) de albergar vida.
Mangalyaan (ISRO) 5 de noviembre de 2013	24 de septiembre de 2014 Orbitador diseñado para estudiar la morfología de la superficie, así como la mineralogía y la atmósfera de Marte.
Mars Atmosphere and Volatile Evolution (NASA) 18 de noviembre de 2013	22 de septiembre de 2014 Orbitador dedicado a analizar la atmósfera alta y la ionosfera marcianas, así como su interacción con el viento solar para evaluar la pérdida de compuestos volátiles en función del tiempo.
ExoMars (ESA-Roscosmos) 14 de marzo de 2016	16 de octubre de 2016 Orbitador equipado para analizar los gases de la atmósfera marciana a una altura de 400 km. El vehículo robótico Schiaparelli evaluó novedosas tecnologías de descenso que complementan esta misión.
InSight (NASA) 5 de mayo de 2018	26 de noviembre de 2018 Estación ubicada en la región de Elysium Planitia para determinar la formación y evolución de los planetas terrestres mediante el estudio de la estructura interna de Marte, su actividad tectónica y la tasa de impactos por meteoritos durante un año marciano.

Hope (UAE) 19 de julio de 2020	9 de febrero de 2021 Orbitador dedicado al estudio de la dinámica de la atmósfera marciana y su interacción con el espacio exterior y el viento solar.
Tianwen 1 (CNSA) 23 de julio de 2020	10 de febrero de 2021 Esta misión está formada por un orbitador y el vehículo robótico Zurong, diseñados para estudiar la topografía y geología de la región de Utopia Planitia, determinar el contenido de agua de la superficie, estudiar la ionosfera y el clima marcianos, cuantificar la gravedad y el campo magnético de Marte y estudiar su estructura interna.
Mars 2020 (NASA) 30 de julio de 2020	18 de febrero de 2021 Misión a cargo del vehículo robótico Perseverance, dedicada a investigar vestigios de vida pasada en el cráter Jezero, coleccionar muestras del suelo marciano y prepararlas para una futura recolección y regreso a la Tierra; así como para evaluar la producción de oxígeno molecular con los componentes de la atmósfera marciana. Transportó y liberó al Ingenuity, el primer helicóptero diseñado para volar en la tenue atmósfera de Marte, cuyo primer vuelo exitoso ocurrió el 19 de abril de 2021.

Fuente: Elaboración propia a partir de información obtenida de <https://mars.nasa.gov/mars-exploration/timeline/>

Nota: NASA: National Aeronautics and Space Administration
 SSP: Soviet Space Program
 ESA: European Space Agency
 ISRO: Indian Space Research Organization
 UAE: United Arab Emirates
 CNSA: China National Space Administration

Agua líquida en Marte

En 1996 se sugirió que el meteorito marciano ALH84001, denominado así por haber sido encontrado en el pueblo de Allan Hills, Estados Unidos, en 1984, parecía contener evidencias de actividad biológica, ya que al estudiar con detalle su interior se encontraron esférulas de carbonatos, hidrocarburos aromáticos policíclicos y unas estructuras semejantes a rodillos segmentados parecidas a nanofósiles bacterianos terrestres. Investigaciones posteriores no encontraron sustento científico para continuar apoyando esa propuesta inicial, y la conclusión de la comunidad científica es que no contiene evidencias contundentes de la presencia de vida en Marte.

A pesar de esta conclusión, los carbonatos encontrados en el meteorito ALH84001 son una prueba de que el agua corría sobre la superficie del Marte primitivo hace 4.1 miles de millones de años (4.1×10^9 años), al igual que en la Tierra (Scott et al., 1998). Existen además huellas geológicas, como canales secos, redes de valles fluviales, deltas y lechos de lagos, así como minerales hidratados como el yeso, la caolinita, la montmorillonita, la opalina y la goetita, que sólo podrían formarse por acción de agua líquida (Head et al., 2006). El conjunto de estas evidencias indica que, efectivamente, en el pasado Marte tuvo agua líquida sobre la superficie. ¿Entonces qué le ocurrió a esa agua?

Una de las teorías más aceptadas indica que el agua líquida de la antigua superficie de Marte se perdió irreversiblemente debido a una serie de desafortunados sucesos que comienzan con la pérdida del campo magnético marciano. Este campo magnético probablemente se perdió a consecuencia del fuerte impacto que un cuerpo masivo tuvo con Marte hace 4.0×10^9 años, lo que ocasionó que la atmósfera primitiva marciana fuera erosionada por el viento solar, ya que no había un campo magnético que la protegiera.

El pequeño tamaño de Marte y su menor fuerza de atracción gravitacional tampoco ayudaban a retener los componentes de la adelgazada atmósfera. En ausencia de ésta, los reservorios acuosos de la superficie fueron evaporándose y llevando el agua hacia las capas altas de la atmósfera, en donde se fotolizó irreversiblemente; es decir, la radiación solar separó a las moléculas de agua (H_2O) en sus componentes elementales —hidrógeno molecular (H_2) y oxígeno molecular (O_2)—, que se perdían hacia el espacio exterior, lo que dio paso al actual planeta árido.

Recientemente, el orbitador Mars Express, de la Agencia Espacial Europea (ESA, European Space Agency), descubrió un cuerpo acuoso a 1,5 km debajo de la superficie del polo sur de Marte, con una extensión de aproximadamente 20 km y que puede contener altas concentraciones de sales, lo cual permite que el agua pueda mantenerse en estado líquido (Orosei et al., 2018). Algunas observaciones realizadas con el instrumento Omega, del mismo orbitador, han identificado la presencia de arcillas, las cuales se forman cuando algunos minerales del magma tienen un contacto prolongado con agua líquida.

Cada vez hay más evidencias de que el Marte primitivo no sólo tuvo agua líquida, sino también una temperatura global mucho más templada que la actual y, en general, condiciones adecuadas para que surgiera la vida. Pero ese escenario de un planeta habitable cambió dramáticamente hace 3.6×10^9 años. Curiosamente, tanto el registro fósil como algunas evidencias químicas indican con certeza que en esa época la vida ya existía en la Tierra. ¿Pudo haber surgido la vida en Marte cuando el agua líquida existía sobre su superficie? De ser el caso, ¿esa génesis fue semejante o distinta a la terrestre?

Más aún, existen propuestas que definen un origen para la vida en Marte antes que en la Tierra. Estas cuestiones son las que continúan impulsando la exploración del planeta rojo y las que, de alguna manera, ayudan a definir algunas propuestas de investigación en los laboratorios terrestres. Si bien es prácticamente imposible lograr una recreación de los ambientes del Marte primitivo, la información proporcionada por las misiones de exploración permite conocer muchas de las condiciones del Marte actual, y el estudio de la habitabilidad de la superficie marciana se ubica entre las particularmente importantes.

Las misiones Viking, Phoenix, Curiosity, Perseverance y ExoMars (tabla 2, ver pp. 5-8) han utilizado técnicas como la pirólisis, la cromatografía de gases y la espectrometría de masas para identificar remanentes de vida pasada, específicamente compuestos orgánicos. Sin

embargo, ésta no es una tarea fácil, ya que compuestos como los percloratos (ClO_4^-), recientemente detectados en la superficie de Marte, reaccionan con la materia orgánica, degradándola y complicando su identificación (Hecht et al., 2009; Martínez Pabello et al., 2019; Sutter et al., 2017). Esto quiere decir que la ausencia de grandes concentraciones de compuestos orgánicos en Marte no necesariamente implica la ausencia de vida, ya que ésta pudo haber surgido o estar presente, pero las moléculas indicativas de su presencia son oxidadas de manera natural por esos percloratos.

Los percloratos son entidades altamente tóxicas para una gran variedad de microorganismos. A pesar de ello, en la Tierra existen lugares con altas concentraciones de perclorato de magnesio ($\text{Mg}(\text{ClO}_4)_2$) habitados por bacterias extremófilas de los géneros *Pseudomonas*, *Azospira* o *Dechloromonas*. En ausencia de oxígeno, algunas de estas bacterias pueden utilizar a los oxianiones clorados, entre los que se encuentra el perclorato, pero también el clorato (ClO_3^-), como aceptores de electrones porque cuentan con enzimas específicas como las nitrato y perclorato reductasas, con las que pueden transformarlos químicamente para obtener energía química.

La existencia de microorganismos terrestres capaces de utilizar a los percloratos en su metabolismo permite visualizar la superficie de Marte como un ambiente potencialmente habitable, es decir, con la posibilidad de albergar alguna forma de vida microscópica conocida en la Tierra. El carácter higroscópico de los percloratos se refleja en su capacidad para absorber agua y formar salmueras o disoluciones que contienen una alta concentración de percloratos y muy poca agua. Estas salmueras podrían no sólo permitir la presencia de agua en la actual superficie de Marte, sino además abatir el punto de fusión de la disolución formada y lograr que el agua exista en estado líquido aun cuando la temperatura sea menor a los 253 K (-20 °C).

Adicionalmente, la búsqueda de vida en el subsuelo marciano se ha fortalecido debido al reciente descubrimiento de cuerpos acuosos subterráneos (Orosei et al., 2018), en donde probablemente también existan salmueras que se hayan convertido en microambientes subterráneos adecuados para preservar la vida que pudo haber emigrado desde la superficie cuando ésta se volvió adversa. Se sabe también que en el subsuelo existen minerales arcillosos que pueden contener pequeñas burbujas de aire y que la radiación disminuye considerablemente a partir de los 20 cm de profundidad, aunque la falta de nutrientes (material orgánico) sigue siendo una limitante de consideración.

Estudios de simulación sobre la habitabilidad de Marte

La vida en la Tierra ha demostrado ser tenaz y capaz de existir en prácticamente cualquier rincón del planeta siempre que pueda disponer de agua líquida, aun de forma limitada. Los organismos que han colonizado estos ambientes inhóspitos terrestres son los organismos

extremófilos (Ramírez, 2010), de particular relevancia para los estudios de búsqueda de vida que se realizan en Marte.

Por ejemplo, los endolitobiontes, como los descubiertos en la región de Atacama en Chile, son interesantes por su capacidad de habitar en el interior de pequeños granos de arena; los psicrófilos, como aquellos de los valles secos de la Antártida, donde la temperatura varía de -15 a -30 °C, o los halófilos, como los de la cuenca Qaidam en China, que se han adaptado para vivir en concentraciones de cloruro de sodio (NaCl) de hasta 35%, un porcentaje de salinidad diez veces superior al promedio de los océanos terrestres. Éstos y otros tipos de extremófilos se consideran modelos biológicos adecuados para estudiar la habitabilidad de los objetos de interés astrobiológico del sistema solar.

En 2014, el astrobiólogo Charles Cockell propuso una definición operativa para la habitabilidad: un ambiente habitable es aquel que tiene las condiciones necesarias para que al menos un organismo se encuentre activo y pueda mantenerse, crecer o reproducirse. Algunos de los experimentos de simulación de ambientes marcianos que pueden realizarse en un laboratorio de investigación se centran en evaluar esa actividad empleando modelos biológicos, que frecuentemente corresponden a microorganismos como bacterias o arqueas. La tabla 3 (pp. 12 y 13) contiene información relativa a experimentos que evalúan la resistencia o viabilidad de ciertos microorganismos cuando son expuestos a alguna o algunas condiciones que simulan determinado aspecto del ambiente marciano. En algunos casos incluso se utiliza un material análogo al suelo de Marte.

A partir de la detección de perclorato en la superficie de Marte (Hecht et al., 2009), se han propuesto nuevos experimentos de simulación para evaluar la tolerancia, supervivencia y crecimiento de microorganismos en presencia de éste y otros óxidos del cloro. Se ha demostrado incluso la tolerancia de altas concentraciones de estas sales en microorganismos mesófilos como *Bacillus subtilis* (Wadsworth y Cockell, 2017), con lo que se expanden los límites de la habitabilidad y la posible adaptación de vida en ambientes acuosos en el subsuelo de Marte.

La simulación y experimentación de ambientes del Marte actual es uno de los proyectos de investigación que se realizan en el Laboratorio de Simulación de Ambientes Planetarios del Centro de Investigaciones Químicas de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, en colaboración con investigadores del Laboratorio de Biología Celular y Molecular de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez y del Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México. En particular, se evalúa la capacidad de algunas bacterias halófilas y halotolerantes para adecuarse a las condiciones del suelo marciano: presencia de cloratos y percloratos, atmósfera rica en N₂, altas dosis de radiación ultravioleta y condiciones de microgravedad.

Tabla 3
Experimentos de simulación enfocados en la habitabilidad de Marte

Experimento	Organismo	Fenotipo	Suelo	Referencia
Células liofilizadas en 5 g de lava, expuestas a N ₂ ultrapuro (65 mm de mercurio) o vacío, a temperatura constante (25 °C) o periodos alternados de 25 o -25 °C. Viabilidad celular y virulencia, hasta 10 meses de experimentación.	<i>Klebsiella pneumoniae</i> y <i>Clostridium botulinum</i>	Bacterias gramnegativas formadoras de cápsulas y grampositivas formadoras de endosporas	Lava triturada	Hawrylewicz et al., 1962
Viabilidad de las esporas en la superficie de naves espaciales, radiación UV (máx. 15 min), -10 °C y 8.5 mbar, CO ₂ ultrapuro.	<i>Bacillus subtilis</i>	Bacteria grampositiva, mesófila formadora de esporas	NE	Schuerger et al., 2003
Viabilidad celular a temperatura extrema y desecación en MSC; temperatura de -60 °C por 6 horas, 6 mbar y 98% de CO ₂ .	<i>Halococcus dombrowskii</i> y <i>Halobacterium</i> sp. NRC-1	Arqueas halófilas, halococos y halobacilos	NE	Stan-Lotter et al., 2002
Viabilidad de las esporas en MSC; atmósfera de CO ₂ , ~20 °C y presión promedio de 12.5 mbar.	<i>B. subtilis</i>	Bacteria grampositiva, mesófila formadora de esporas	NE	Nicholson et al., 2005
Viabilidad en MSC; integridad celular y de biomarcadores. Atmósfera de CO ₂ , -10 °C, presión promedio de 8.5± 0.2 mbar, espectros de UVC (200-280 nm), UVB (280-315 nm) y UVA (315-400 nm).	<i>Chroococcidiopsis</i> sp. 029	Bacteria fotoautótrofa, crioendolítica	JSC Mars-1 y suelo gneis ^a	Cockell et al., 2005
Producción de metano como indicador de la viabilidad celular; CO ₂ como fuente de carbono.	<i>Methanosarcina barkeri</i> , <i>Methanobacterium formicicum</i> , <i>Methanothermobacter wolfeii</i> , <i>Methanobacterium wolfeii</i> y <i>Methanococcus maripaludi</i>	Arqueas quimiolitótrofas, metanótrofas	JSC Mars-1	Kral et al., 2004
Supervivencia de la comunidad en MSC. Mantenimiento de la versatilidad metabólica y oxidación de glucosa. Atmósfera de CO ₂ , -60 a 4 °C, 9 o 13 mbar y radiación UV (<200 nm).	Comunidad microbiana	Bacterias de ambiente desértico, gramnegativas y productoras de esporas	Salten Skov	Hansen et al., 2005

Crecimiento a altas concentraciones de perclorato y clorato de sodio.	<i>Halobacterium</i> strain NRC-1, <i>Hbt. salinarum</i> R1, <i>Haloferax volcanii</i> , <i>Hfx. mediterranei</i> , <i>Hfx. denitrificans</i> , <i>Hfx. gibbonsii</i> , <i>Haloarcula marismortui</i> , <i>Har. vallismortis</i> y <i>Halomonas elongata</i>	Halófilas heterotrófas (ocho arqueas y una bacteria)	NE	Oren et al., 2014
Viabilidad de células planctónicas en presencia de perclorato y sulfato o peróxido de hidrógeno, y radiación UV (254 nm).	<i>B. subtilis</i>	Bacteria grampositiva, mesófila, formadora de esporas	Sílice granulado o hematita	Wadsworth y Cockell, 2017
BIOMEX ^b , 7 días, de -10 a 45 °C en 8 horas por 48 ciclos, en 95.55% de CO ₂ , 2.7% de N ₂ , 1.6% de Ar, 0.15% de O ₂ y ~370 ppm de H ₂ O, 4.5 × 10 ⁶ y 8.4 × 10 ⁶ kJ/m ² .	Tres dominios (Archaea, Bacteria y Eukarya)	Metanógenos, fotosintéticos y psicrófilos polares y alpinos	P-MRS y S-MRS ^c	De Vera et al., 2019
En Trex-Box ^d se colocaron monocapas o múltiples capas de bacterias planctónicas o esporas de <i>Aspergillus niger</i> , las cuales habían sido desecadas por cinco meses en PBS o medio rico. El Trex-Box se colocó en el interior del MARSBOX ^e y las muestras fueron expuestas a condiciones análogas por más de 5 horas (UV de 280-400 nm), -51 °C (mín.) y 21 °C (máx.), 5-10 mbar, 95% de CO ₂ , 1.9% de Ar, 2.6% de N ₂ , 0.17% de O ₂ , 0.07% de CO).	<i>Salinisphaera shabanensis</i> , <i>Buttiauxella</i> sp. MASE-IM-9, <i>Staphylococcus capitis</i> subsp. <i>capitis</i> , <i>Aspergillus niger</i>	Dos bacterias gramnegativas extremófilas, una bacteria patógena grampositiva y las esporas pigmentadas de un hongo patógeno filamentosos	NE	Corteseo et al., 2021

Fuente: Elaboración propia.

Nota: NE: no ensayado.

MSC (siglas en inglés): cámara de simulación de Marte.

PBS (siglas en inglés): amortiguador de fosfatos.

Trex-Box (acrónimo en inglés): caja de transporte y exposición.

MARSBOX: Microbes in Atmosphere for Radiation, Survival, and Biological Outcomes Experiment.

^aSuelo precámbrico del impacto de Haughton, en Canadá. Material rico en feldespatos, impactado a 60 Gpa aproximadamente hace 23 Ma.

^bBIOMEX and Mars Experiment. Se colocaron diversos organismos en el dispositivo EXPOSE-R2, embebidos o cultivados sobre regolitos análogos. Se emplearon líquenes, arqueas metanógenas, bacterias, cianobacterias, algas de hielo perpetuo, meristemo de hongo negro y briofitas, expuestos a condiciones simuladas de Marte.

^cP-MRS: regolito análogo con polisilicatos; S-MRS: regolito análogo con sulfato.

^dDispositivo rectangular (3,5 cm × 13,5 cm × 5,0 cm) de acero inoxidable donde se colocaron 64 muestras de discos de cuarzo que portaban los microorganismos.

^eCaja donde se introdujo la Trex-Box, en la cual se sustituyó la atmósfera artificial a presión controlada. Esta caja se montó en la góndola de un globo que se suspendió a ~38 km de altura (estratósfera).

Futura colonización de Marte

Además de las investigaciones orientadas a encontrar vestigios de vida pasada o presente en Marte, ha comenzado una nueva etapa en su exploración con el deseo de concretar una misión tripulada hacia el planeta rojo. En concreto, la NASA, en conjunto con la empresa de tecnología espacial SpaceX, dio inicio al programa Artemisa con la intención de instalar un campamento lunar en 2024 que ayude a preparar la primera misión tripulada hacia Marte. A otras empresas, como Blue Origin, Virgin Galactic y Lockheed Martin, también les interesa desarrollar en primera instancia el turismo espacial y posteriormente la llegada de humanos a Marte.

A principios de 2021 ocurrieron los primeros viajes de turismo espacial con tripulantes civiles. Para 2024, la ESA y la Agencia Espacial Rusa (Roscosmos) intentarán amartizar un vehículo móvil en Oxia Planum. Por su parte, la NASA y la ESA planean traer a la Tierra, en 2031, las muestras de suelo marciano que actualmente está colectando el vehículo robótico Perseverance. Para ese mismo año, la Agencia Espacial Japonesa (JAXA, por sus siglas en inglés) espera poder explorar Fobos y Deimos, los dos satélites naturales de Marte, para determinar si contienen agua. La preparación y construcción de estas misiones de exploración hacia Marte, así como los resultados que se van generando, son de utilidad para la preparación de la exploración humana no sólo de Marte, sino de otros objetos en el sistema solar.

Aunado a estos esfuerzos, en la Estación Espacial Internacional y en la estación espacial china se experimenta y estudian aspectos relativos a la sobrevivencia de los seres humanos en las condiciones del actual ambiente marciano. En la actualidad, varios campos científicos, como medicina, enfermería, robótica, geología, biología o botánica espacial, se ocupan de ello. Es precisamente en estos campos en los que el desarrollo de proyectos y la experimentación con microorganismos, plantas, alimentos o suelos análogos pueden ayudar en el establecimiento de una colonia humana con altas posibilidades de sobrevivir en Marte.

La terraformación de Marte implica cambios a nivel planetario y tiempos muy prolongados (cientos a miles de años) para lograr condiciones planetarias semejantes a las de la Tierra. Este proceso se planea en etapas; la primera es la llegada y el establecimiento de una colonia humana en el planeta rojo. Es evidente que esos primeros colonizadores sobrevivirán utilizando y aprovechando los recursos de Marte, combinándolos con materiales y recursos llevados desde la Tierra. La misión Perseverance ha sido capaz de formar oxígeno a partir del CO₂ atmosférico marciano, lo cual resulta vital para los humanos no sólo para respirarlo, sino para utilizarlo como combustible.

En la Estación Espacial Internacional se logró el crecimiento de diferentes plantas comestibles en condiciones de microgravedad y la cosecha de papas en ambientes simulados de Marte. Asimismo, se desarrollaron proyectos arquitectónicos de los primeros domos, construidos con regolito marciano en impresoras 3D, en donde habitarán los primeros colonizadores.

La terraformación también contempla calentar al planeta, engrosando su atmósfera al inyectarle gases de efecto invernadero para convertirlo en un planeta más cálido en el que el agua congelada vuelva a fluir y se restablezca un ciclo hidrológico.

El pasado y el presente de Marte se conocen con cierta precisión gracias a las observaciones realizadas por medio de telescopios terrestres y espaciales, a la información proporcionada por las misiones de exploración y a los resultados de los estudios que se llevan a cabo en los laboratorios de investigación. Pero el futuro de Marte aún está por escribirse. Las investigaciones que actualmente se hacen en el planeta rojo por misiones robóticas, así como los hallazgos que realicen sus futuros exploradores, contribuirán con nuevas páginas sobre este fascinante vecino planetario.

Referencias

- Cockell, C. S., Schuerger, A. C., Billi, D., Friedmann, E. I. y Panitz, C. (2005). Effects of a simulated Martian uv flux on the Cyanobacterium, *Chroococcidiopsis* sp. 029. *Astrobiology*, 5(2), 127-140. <https://doi.org/10.1089/ast.2005.5.127>
- Cordell, B. M. (1985). The moons of Mars: A source of water for lunar bases and LEO. *Lunar bases and space activities of the 21st century*, p. 809. Lunar and Planetary Institute.
- Cortese, M., Siems, K., Koch, S., Beblo-Vranesevic, K., Rabbow, E., Berger, T., Lane, M., James, L., Johnson, P., Waters, S. M., Verma, S. D., Smith, D. J. y Moeller, R. (2021). MARSBOX: Fungal and bacterial endurance from a balloon-flown analog mission in the stratosphere. *Frontiers in Microbiology*, 12. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.601713>
- De Vera, J. P., Alawi, M., Backhaus, T., Baqué, M., Billi, D., Böttger, U., Berger, T., Bohmeier, M., Cockell, C., Demets, R., De la Torre Noetzel, R., Edwards, H., Elsaesser, A., Faglarone, C., Fiedler, A., Foing, B., Foucher, F., Fritz, J., Hanke, F.,... Zucconi, L. (2019). Limits of life and the habitability of Mars: The ESA space experiment BIOMEX on the ISS. *Astrobiology*, 19(2), 145-157. <https://doi.org/10.1089/ast.2018.1897>
- Hansen, A., Merrison, J., Nørnberg, P., Lomstein, B. A. y Finster, K. (2005). Activity and stability of a complex bacterial soil community under simulated Martian conditions. *International Journal of Astrobiology*, 4(2), 135-144. [10.1017/S1473550405002557](https://doi.org/10.1017/S1473550405002557)
- Hawrylewicz, E., Gowdy, B. y Ehrlich, R. (1962). Micro-organisms under a simulated Martian environment. *Nature*, 193(497). <https://doi.org/10.1038/193497a0>
- Head, J. W., Marchant, D. R., Agnew, M. C., Fassett, C. I. y Kreslavsky, M. A. (2006). Extensive valley glacier deposits in the northern mid-latitudes of Mars: Evidence for Late Amazonian obliquity-driven climate change. *Earth and Planetary Science Letters*, 241(3-4), 663-671.
- Hecht, M. H., Kounaves, S. P., Quinn, R. C., West, S. J., Young, S. M. M., Ming, D. W., Catling, D. C., Clark, B. C., Boynton, W. V., Hoffman, J., Deflores, L. P., Gospodinova, K., Kapit, J. y

- Smith, P. H. (2009). Detection of perchlorate and the soluble chemistry of Martian soil at the Phoenix Lander site. *Science*, 325(5936), 64-67. [10.1126/science.1172466](https://doi.org/10.1126/science.1172466)
- Kral, T. A., Bekkum, C. R. y McKay, C. P. (2004). Growth of methanogens on a Mars soil simulant. *Origins of Life and Evolution of the Biosphere*, 34, 615-626. [10.1023/b:orig.0000043129.68196.5f](https://doi.org/10.1023/b:orig.0000043129.68196.5f)
- Mahaffy, P. R., Webster, C. R., Atreya, S. K., Franz, H., Wong, M., Conrad, P. G. y Gasnault, O. (2013). Abundance and isotopic composition of gases in the Martian atmosphere from the Curiosity Rover. *Science*, 341(6143), 263-266.
- Martínez-Pabello, P. U., Navarro-González, R., Walls, X., Pi-Puig, T., González-Chávez, J. L., De la Rosa, J. G., Molina, P. y Zamora, O. (2019). Production of nitrates and perchlorates by laser ablation of sodium chloride in simulated Martian atmospheres. Implications for their formation by electric discharges in dust devils. *Life Sciences in Space Research*, 22, 125-136. [10.1016/j.lssr.2019.02.007](https://doi.org/10.1016/j.lssr.2019.02.007)
- Ming, D. W., Morris, R. V., Bernhard, R. P. y Adams, J. B. (1988). Mineralogy of a suite of Martian analog soils from Hawaii. *Lunar and Planetary Science Conference*, 19.
- Nicholson, W. L., Schuerger, A. C. y Setlow, P. (2005). The solar UV environment and bacterial spore UV resistance: Considerations for Earth- to-Mars transport by natural processes and human spaceflight. *Mutation Research*, 571(1-2), 249-264. [10.1016/j.mrfmmm.2004.10.012](https://doi.org/10.1016/j.mrfmmm.2004.10.012)
- Oren, A., Bardavid, R. E. y Mana, L. (2014) Perchlorate and halophilic prokaryotes: Implications for possible halophilic life on Mars. *Extremophiles*, 18(1), 75-80. [10.1007/s00792-013-0594-9](https://doi.org/10.1007/s00792-013-0594-9)
- Orosei, R., Lauro, S. E., Pettinelli, E., Cicchetti, A., Coradini, M., Cosciotti, B., Di Paolo, F., Flamini, E., Mattei, E., Pajola, M., Soldovieri, F., Cartacci, M., Cassenti, F., Frigeri, A., Giuppi, S., Martufi, R., Masdea, A., Mitri, G., Nenna, C.,... Seu, R. (2018). Radar evidence of subglacial liquid water on Mars. *Science*, 361(6401), 490-493. [10.1126/science.aar7268](https://doi.org/10.1126/science.aar7268)
- Ramírez, S. I. (2010). Las fronteras de la vida desde la perspectiva de los extremófilos. *Inventio. La Génesis de la Cultura Universitaria en Morelos*, 6(11), 57-66.
- Schuerger, A. C., Mancinelli, R. L., Kern, R. G., Rothschild, L. J. y McKay, C. P. (2003). Survival of endospores of *Bacillus subtilis* on spacecraft surfaces under simulated Martian environments: implications for the forward contamination of Mars. *Icarus*, 165(2), 253-276. [10.1016/S0019-1035\(03\)00200-8](https://doi.org/10.1016/S0019-1035(03)00200-8)
- Scott, E. R., Krot, A. N. y Yamaguchi, A. (1998). Carbonates in fractures of Martian meteorite Allan Hills 84001: Petrologic evidence for impact origin. *Meteoritics & Planetary Science*, 33(4), 709-719.
- Stan-Lotter, H., Radax, C., Gruber, C., Legat, A., Pfaffenhuemer, M., Wieland, H., Leuko, S., Weidler, G., Kömle, N. y Kargl, G. (2002). Astrobiology with Haloarchaea from Permo-Triassic rock salt. *International Journal of Astrobiology*, 1(4), 271-284. <https://doi.org/10.1017/S1473550403001307>

- Sutter B., McAdam, A. C., Mahaffy, P. R., Ming, D. W., Edgett, K. S., Rampe, E. B., Eigenbrode, J. L., Franz, H. B., Freissinet, C., Grotzinger, J. P., Steele, A., House, C. H., Archer, P. D., Malespin, C. A., Navarro-González, R., Stern, J. C., Bell, J. F., Calef, F. J., Gellert, R.,... Yen, A. S. (2017). Evolved gas analyses of sedimentary rocks and eolian sediment in Gale Crater, Mars: Results of the Curiosity rover's sample analysis at Mars instrument from Yellowknife Bay to the Namib Dune. *Journal Geophysical Research: Planets*, 122, 2574-2609. <https://doi.org/10.1002/2016je005225>
- Wadsworth, J. y Cockell, C. S. (2017). Perchlorates on Mars enhance the bacteriocidal effects of uv light. *Scientific Reports*, 7(4662). <https://doi.org/10.1038/s41598-017-04910-3>

ARTÍCULOS

Contaminantes y su efecto en el comportamiento de peces cíclidos

Contaminants and their effect on the behavior of cichlid fish

Elsah Arce Uribe

ORCID: 0000-0002-9815-2525/elsah.arce@uaem.mx

Laboratorio de Acuicultura, Centro de Investigaciones Biológicas (CIB), Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM)

Hugo F. Olivares-Rubio

ORCID: 0000-0002-7082-4588/hugolivares@yahoo.com.mx

Facultad de Ciencias Biológicas (CIB), Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM)

RESUMEN

La contaminación en ambientes dulceacuícolas es un tema de creciente preocupación. Los cíclidos son un grupo relevante de peces, dado que algunas de sus especies son comestibles —como la tilapia— y otras son utilizadas como peces ornamentales. Los hábitos alimenticios, el cortejo, el cuidado parental y la agresividad son aspectos ecológicos esenciales para el equilibrio de la población de los cíclidos; sin embargo, se han hallado diversos contaminantes, como los derivados de productos farmacológicos, plaguicidas y desechos mineros, que afectan su comportamiento. El análisis de este tipo de agentes es importante para el manejo y la conservación de las poblaciones de la mojarra mexicana.

PALABRAS CLAVE

contaminación, peces cíclidos, comportamiento, dulceacuícolas, daño ambiental

ABSTRACT

Pollution in freshwater environments is an issue of growing concern. Cichlids are a relevant group of fish, since some of their species are edible or used as ornamental fish. Feeding habits, courtship, parental care and aggressiveness are essential ecological aspects for the balance of the cichlid population. However, contaminants such as derivatives of pharmacological products, pesticides and mining waste have been found, which affect the behavior of cichlid fish. This type of analysis is important for the management and conservation of Mexican tilapia populations.

KEY WORDS

pollution, cichlid fish, behavior, freshwater, environmental damage

El adverso escenario de la contaminación

En casi todas las actividades que hacemos día a día se producen residuos que, por sus características, pueden considerarse sólidos, como los electrodomésticos descompuestos y desechos plásticos; gaseosos y encontrarse en el aire, como las emisiones generadas por los autos, o aquellos que afectan al agua, por ejemplo, los detergentes. Lamentablemente, muchos de estos desechos no pueden ser tratados y terminan depositados en casi todos los ambientes del planeta.

Dichos residuos en conjunto afectan el equilibrio de los ambientes y son conocidos como contaminantes. Estos contaminantes pueden ser físicos, como el ruido y otras vibraciones; biológicos, como los microorganismos, los cuales producen enfermedades; y químicos, que son aquellos que modifican la composición del aire, suelo y agua. Durante muchos años, los ríos, lagos y mares han recibido una enorme variedad de sustancias contaminantes; y a pesar de que se ha logrado remover muchas de éstas o de que se ha reducido su presencia, la gran mayoría sigue afectando la calidad del agua que usamos y dañando la salud de los animales, plantas y microorganismos que habitan tales ambientes acuáticos.

Daño ambiental y su repercusión en la salud de organismos acuáticos

Diversos tipos de contaminantes participan en las alteraciones ambientales; por ejemplo, los residuos del ineficiente uso de los combustibles fósiles, incendios y derrames de petróleo; plaguicidas utilizados en los cultivos de frutas y verduras, y que luego se encuentran en alimentos de origen animal, así como los metales pesados liberados por la extracción minera.

Actualmente, existen otros contaminantes denominados *emergentes*, cuyos efectos en el ambiente ya son estudiados, tales como los productos farmacológicos y de cuidado personal, los químicos empleados como retardantes de flama, las nanopartículas y los microplásticos. La ciencia estudia las consecuencias de estos contaminantes en la salud de peces, microalgas y crustáceos con la finalidad de estimar el grado de los daños que han ocasionado y proponer posibles soluciones para contrarrestarlos.

Los peces, uno de los grupos de organismos más estudiados, habitan en casi todos los ambientes acuáticos del mundo; los podemos encontrar en ríos, lagos, mares y océanos, e incluso en sitios inimaginables, como cavernas, donde no hay acceso a la luz, y en charcas en los desiertos. Los peces son sensibles a los cambios en el ambiente y a los efectos de los contaminantes. Los daños que éstos les causan pueden ser a nivel del material genético, proteínas, membranas celulares, hormonas; en tejidos como las aletas, branquias y piel; así como en la conducta, pues pueden provocarles cambios en la capacidad de alimentación, de encontrar pareja reproductiva, de evadir a sus depredadores y de hallar refugios.

El caso de los peces cíclidos

Uno de los grupos de peces dulceacuícolas habitantes de ríos y lagos más populares del mundo es el de los cíclidos. Los cíclidos son peces que seguramente todos hemos visto alguna vez, dado que son de los más utilizados en los acuarios. Ejemplos de éstos son el amenazante pez óscar, los multicolores peces discos y los llamativos peces escalares. Dentro de los cíclidos también se encuentran las tilapias, que son comestibles y muy consumidas en diversas partes del mundo.

En nuestro país, la cuenca del río Balsas es sumamente importante debido a que alberga muchos ambientes acuáticos con equilibrio ecológico sensible y aporta importantes volúmenes de agua a las poblaciones humanas del centro de México. La mojarra mexicana es una especie nativa y representativa de esta región del país y sus poblaciones se han visto afectadas por factores como la llegada de especies invasoras y la contaminación (De la Torre et al., 2018). En este sentido, conocer la biología, ecología y toxicología de contaminantes relevantes en la mojarra mexicana es indispensable para la conservación del equilibrio de los ambientes que habita.

Los cíclidos se ven afectados por insecticidas y herbicidas. El lindano y la deltametrina, usados contra las infestaciones de piojos, y la bifentrina, utilizada para el control de cucarachas, termitas, moscas y mosquitos, son insecticidas capaces de generar cambios fisiológicos y en el comportamiento en el pez cíclido crómido naranja y en la tilapia, tales como pérdida de equilibrio, disminución de la velocidad del nado, hiperventilación y agresividad (Bijoy Nandan y Nimila, 2012; Farag et al., 2021; Yildirim et al., 2006).

Otro insecticida tóxico para la tilapia es el carbofurano, empleado para el control de plagas de cultivos, el cual le produce pérdida de la visión, disminuye su capacidad para cazar presas e incrementa su vulnerabilidad ante la depredación (Pessoa et al., 2011). La pendimetalina es un herbicida que se ha utilizado para el control de la maleza y que causa en la tilapia nado errático en la superficie y movimientos rápidos del opérculo, lo que provoca que con el tiempo estos peces se vuelvan más inactivos (El-Sayed et al., 2015).

En años recientes, el cuidado de la salud mental ha incrementado y, en consecuencia, el consumo de productos farmacológicos para tratar diversos padecimientos de este tipo. Por ejemplo, la fluoxetina es un medicamento empleado para contrarrestar los síntomas de la depresión y el metilfenidato es usado para atender el trastorno de déficit de atención. Ambos medicamentos tienen efectos negativos en peces cíclidos. El primero es capaz de reducir la ingesta de alimento en el pez cíclido acara (Dorelle et al., 2020), mientras que el segundo aumenta la agresividad y reduce la concentración de dopamina y serotonina en la tilapia (Batalhão et al., 2019), neurotransmisores que tienen funciones benéficas en la salud del sistema nervioso central de este pez.

Otros contaminantes, como el cianuro de sodio utilizado en la extracción de oro y plata; las nanopartículas de óxido de zinc empleadas en productos electrónicos, cosméticos, pinturas y el mercurio también han sido objeto de estudio sobre el efecto que causan en el comportamiento de peces cíclidos. El cianuro de sodio es capaz de aumentar el movimiento opercular en la tilapia y de provocarle nado irregular, pérdida del equilibrio y agresividad (Prashanth, 2012). Las nanopartículas de óxido de zinc acumuladas en el cuerpo de los peces provocan pérdida del apetito y modifican su comportamiento defensivo frente a la depredación (De Campos et al., 2019), y el mercurio es capaz de reducir el nado, pero también de aumentar la agresividad en la tilapia (Abu Zeid et al., 2021).

¿Hacia dónde vamos?

A pesar de que se han realizado varios esfuerzos para explorar los efectos de algunos contaminantes en el comportamiento de los peces cíclidos, aún se carece de información sobre otros grupos importantes de este tipo de agentes, como los productos de combustión de las gasolinas, diésel y leñas, así como de los metales pesados, cuya presencia abunda en los ambientes acuáticos.

Adicionalmente, es necesario conocer los efectos tóxicos de otros contaminantes emergentes en el comportamiento de los peces cíclidos, tales como productos farmacológicos, incluyendo analgésicos y estatinas; de cuidado personal, agentes plastificantes y retardantes de flama e incluso en mezclas complejas como ocurre en el ambiente. Aunque abundan los estudios sobre la tilapia, pez de interés comercial, es indispensable conocer los efectos de los contaminantes en el comportamiento de los peces cíclidos nativos con reducida distribución geográfica, que forman parte del patrimonio de nuestro país. La mojarra mexicana está siendo estudiada en estos aspectos.

Actualmente, se evalúa el efecto del plomo —un metal pesado con presencia en la cuenca del río Balsas— en la agresividad de dicha especie y en la del cíclido convicto, una especie invasora de dicha cuenca. Se espera que este contaminante influya en el tiempo que le lleva a estas especies ganar un combate por recursos esenciales para su biología, como alimento y refugio. Este tipo de análisis es crucial para el manejo y la conservación de las poblaciones de la mojarra mexicana.

Referencias

Abu Zeid, E. H., Khalifa, B. A., Said, E. N., Arisha, A. H. y Reda, R. M. (2021). Neurobehavioral and immune-toxic impairments induced by organic methyl mercury dietary exposure in Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. *Aquatic Toxicology*, 230. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2020.105702>

- Batalhão, I. G., Lima, D., Russi, A. P. M., Boscolo, C. N. P., Silva, D. G. H., Pereira, T. S. B., Bainy, A. C. D. y De Almeida, E. A. (2019). Effects of methylphenidate on the aggressive behavior, serotonin and dopamine levels, and dopamine-related gene transcription in brain of male Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Fish Physiology Biochemistry*, 45, 1377-1391. <https://doi.org/10.1007/s10695-019-00645-2>
- Bijoy Nandan, S. y Nimila, P. J. (2012). Lindane toxicity: histopathological, behavioural and biochemical changes in *Etroplus maculatus* (Bloch, 1795). *Marine Environmental Research*, 76, 63-70. [10.1016/j.marenvres.2011.10.011](https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2011.10.011)
- De Campos, R. P., Chagas, T. Q., da Silva Alvarez, T. G., Mesak, C., de Andrade Vieira, J. E., Chaves Paixão, C. F., de Lima Rodrigues, A. S., de Menezes, I. P. P. y Malafaia, G. (2019). Analysis of ZnO nanoparticle-induced changes in *Oreochromis niloticus* behavior as toxicity endpoint. *Science of the Total Environment*, 682, 561-571. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.183>
- De la Torre Zavala, A. M., Arce, E., Luna-Figueroa, J. y Córdoba-Aguilar, A. (2018). Native fish, *Cichlasoma istlanum*, hide for longer, move and eat less in the presence of a non-native fish, *Amatitlania nigrofasciata*. *Environmental Biology of Fishes*, 101, 1077-1082. <https://doi.org/10.1007/s10641-018-0761-z>
- Dorelle, L. S., Da Cuña, R. H., Sganga, D. E., Rey Vázquez, G., López Greco, L. y Lo Nostro, F. L. (2020). Fluoxetine exposure disrupts food intake and energy storage in the cichlid fish *Cichlasoma dimerus* (Teleostei, Cichliformes). *Chemosphere*. 238. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124609>
- El-Sayed, Y. S., Samak, D. H., Abou-Ghanema, I. Y. y Soliman, M. K. (2015). Physiological and oxidative stress biomarkers in the freshwater monosex Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* L., exposed to pendimethalin-based herbicide. *Environ Toxicol*, 30(4), 430-438. <https://doi.org/10.1002/tox.21919>
- Farag, M. R., Mahmoud, H. K., El-Sayed, S. A. A., Ahmed, S. Y. A., Alagawany, M. y Abou-Zeid, S. M. (2021). Neurobehavioral, physiological and inflammatory impairments in response to bifenthrin intoxication in *Oreochromis niloticus* fish: Role of dietary supplementation with *Petroselinum crispum* essential oil. *Aquat Toxicol*, 231. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2020.105715>
- Pessoa, P. C., Luchmann, K. H., Ribeiro, A. B., Veras, M. M., Correa, J. R. M. M., Nogueira, A. J., Bainy, A. C. D. y Carvalho, P. S. M. (2011). Cholinesterase inhibition and behavioral toxicity of carbofuran on *Oreochromis niloticus* early life stages. *Aquatic Toxicology*, 105(3-4), 312-320. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2011.06.020>
- Prashanth, M. S. (2012). Acute toxicity, behavioral and nitrogen metabolism changes of sodium cyanide affected on tissues of *Tilapia mossambica* (Peters). *Drug and Chemical Toxicology*, 35(2), 178-183. <https://doi.org/10.3109/01480545.2011.589608>

Yildirim, M. Z, Benli, A. C, Selvi, M., Ozkul, A., Erkoç, F. y Koçak, O. (2006). Acute toxicity, behavioral changes, and histopathological effects of deltamethrin on tissues (gills, liver, brain, spleen, kidney, muscle, skin) of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) fingerlings. *Environmental Toxicology*, 21(6), 614-620. <https://doi.org/10.1002/tox.20225>

ARTÍCULOS

El contexto necropolítico y las cifras del desplazamiento interno forzado en México

The necropolitical context and data on forced internal displacement in Mexico

Joel Ruiz Sánchez

ORCID: [0000-0002-2459-8452/joel.ruiz@uaem.mx](https://orcid.org/0000-0002-2459-8452/joel.ruiz@uaem.mx)

Facultad de Estudios Sociales (FES), Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM)

RESUMEN

Este artículo analiza, desde el concepto de necropolítica, la relación entre la violencia delictiva y el desplazamiento interno forzado en México durante un periodo en el que se incrementó la presencia de grupos de delincuencia organizada, que coincidió con la puesta en marcha de una estrategia de seguridad basada en el combate directo contra organizaciones criminales. Se examinan las dimensiones del desplazamiento interno forzado a partir de cifras reportadas por la Comisión Nacional de los Derechos Humanos (CNDH) y la Comisión Mexicana de Defensa y Promoción de los Derechos Humanos (CMDPDH). Se concluye que existe una invisibilización jurídica, política y social que no permite dimensionar la magnitud del problema ni posibilita la creación de instrumentos de política pública para atenderlo.

PALABRAS CLAVE

necropolítica, violencia, guerra contra el narcotráfico, delincuencia organizada, desplazamiento forzado

ABSTRACT

This article analyzes, from the concept of necropolitics, the relationship between criminal violence and forced internal displacement in Mexico during a period in which the presence of organized crime groups increased, coinciding with the implementation of a security strategy based on in the direct combat of criminal organizations. The dimensions of forced internal displacement are examined based on figures reported by the National Human Rights Commission (CNDH) and the Mexican Commission for the Defense and Promotion of Human Rights (CMDPDH). It is concluded that there is a legal, political and social invisibility that has not allowed to measure the magnitude of the problem nor has it made possible the creation of public policy instruments to address it.

KEY WORDS

necropolitical, violence, war on drugs, organized crime, forced displacement

Introducción

El desplazamiento interno forzado a consecuencia de la violencia delictiva que ha imperado en México en los últimos años se ha convertido en uno de los principales problemas que enfrenta el país en la actualidad. La lucha contra el narcotráfico emprendida en un inicio por Felipe Calderón a partir de 2007 y extendida después por Enrique Peña Nieto sumergió al país en un baño de sangre que aún continúa. Las consecuencias de esta especie de guerra civil se han sentido en todas las esferas de la vida pública de México y han impactado de forma negativa en lo político, lo económico y lo social.

El desplazamiento interno forzado es una de las consecuencias más dolorosas que ha generado este conflicto, pues, desde sus inicios, una gran cantidad de personas se han visto obligadas a abandonar sus lugares de origen y residencia por haber experimentado en carne propia los efectos de esa lucha, ya sea en forma directa o indirecta. A pesar de la magnitud del fenómeno, existe una incipiente documentación sobre éste, fundamentalmente porque se le asocia con la migración económica. Los datos que hoy tenemos han sido recabados por agencias e instituciones internacionales, así como por organismos protectores de los derechos humanos.

El presente artículo inicia con la disección de algunas categorías que vertebran la discusión, como el concepto de *necropolítica*, propuesto inicialmente por Achille Mbembe (2011), y la categoría de desplazamiento forzado interno. En segundo término se centra en la contextualización de las situaciones de violencia que han detonado el desplazamiento interno forzado. A partir de ello, se examinan las cifras reportadas por diversas instancias interesadas en documentar, aunque de forma parcial, esta realidad. Con base en ese análisis, se puede concluir que existe un desinterés gubernamental que propicia una suerte de invisibilización jurídica, política y social que no permite apreciar la complejidad del fenómeno y sus reales implicaciones. Lo anterior imposibilita la creación de instrumentos jurídicos y políticas públicas que atiendan de manera integral a todas las personas desplazadas por la violencia criminal. Esto permite establecer que el Estado es parte de las prácticas necropolíticas que han venido agudizando el desplazamiento interno forzado en México durante los últimos años.

La necropolítica como categoría de análisis del desplazamiento interno forzado

Para entender el concepto de necropolítica es necesario contraponerlo a otra categoría muy importante en el contexto de las discusiones teóricas sobre el poder, la vida y la muerte (Barrios y Sánchez Carballo, 2020). Nos referimos al concepto de *biopolítica*, formulado por el filósofo francés Michel Foucault, mediante el cual expuso las formas en las que el Estado moderno gestiona y disciplina las formas de vivir en la sociedad moderna. Es decir, se trata de una política que, en palabras de Estévez (2018a), se centra en la regulación de la población como cuerpo político y no como cuerpo individual.

En este sentido, la propia Estévez (2018a) nos dice, por el contrario, que el término *necropolítica*:

se refiere al *poder de dar muerte* con tecnologías de explotación y destrucción de cuerpos tales como la masacre, el feminicidio, la ejecución, la esclavitud, el comercio sexual y la desaparición forzada, así como los dispositivos legal-administrativos que ordenan y sistematizan los efectos o las causas de las políticas de muerte (p. 10).

Al respecto, Barrios y Sánchez Carballo (2020) plantean que con las prácticas del necropoder el Estado decide qué sectores de la población merecen vivir y cuáles no. En este sentido, Estévez y Vázquez (2019) se basan en Valencia (2010) para afirmar que los cuerpos se convierten en una mercancía, y su cuidado, conservación, libertad e integridad son productos relacionados (p. 82).

Para Valencia, según refieren Estévez y Vázquez (2019), los grupos que forman parte del crimen organizado en México y que configuran una parte de la necropolítica:

ejercen un poder de opresión análogo al del Estado y se han convertido en un estado paralelo que reconfigura la biopolítica y utiliza técnicas que Valencia denomina necroprácticas — acciones radicales dirigidas a infligir dolor, sufrimiento y muerte—. Al igual que el Estado legítimo, su contraparte criminal pretende tener el control sobre el territorio, la seguridad y la población, es decir, de gobernar a través de la explotación de los recursos nacionales y las personas y de la venta de seguridad privada. Controlan los cuerpos de hombres y mujeres, haciéndolos mercancías de intercambio o consumidores de los bienes ofertados en el narcomercado (p. 84).

Así, el término necropolítica nos sirve para ilustrar el fenómeno de la violencia del narcotráfico como un espacio en el que a la vida se le da un valor superfluo; un espacio en el que la vida se transforma en una mercancía que se puede subastar por los poderes oscuros que detentan los grupos del crimen organizado en México. En esta tesitura, Mbembe (2011, p. 75) lo ilustra diciendo que la política de la muerte y el poder de la muerte subrayan “la creación de mundos de muerte, formas únicas y nuevas de existencia social en la que numerosas poblaciones se ven sometidas a condiciones de existencia que les confieren el estatus de muertos-vivientes”. Es evidente que en las muchas regiones de México donde han proliferado grupos de la delincuencia organizada dedicados al tráfico y comercialización de drogas, al secuestro, al cobro de piso y la extorsión, se han creado las condiciones idóneas para configurar un escenario de violencia e inseguridad pública que permite identificar un conjunto de hechos que, sin duda, pueden ser catalogados como parte constitutiva de una

necropolítica. La gestión de la vida y la muerte por parte de estos grupos delictivos se ha convertido en una práctica cotidiana en vastas zonas del país.

Asimismo, la participación del Estado mexicano es otro factor que abona a la aparición de este contexto en el que predomina una especie de necropoder. El combate frontal de la delincuencia organizada ha exacerbado las pugnas y rivalidades entre los distintos carteles dedicados a diversas actividades delictivas. A ello habría que agregar las erráticas estrategias de seguridad pública puestas en marcha por el gobierno mexicano en los últimos sexenios, que no han logrado terminar con el clima de violencia e inseguridad que prevalece en casi todo el país. En este sentido, un Estado que no cumple con su función de brindar seguridad a los ciudadanos o que abandona a sectores importantes de población —al no proporcionarles mecanismos de protección— contribuye, por acción u omisión, a esta política de muerte.

Es así que el desplazamiento interno forzado puede considerarse como una de las consecuencias de la violencia que impera en casi toda la geografía de México. Los desplazados son personas que, además de experimentar este clima de horror, de sufrir amenazas y persecución, son invisibilizadas, borradas del mapa, ya que este tipo de movilidad, por su propia naturaleza, no es reconocida ni contabilizada por las instancias gubernamentales; y si existe este reconocimiento es parcial, lo que se traduce en una ausencia de instrumentos de política pública que permitan la gestión del problema. Este tipo de omisiones propicia que el Estado se vuelva cómplice, que participe y se convierta en gestor de las políticas de muerte que imperan en su territorio.

Como categoría de análisis, la necropolítica es muy útil porque permite, en lo general, dar cuenta de las vicisitudes y de las múltiples y variadas caras de la violencia criminal en el contexto mexicano y, en lo particular, de uno de los fenómenos que de ello se derivan: el *desplazamiento interno forzado*. La categoría en cuestión permite observar y analizar el contexto en el que surge este problema, así como las especificidades de uno de los fenómenos más relevantes, pero de poco o nulo reconocimiento público en el México actual.

Breve panorama de la violencia criminal en el México contemporáneo

Hablar de la violencia en el contexto mexicano contemporáneo no es algo sencillo, pues cuando se emplean los términos de delincuencia común, crimen organizado y organizaciones criminales entramos a un terreno por demás complejo, ya que el conjunto de actividades que abarca es diverso. Como lo ha sostenido Bailey (2014), el crimen es un tipo de conducta que se lleva a cabo por “comisión u omisión que viola las leyes formales establecidas en la esfera gubernamental” (p. 124). La criminalidad como tal y los tipos de comportamientos que se derivan de ésta son, por supuesto, una construcción social; sin embargo, hay que plantear algunas distinciones en este sentido.

Asimismo, Bailey (2014) explica que la delincuencia organizada se diferencia de la común por dos factores fundamentales: el tiempo y las cifras. El primer aspecto tiene que ver con el tipo de actividades, las cuales requieren de una planeación precisa y de la participación de muchos agentes. En este tenor, la noción de delincuencia organizada da cuenta de la confluencia de muchos grupos criminales, varios de ellos con jerarquías delimitadas, rígidas y piramidales, en los que se asume un compromiso y lealtad a largo plazo; aunque también existen organizaciones más flexibles y sin jerarquías visibles. La otra característica que permite establecer dicha diferencia tiene que ver con las dimensiones económicas de las actividades que llevan a cabo las organizaciones delincuenciales, lo que algunos estudiosos del tema (Bailey, 2014; Gledhill, 2017; Monreal, 2016) han denominado *economía del delito* o *economías ilegales*, que mueven cientos de millones de dólares al año en el circuito económico internacional.

Debido a lo anterior, la violencia como fenómeno social se ha convertido, desafortunadamente, en una de las manifestaciones más problemáticas y peligrosas en México en los últimos años. En sus diferentes expresiones, ya sea en forma de delincuencia organizada o común, ha provocado una ola de efectos de magnitudes insospechadas en los ámbitos económico, político y social. Esta violencia tiene las características de lo que Kaldor (2012) ha definido como *las nuevas guerras*; a diferencia de las antiguas, en las que participaban Estados en conflictos beligerantes, ahora tienen la característica de que intervienen grupos privados, como los criminales y paramilitares que participan en la economía del delito, y cuyas conexiones van de lo local a lo global.

En una línea de pensamiento semejante, Schedler (2015) sugiere que este tipo de lucha o confrontación entre el Estado y las organizaciones delictivas asume la forma de una guerra civil, pues en esencia lo que ocurre es un tipo de confrontación entre grupos dentro de un mismo territorio. El autor denomina a este proceso *democracia en guerra civil económica*, pues el interés fundamental es de carácter económico, razón por la que ésta queda desprovista de una agenda ideológica y política que otorgue mayor sustento a las estrategias de combate al crimen organizado en todo el territorio.

Ya pasaron quince años desde que el entonces presidente Felipe Calderón declarara la guerra a los grupos del crimen organizado por medio del despliegue de las fuerzas federales, incluidos el Ejército y la Marina. Esta estrategia de seguridad recibió múltiples críticas, principalmente por el hecho de que no se fundamentó con un diagnóstico preciso y riguroso acerca de las características y magnitud del fenómeno. A su vez, como sostiene Pereyra (2012), no se tomó en cuenta que las formas tradicionales de regulación del mercado de las drogas fueron modificándose desde los años noventa; ello supuso cambios importantes en la relación que históricamente habían mantenido dichos grupos con los gobiernos en turno,

pues se rompieron viejos pactos y acuerdos que soportaban el aparente clima de tranquilidad que prevaleció durante esos años.

Dicha estrategia supuso graves riesgos. El más visible fue lanzar a las fuerzas armadas a combatir a un enemigo del cual no se tenía una comprensión verídica. Estas acciones no fueron precedidas de un diagnóstico que permitiera detectar lo dispersos que estaban los grupos delictivos por casi toda la geografía del país y, sobre todo, que había una cierta conexión *de facto* con sectores de la sociedad civil y autoridades de los diferentes niveles de gobierno, lo que hacía más difícil la operación de la estrategia de seguridad.

Del mismo modo, el tipo de estrategia y las acciones concretas de combate dieron origen a una guerra sucia con carácter extrajudicial que a su vez dio pie a la tortura y la desaparición forzada, llevada a cabo en muchas ocasiones contra personas inocentes sin relación con el crimen organizado. En este contexto, la violación a los derechos humanos por parte de los diferentes cuerpos de seguridad y las fuerzas armadas fue una constante. Estas consecuencias indeseadas fueron calificadas por Calderón como “daños colaterales”.

Otra de las consecuencias de esta violencia es que las actividades tradicionales a las que se dedicaba la mayoría de las organizaciones criminales (trasiego y comercialización de drogas) dejaron de ser las únicas, pues se comenzaron a diversificar y se sumaron el secuestro, la extorsión, trata de personas, ordeña de ductos y el robo a transporte de carga, entre otras. Lo que vino después fue la agudización del conflicto, pues se militarizó el país y las diversas manifestaciones de violencia se incrementaron, dando origen a una escalada de muertes que, en términos de Mbembe (2011), puede ser catalogada como una necropolítica, pues propició la muerte de muchos inocentes, así como desapariciones forzadas y fabricación de culpables por parte del Estado mexicano.

Al expandirse el rango de acción de los grupos delictivos, en muchas regiones de México se comenzaron a experimentar los efectos. Se pusieron a la orden del día todas y cada una de las nuevas actividades emprendidas por estos grupos. En este sentido, una de las consecuencias más evidentes de esta violencia criminal en México es el resquebrajamiento del tejido social, que se manifiesta a través del miedo, la desconfianza y la delirante paranoia social que ha prevalecido a lo largo y ancho del país en la última década. Como sostiene Atuesta (2018), las consecuencias negativas que tuvo esta lucha a partir de la militarización del país han sido mayores que los beneficios, pues sus resultados son bastante pobres hasta la fecha.

Ante este escenario, sectores importantes de la población comenzaron a sentir sus efectos directos, como la internalización del miedo y el temor, aspectos que configuraron el imaginario social sobre la delincuencia organizada. Estos nuevos procesos han ocasionado con el paso del tiempo un nuevo fenómeno: el desplazamiento forzado interno a causa de la

violencia del crimen organizado, sobre todo en aquellas regiones con presencia más intensa de los grupos delincuenciales y del crimen organizado.

Las cifras del desplazamiento interno forzado en México, 2016-2019

En la última década, México ha venido experimentando una incontrolable violencia a causa de la actuación y el combate al crimen organizado en la mayor parte de su territorio. Esto ha orillado a miles de personas a abandonar sus lugares de residencia, como consecuencia de haber experimentado los efectos negativos de dicho fenómeno, por ejemplo, secuestro, extorsión, amenazas, entre otros delitos. A lo largo de la geografía del país son innumerables los casos de desplazamiento forzado que se observan desde la puesta en marcha de la estrategia de seguridad pública implementada por el expresidente Felipe Calderón en 2007.

De acuerdo con la Comisión Nacional de los Derechos Humanos (CNDH, 2016), se estimó que en el año 2016 había 150 000 desplazados forzados de manera interna en el país, la gran mayoría a causa de la violencia criminal que se padece desde el 2007. Por otra parte, las cifras recabadas por la Comisión Mexicana de Defensa y Promoción de los Derechos Humanos (CMDPDH, 2017) revelan que 22 572 personas se desplazaron a otras regiones del territorio nacional durante 2016. Las entidades federativas en las que sucedieron estos eventos fueron 12. En total, ocurrieron 29 eventos de desplazamiento forzado masivo en dicho año, que afectaron principalmente a mujeres, niños y ancianos (tabla 1).

Tabla 1
Eventos de desplazamiento interno forzado en México, 2016

Estado	Número de eventos	Personas	Municipios
Chiapas	4	1117	3
Chihuahua	3	4747	2
Guerrero	7	1650	3
Michoacán	1	10 000	2
Sinaloa	6	4208	1
Oaxaca	2	850	2
Total	23	22 572	13

Fuente: Elaboración propia con datos de la CMDPDH sobre el desplazamiento interno forzado en México.

Como podría esperarse, los estados con una mayor cantidad de migrantes forzados son aquellos con mayor presencia histórica de organizaciones del crimen organizado, es decir, que se remonta a varios años atrás. Entre ellos sobresalen Sinaloa y Michoacán, que en conjunto suman 14 208 casos, concentrados en municipios donde se ha reportado mayor presencia de

grupos de la delincuencia organizada; además, surgieron autodefensas comunitarias que partían de la idea de combatir a estos grupos más allá de los márgenes institucionales formales.

Para el año 2017, los datos nos hablan de una realidad escalofriante, pues el conteo llevado a cabo por la propia CMDPDH (2017), que fue presentado ese mismo año, estimó que 329 917 personas habían dejado su lugar de residencia para escapar de las amenazas de las bandas criminales. Asimismo, presenta los datos desglosados, en los que se aprecia que fueron 20 390 casos de desplazamiento forzado interno en el país.

Se destaca de nuevo que sólo tres estados concentran el 73.59% de los desplazamientos forzados internos en el país: Chiapas, Guerrero y Sinaloa, donde ocurrieron 15 005 casos. La situación de Chiapas es representativa, pues si bien es cierto que no ha escapado a la presencia y actuación del crimen organizado en los últimos años, los desplazamientos han sido ocasionados en su gran mayoría por conflictos étnicos, sociales y territoriales entre distintos grupos. En los demás casos, la CMDPDH (2017) documentó que los eventos de desplazamiento fueron causados por ataques armados a la población civil, enfrentamientos armados entre grupos delincuenciales rivales o por proyectos de desarrollo, específicamente en el ámbito de la minería (tabla 2).

Tabla 2
Desglose del desplazamiento interno forzado en México, 2017

Estado	Número de eventos	Personas	Municipios
Chiapas	3	6090	4
Chihuahua	3	693	2
Coahuila	1	47	1
Durango	1	365	2
Guerrero	7	5948	7
Michoacán	2	1350	2
Oaxaca	3	2700	3
Sinaloa	5	2967	5
Zacatecas	1	230	1
Total	25	20 390	27

Fuente: Elaboración propia con datos de la CMDPDH sobre el desplazamiento interno forzado en México.

Por otro lado, respecto a las cifras del año 2018, el informe de la CMDPDH (2018) destaca que se presentaron 25 eventos masivos de desplazamiento forzado interno producto de los elevados niveles de violencia en territorio mexicano.

Como resultado de lo anterior, fueron afectadas 11 491 personas en distintos estados del país. En la mayoría de los casos (20 eventos), los desplazamientos estuvieron asociados a hechos relacionados con la delincuencia, es decir, la actuación de grupos armados pertenecientes a bandas del narcotráfico y el crimen organizado. Los cinco casos restantes fueron por violencia política, conflictos sociales y territoriales. Como se observa, se repite la tendencia de años anteriores respecto a los estados en los que ocurren estos episodios, que son aquellos en los que hay mayor presencia histórica de grupos delictivos. Aunque en el citado informe se reporta una disminución del número de personas afectadas, lo cierto es que la tendencia sigue al alza, pues es indudable que hay cifras que no pueden documentarse debido a que se trata de un desplazamiento que también se desarrolla de forma individual o en grupos muy pequeños, es decir, gota a gota, como ya se ha mencionado.

Por otro lado, el desglose del desplazamiento interno forzado en el año 2018 permite establecer que las cifras no son muy distintas a las de años anteriores. Aunque hubo una ligera disminución, ésta no es muy significativa (tabla 3).

Tabla 3
Desglose del desplazamiento interno forzado en México, 2018

Estado	Número de eventos	Personas	Municipios
Guerrero	13	5056	8
Chiapas	4	5035	4
Sinaloa	6	860	4
Oaxaca	1	300	1
Michoacán	3	240	3
Total	25 ¹	11 491	20

Fuente: Elaboración propia con datos de la CMDPDH sobre el desplazamiento interno forzado en México.

Conclusiones

La política de muerte que prevalece en el país, en la que están involucrados grupos de la delincuencia organizada, pero también autoridades en sus distintos niveles y jerarquías, ha condenado a miles de personas a la desprotección, al destierro; a convertirse en desechos, en individuos invisibles porque se les niega el derecho más primario y elemental: el derecho a la vida, porque el Estado parece haber renunciado a cumplir con la obligación de brindarles seguridad y garantías para la conservación de ésta.

¹ "Dos de los 25 episodios registrados describen sucesos en los que las personas se desplazaron de localidades pertenecientes a los estados de Guerrero y Michoacán, de manera que fueron incluidos en el conteo de episodios de ambos estados. De esta forma, aunque en la tabla la suma total de la columna de número de episodios por estado sea de 27, para el registro final se mantiene que el número total de episodios ocurridos en 2018 es de 25" (CMDPDH, 2018, p. 133, nota 4).

Así, la prevalencia de una suerte de necropolítica en México ha propiciado el desplazamiento forzado interno, una de sus consecuencias más graves y dramáticas. Esto genera múltiples consecuencias negativas, como la fragmentación del tejido social y de la familia, el deterioro de la calidad de vida de los desplazados, la pérdida de seres queridos, el desarraigo y la pérdida de la identidad. Los costos que genera el desplazamiento terminan siendo muy altos, pues los desplazados y sus familiares están expuestos a un sinnúmero de situaciones que van erosionando paulatinamente su bienestar físico y emocional.

Ante este tipo de circunstancias, los desplazados quedan en total indefensión y en una condición de vulnerabilidad extrema, pues en el país no existen mecanismos de protección que les brinden una atención integral. Como ya se vio, hay muchos vacíos legales y políticos que provocan que este fenómeno sea invisible a los ojos de autoridades e instituciones. Se requiere, por lo tanto, del compromiso decidido del gobierno para asumir su responsabilidad y reconocer la magnitud del problema. Al hacerlo, sentaría las bases para el diseño de políticas públicas que atiendan de manera puntual y eficiente dicha situación.

En meses recientes se ha avanzado en esta dirección con las reformas al Código Penal Federal, aprobadas por la Cámara de Diputados de México, en las que se tipificó el desplazamiento interno forzado como un delito. Se establecieron de seis a doce años de prisión a quien, de forma individual o colectiva y mediante violencia realizada contra una persona o grupo de personas, ocasione que abandonen su lugar de residencia. Sin embargo, estas medidas son insuficientes, pues no ponen el acento, por un lado, en la atención primaria, es decir, en las causas que generan el desplazamiento forzado, y, por otro, en las consecuencias negativas que esto origina en los desplazados. La invisibilización no es sólo jurídica, sino también social y política. Mientras no se diseñen instrumentos complementarios que den pie a la atención integral del problema, no podrán visibilizarse sus verdaderas dimensiones e implicaciones. Ésta es la gran deuda que tiene el Estado mexicano con una buena parte de sus ciudadanos, pues la simple penalización no resuelve el problema.

Referencias

- Atuesta, L. (2018). Militarización de la lucha contra el narcotráfico: Los operativos militares como estrategia para el combate del crimen organizado. En L. Atuesta y A. Madrazo Lajous (Eds.), *Las violencias. En busca de la política pública detrás de la guerra contra las drogas*. CIDE.
- Bailey, J. (2014). *Crimen e impunidad. Las trampas de la seguridad en México*. Debate.
- Barrios de la O, M. I. y Sánchez Carballo, A. (2020). Las trampas del necropoder. Desplazamiento interno forzado de michoacanos solicitantes de asilo político en Ciudad Juárez (2019). En J. Cajas, J. C. Bermúdez Rodríguez y J. Ruiz Sánchez (Coords.), *La complejidad de las*

violencias: saberes, actores y escenarios. Itaca-Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

- Comisión Nacional de los Derechos Humanos (2016). *Informe especial sobre desplazamiento forzado interno*. http://appweb.cndh.org.mx/biblioteca/archivos/pdfs/lib_Inf_esp_dfi_mexico.pdf
- Comisión Mexicana de Defensa y Promoción de los Derechos Humanos (2017). *Episodios de desplazamiento interno forzado masivo en México. Informe 2017*. <https://cmdpdh.org/temas/desplazamiento-interno-forzado-cifras-2017>
- Comisión Mexicana de Defensa y Promoción de los Derechos Humanos (2018). *Episodios de desplazamiento interno forzado masivo en México. Informe 2018*. <https://cmdpdh.org/desplazamiento-interno-forzado-en-mexico-cifras-2018>
- Estévez, A. (2018a). Biopolítica y necropolítica: ¿constitutivos u opuestos? *Espiral. Estudios sobre Estado y Sociedad*, xxv(73), 9-43. <http://www.scielo.org.mx/pdf/espiral/v25n73/1665-0565-espiral-25-73-9.pdf>
- Estévez, A. (2018b). El dispositivo necropolítico de producción y administración de la migración forzada en la frontera Estados Unidos-México. *Estudios Fronterizos*, 19, 1-18. https://ref.uabc.mx/ojs/index.php/ref/article/view/679/1396?lan=es_es
- Estévez, A. y Vázquez, D. (2019). *Los derechos humanos en las ciencias sociales. Una perspectiva multidisciplinaria*. Flacso-UNAM-Cisan.
- Gledhill, J. (2017). *La cara oculta de la inseguridad en México*. Paidós.
- Kaldor, M. (2012). *New and old wars. Organised violence in a global era* (3ª ed.). Stanford University Press.
- Mbembe, A. (2011). *Necropolítica*. Melusina.
- Monreal Ávila, R. (2016). *La economía del delito*. L. D. Books.
- Pereyra, G. (2012). México: Violencia criminal y guerra contra el narcotráfico. *Revista Mexicana de Sociología*, 74(3), 429-460. <http://www.scielo.org.mx/pdf/rms/v74n3/v74n3a3.pdf>
- Schedler, A. (2015). En la niebla de la guerra. Los ciudadanos ante la violencia criminal organizada. *Estudios Sociológicos*, 35(104), 284.
- Valencia, S. (2010). *Capitalismo gore*. Melusina.
- Valencia, S. (2012). Capitalismo gore y necropolítica en México contemporáneo. *Relaciones Internacionales*, 19, 83-102. <https://revistas.uam.es/relacionesinternacionales/article/view/5115>

ARTÍCULOS

Síndrome de *burnout*, actividad física y alimentación

Burnout syndrome, physical activity and nutrition

María Araceli Ortiz Rodríguez

ORCID: 0000-0003-0847-0261/araceli.ortiz@uaem.mx

Facultad de Nutrición, Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM)

Paola Kattyana Antúnez Bautista

ORCID: 0000-0002-0170-7783/paola.antunez@uaem.edu.mx

Facultad de Nutrición, Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM)

Alma Janeth Moreno Aguirre

ORCID: 0000-0001-9076-5987/alma.moreno@uaem.mx

Facultad de Comunicación Humana, Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM)

RESUMEN

El síndrome de *burnout*, que en español es conocido como síndrome de “quemarse” por el trabajo, fue definido por primera vez por Freudenberger (1974), quien lo describió como la relación del agotamiento y desgaste causado por un exceso de fuerza o demandas de energía; esta situación ocurre cuando un trabajador se “quema” (agota) y fracasa en su deseo por alcanzar sus metas laborales. Podemos entender que el síndrome de *burnout* afecta de manera física y mental. Sin embargo, desde una perspectiva psicosocial, Maslach y Jackson, en 1979, extendieron con mayor profundidad este concepto y definieron el *burnout* como un síndrome de escasa realización profesional, agotamiento emocional y despersonalización que puede darse entre individuos que trabajan con personas de forma directa o indirecta.

PALABRAS CLAVE

síndrome de *burnout*, actividad física, alimentación, salud mental, agotamiento emocional

ABSTRACT

The burnout syndrome was first defined by Freudenberger (1974), who described it as “the relationship between exhaustion and wear caused by excessive force or energy demands. This situation occurs with a worker, who “burns out” (wears out) and fails in his desire to achieve his work goals. We can understand that burnout syndrome affects physically and mentally.” However, from a psychosocial perspective, Maslach and Jackson, in 1979, extended this concept in greater depth. They defined burnout as a syndrome of poor professional performance, emotional exhaustion and depersonalization, which can occur among individuals who work with people directly or indirectly.

KEY WORDS

burnout syndrome, physical activity, diet, mental health, emotional exhaustion

Definición del síndrome de *burnout*

El síndrome de *burnout* (SB), conocido en español como el síndrome de “quemarse” por el trabajo, parte del concepto acuñado por Freudenberg (1974), quien lo describió como la relación del agotamiento y desgaste causado por un exceso de fuerza y demanda de energía; esta situación ocurre cuando un trabajador se “quema” (agota) y fracasa en su deseo por alcanzar sus metas laborales. Sin embargo, desde una perspectiva psicosocial, Maslach y Jackson, en 1979 profundizaron en este concepto y definieron el *burnout* como un síndrome de escasa realización profesional, agotamiento emocional y despersonalización, que puede darse entre individuos que trabajan con personas de forma directa o indirecta y que afecta de manera física y mental (Rodríguez et al., 2017). Esta definición es muy valiosa debido a que haremos uso de ella para relacionarla con ciertos factores de interés.

La salud mental en manos del síndrome de burnout

Es importante conocer la forma específica en que se expresa este síndrome. De acuerdo con su grado de desarrollo, sus manifestaciones se pueden clasificar en leves (quejas mínimas, dificultad para levantarse en la mañana), moderadas (aislamiento, cinismo, negativismo), graves (lentitud, automedicación, absentismo, abuso de drogas lícitas e ilícitas) y extremas (aislamiento muy marcado, colapso, cuadros psiquiátricos, suicidios) (Seguel y Valenzuela, 2014).

La salud física en manos del síndrome de burnout

Como se dijo anteriormente, no solamente existen síntomas mentales, sino también hay manifestaciones físicas, las cuales se centran en los siguientes síntomas: fatiga; alteraciones del sueño; dolores de cabeza, de garganta y musculares; problemas gastrointestinales, desórdenes alimenticios, entre otros. Y esto puede ocasionar todo tipo de enfermedades crónicas no transmisibles, como afecciones cardiovasculares y respiratorias, diabetes y cáncer.

Este síndrome afecta la salud física de los trabajadores, pero repercute también en las personas que los rodean: familia, amigos, compañeros de trabajo, clientes (Rodríguez et al., 2017). Ligado a esto existen factores psicosociales que causan la evolución de los síntomas mentales y físicos, que son las condiciones del lugar de trabajo, la carga física y mental de éste, así como su contenido y sus características (Bakker et al., 2014).

Detección y autoevaluación mediante un instrumento

En este contexto, resulta prioritario detectar y evaluar a las personas con riesgo de padecer el SB. Por ello, en 1996, Maslach y Jackson crearon el test Maslach Burnout Inventory (MBI). Los autores utilizaron su definición y crearon tres dimensiones: 1) la realización personal en el trabajo, que aparece como una inclinación a evaluarse negativamente en relación con su labor y su persona; 2) el agotamiento emocional, que hace referencia a un agotamiento de

energía y de recursos personales emocionales como consecuencia de la carga emocional que implica enfrentarse a las demás personas; y 3) la despersonalización o cinismo, que hace referencia a todas las actitudes y sentimientos negativos hacia otros, como el maltrato o el trato inhumano; se puede interpretar como la pérdida de la personalidad (Juárez-García et al., 2014; Rodríguez et al., 2017).

El SB en la docencia

Este síndrome es común en docentes. Estudios realizados en esta área de trabajo presentan diversos puntos, como que el SB se asocia al género y que son las mujeres las que lo padecen con mayor frecuencia (Bedoya et al., 2017). Por ejemplo, en 2016, en la Universidad Autónoma del Estado de Morelos se llevó a cabo un estudio de caso en el que participaron 58 trabajadores de la Facultad de Comunicación Humana; la mayoría fueron mujeres (80%), a quienes se les aplicó el test MBI. Los resultados arrojaron que el agotamiento emocional es más propenso en mujeres que en hombres (Padilla et al., 2016).

Cada dimensión revela diferentes resultados, pero hay dos dimensiones que se presentan en menor porcentaje: el agotamiento emocional y la despersonalización. Respecto a la dimensión de falta de realización personal, se hallaron resultados elevados asociados en gran medida a docentes que inician su actividad laboral. Aquí entendemos que a medida que el docente va adquiriendo experiencia, se adapta a su práctica laboral y busca estrategias didácticas que lo ayuden a tener menor agotamiento y a sentirse más realizado.

Las condiciones en las que trabaja y a las que se enfrenta el docente son grupos numerosos, nivel escolar, tipo de familia, contexto social, entre otros. Este problema afecta directamente la calidad educativa, al provocar menos interés en los alumnos, faltas a clases, bajo desempeño y actitudes negativas con respecto a sus compañeros de trabajo, lo que dificulta el buen funcionamiento de una institución educativa (Rodríguez et al., 2017).

Relación entre el SB y la actividad física

Para poder encontrar una relación o asociación entre ambos primero se recomienda realizar intervenciones de actividad física en personas que padecen este síndrome. A grandes rasgos, se ha observado que el beneficio potencial de la actividad física es la mejora de la percepción del dolor corporal y de la sensación de fatiga, además de que aumenta la capacidad de trabajo y la calidad de vida en general (Rodrigues Freitas et al., 2014).

En una revisión sistemática sobre la asociación de actividad física y SB se encontró que la actividad física disminuye fuertemente el agotamiento emocional, disminuye moderadamente la despersonalización y aumenta moderadamente el sentido de realización personal (Naczinski et al., 2017).

Si nos preguntamos cómo actuaría la actividad física como factor preventivo, podríamos responder que en un estudio se observó que las personas que realizaban actividad física cada mes o que nunca la realizaban presentaron tres veces más probabilidad de padecer SB en comparación con aquellas que realizaban actividad física a diario. Esto sugiere que mantenerse activo físicamente puede ayudar a prevenir el desarrollo de este síndrome (Metlaine et al., 2017).

Una intervención de actividad física tiene efectos positivos sobre los síntomas del *burnout*, es decir, se genera una recuperación en los sujetos que lo padecen, pero no al grado de normalizar las dimensiones, por lo cual la actividad física puede ser un coadyuvante para la mitigación del síndrome, pero es necesario controlar y cuidar los demás factores que interfieren en la mejoría completa del síndrome (Brand et al., 2020).

Riesgo de burnout por peso no saludable

Las personas que padecen sobrepeso u obesidad tienen más riesgo de presentar síntomas de depresión, mala salud, sedentarismo e incluso SB (Han et al., 2011). De forma más específica, si se tiene la condición de adiposidad abdominal elevada (grasa localizada en el abdomen), existe el riesgo de presentar más agotamiento emocional, más despersonalización y menos realización personal (Das Mercedes et al., 2016).

Las personas que perciben estar mejor realizadas profesionalmente son en su mayoría personas con un peso normal, en comparación con aquellas que presentan sobrepeso u obesidad. En cuestión del agotamiento emocional y la despersonalización, aumenta el riesgo de padecerlos conforme aumenta el peso (Ranchal y Vaquero, 2008). Pero recordemos que el peso no sería el único factor de riesgo para tener el SB.

Alimentación y burnout

La alimentación puede verse afectada en las personas con *burnout*, debido a que pueden ser más vulnerables a la alimentación emocional y descontrolada, e incluso se refleja una capacidad limitada para realizar cambios en su conducta alimentaria. Por lo tanto, se sugiere que primero se trate el síndrome y después se trabaje en la normalización de la conducta alimentaria, en caso de que esté alterada (Nevanperä et al., 2012).

Se recomienda realizar intervenciones psicológicas, nutricionales y de actividad física en los ambientes laborales para prevenir y tratar el SB, debido a que éstas pueden ayudar a implementar hábitos alimentarios adecuados, aumentar la aptitud física, mitigar los síntomas del *burnout* y mejorar el manejo de los aspectos cognitivos-conductuales, para que los trabajadores tengan las herramientas para afrontar de manera más adecuada situaciones estresantes (Ortega-Herrera et al., 2018).

Referencias

- Bakker, A. B., Demerouti, E. y Sanz-Vergel, A. I. (2014). Burnout and work engagement: The JD-R approach. *Annual Review of Organizational Psychology and Organizational Behavior*, 1, 389-411. <https://doi.org/10.1146/annurev-orgpsych-031413-091235>
- Bedoya, E. A., Vega, N. E., Severiche, C. A. y Meza, M. J. (2017). Síndrome de quemado (*burn-out*) en docentes universitarios: El caso de un centro de estudios del Caribe colombiano. *Formación Universitaria*, 10(6), 51-58. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50062017000600006>
- Brand, S., Ebner, K., Mikoteit, T., Lejri, I., Gerber, M., Beck, J., Holsboer-Trachsler, E. y Eckert, A. (2020). Influence of regular physical activity on mitochondrial activity and symptoms of burnout. An interventional pilot study. *Journal of Clinical Medicine*, 9(3), 667. <https://doi.org/10.3390/jcm9030667>
- Das Mercedes, M. C., Silva, D. S., Lua, I., Oliveira, D. S., Souza, M. C. D. y D'Oliveira Júnior, A. (2016). Burnout syndrome and abdominal adiposity among Primary Health Care nursing professionals. *Psicologia: Reflexão e Crítica*, 29. <https://doi.org/10.1186/s41155-016-0051-7>
- Freudenberger, H. J. (1974). Staff burn-out. *Journal of Social Issues*, 30(1), 159-165. <https://doi.org/10.1111/j.1540-4560.1974.tb00706.x>
- Han, K., Trinkoff, A. M., Storr, C. L. y Geiger-Brown, J. (2011). Job stress and work schedules in relation to nurse obesity. *JONA: The Journal of Nursing Administration*, 41(11), 488-495. <https://doi.org/10.1097/nna.0b013e3182346fff>
- Juárez-García, A., Idrovo, Á. J., Camacho-Ávila, A. y Placencia-Reyes, O. (2014). Síndrome de *burnout* en población mexicana: Una revisión sistemática. *Salud Mental*, 37(2), 159-176. <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumenl.cgi?idarticulo=49329>
- Metlaine, A., Sauvet, F., Gomez-Merino, D., Elbaz, M., Delafosse, J. Y., Leger, D. y Chennaoui, M. (2017). Association between insomnia symptoms, job strain and burnout syndrome: a cross-sectional survey of 1300 financial workers. *BMJ Open*, 7. <http://dx.doi.org/10.1136/bmjopen-2016-012816>
- Naczenski, L. M., De Vries, J. D., Van Hooff, M. L. M. y Kompier, M. A. J. (2017). Systematic review of the association between physical activity and burnout. *Journal of Occupational Health*, 59(6), 477-494. <https://doi.org/10.1539/joh.17-0050-ra>
- Nevanperä, N. J., Hopsu, L., Kuosma, E., Ukkola, O., Uitti, J. y Laitinen, J. H. (2012). Occupational burnout, eating behavior, and weight among working women. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 95(4), 934-943. <https://doi.org/10.3945/ajcn.111.014191>
- Ortega-Herrera, M. E., Herrera-Meza, S., Rosas-Nexticapa, M. y Fernández-Demeneghi, R. (2018). Síndrome de *burnout* y su relación con los hábitos alimentarios. En A. López-Espinoza, A. G. Martínez Moreno y V. G. Aguilera Cervantes (Coords.), *Investigaciones en comportamiento alimentario. Reflexiones, alcances y retos* (pp. 405-422). RIICAN.

- Padilla Castro, L., Moreno-Aguirre, A. J. y Guajardo Ramos, E. (2016). *Resiliencia vs. agotamiento emocional (efectos de la globalización)*. Acacia.
- Ranchal Sánchez, A. y Vaquero Abellán, M. (2008). *Burnout*, variables fisiológicas y antropométricas: un estudio en el profesorado. *Medicina y Seguridad del Trabajo*, 54(210), 47-55. http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=So465-546X2008000100007&lng=es&tlng=es
- Rodrigues Freitas, A., Carneseca, E. C., Paiva, C. E. y Ribeiro Paiva, B. S. (2014). Impact of a physical activity program on the anxiety, depression, occupational stress and burnout syndrome of nursing professionals. *Revista Latino-Americana de Enfermagem*, 22(2), 332-336. <https://doi.org/10.1590/0104-1169.3307.2420>
- Rodríguez Ramírez, J. A., Guevara Araiza, A. y Viramontes Anaya, E. (2017). Síndrome de *burnout* en docentes. IE *Revista de Investigación Educativa de la Rediech*, 8(14), 45-67. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2448-85502017000100045
- Seguel, F. y Valenzuela, S. (2014). Relación entre la fatiga laboral y el síndrome *burnout* en personal de enfermería de centros hospitalarios. *Enfermería Universitaria*, 11(4), 119-127. [https://doi.org/10.1016/S1665-7063\(14\)70923-6](https://doi.org/10.1016/S1665-7063(14)70923-6)

ARTÍCULOS

Percepción ambiental en estudiantes a través de dimensiones ecológicas

Environmental perception in students through ecological dimensions

Catalina Vargas Ramos

ORCID: [0000-0001-5001-1128/cathy_vargas@yahoo.com](https://orcid.org/0000-0001-5001-1128/cathy_vargas@yahoo.com)

Unidad Académica Multidisciplinaria (UAM)-Matamoros, Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT)

María Guadalupe Martínez Treviño

ORCID: [0000-0002-4746-3630/mgmtrevino@docentes.uat.edu.mx](https://orcid.org/0000-0002-4746-3630/mgmtrevino@docentes.uat.edu.mx)

Universidad de Monterrey (UEM)

RESUMEN

México enfrenta las consecuencias de la industrialización y la falta de conciencia de la población, por lo que el objetivo de esta investigación es conocer la percepción ambiental en estudiantes por medio de dimensiones ecológicas. El instrumento consta de 12 ítems en cinco dimensiones ecológicas; la sumatoria da los niveles de percepción ambiental; la muestra fue de 88 estudiantes. En los resultados se encontró un nivel de percepción ambiental alto (91%) en la dimensión crisis ecológica.

PALABRAS CLAVE

educación ambiental, sensibilización ambiental, dimensiones ecológicas, percepción ambiental, contaminación

ABSTRACT

Mexico faces the consequences of industrialization and the lack of awareness of the population, so the objective of this research is to know the environmental perception in students through ecological dimensions. The instrument consists of 12 items in five ecological dimensions, the sum gives the levels of environmental perception; the sample was 88 students. In the results, a high level of environmental perception was found (91%) in the ecological crisis dimension.

KEY WORDS

environmental education, environmental sensitization, ecological dimensions, environmental perception, pollution

Introducción

Actualmente, México es uno de los países que enfrentan las consecuencias del proceso vertiginoso de la industrialización y la tecnificación, lo que ha llevado a una crisis ambiental (Ramírez, 2015), la principal problemática de esta época. Esta crisis fue provocada por el consumo desmedido y acelerado de los recursos naturales, como el uso excesivo de los recursos fósiles para energía; de la gasolina, el gas y la materia prima para la construcción del plástico; por la deforestación excesiva y el depósito de residuos en bosques, que ocasionan incendios que dejan daños irreversibles, así como por la construcción en áreas verdes, escasez de agua, pérdida de biodiversidad, entre otras (Castro, 2014).

Es por ello que el deterioro ambiental se relaciona principalmente con actividades socioeconómicas (Zurrita et al., 2015) como el consumismo y la sobreexplotación irracional de los recursos, lo cual afecta al medio ambiente (Carabias, 1988). La posible solución es la educación ambiental, ya que por medio de ésta se implementan y generan políticas orientadas a minimizar este deterioro y, además, es una herramienta para fomentar comportamientos, valores y actitudes más positivos hacia el planeta (Zabala y García, 2008), que servirán para trabajar individual y colectivamente (Bermúdez y De Longhi, 2008).

El término *educación ambiental* fue usado por primera vez en 1972 en Estocolmo, en la Conferencia Internacional sobre el Medio Ambiente. A partir de esta fecha también se introducen y aceptan las concepciones de naturalista, conservacionista, ecologista y ambientalista, que hoy en día se asocian con el desarrollo sostenible (Zabala y García, 2008).

La Comisión Brundtland publica en 1987 el informe "Nuestro futuro común". Ahí se explica el vínculo de los problemas ambientales con la economía internacional y los modelos de desarrollo, lo que da lugar al concepto de *desarrollo sostenible*, entendido como aquel que "satisface las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las necesidades de las generaciones futuras". A partir de este momento, los conceptos de educación ambiental y desarrollo sostenible quedan unidos, por lo que en 1987, en el Congreso de Moscú, se reúnen expertos para desarrollar estrategias de educación ambiental (Zabala y García, 2008).

Parte de estas estrategias son las dimensiones ecológicas, las cuales se dividen en límites de crecimiento, antiantropocentrismo, fragilidad ecológica, excepcionalismo humano y crisis ecológica (Cendra y Paolini, 2009, p. 3).

Límites de crecimiento

Los límites de crecimiento parten desde la perspectiva empresarial, con el fin de poder hacer una modificación para adoptar un compromiso respetuoso hacia el medio ambiente y no sobreexplotar los recursos naturales con los que se cuenta. Por ello, se proponen nuevos productos llamados producciones ecológicas, producciones agrícolas kilómetro cero y productos limpios, iniciativas que destacan la no generación de residuos y la creación de productos

sin fertilizantes y agroquímicos, entre otros; estos productos se relacionan con líneas de respeto hacia el medio ambiente (Gómez, 2014).

Antiantropocentrismo

Para entender el antiantropocentrismo hay que fomentar un cambio en el pensamiento de los seres humanos en pro de la naturaleza, que vaya encaminado a la cultura ecológica, en el entendido de que la naturaleza debe ser vista desde la perspectiva humana como un objeto de reflexión, la cual se ha dado desde la antigüedad hasta la actualidad. Desde el punto de vista filosófico y epistemológico, se dice que los pensamientos hacia la naturaleza tienen lugar desde la observación de los elementos que la componen hasta la unión entre la naturaleza y el ser humano. Esto puede crear un enlace en las condiciones de vida para que la sociedad le dé a la naturaleza el valor necesario y suficiente por medio de temas como la biotecnología o de investigaciones zoonosanitarias que podrían ser una muestra del provecho que los recursos naturales dan al ser humano, por lo que el antiantropocentrismo debe tener la correlación de la armonía del medio ambiente y la protección del mismo (Sánchez-Romero, 2017).

Es por ello que se debe entender que el sistema de vida actual, arraigado a la cultura consumista, está fuertemente impregnado de las características del modelo económico del país, el cual, a su vez, desencadena un optimismo tecnológico, creencias de un ilimitado crecimiento y una arrogante concepción del antiantropocentrismo de las relaciones del medio ambiente con el ser humano. Por ello, la crisis ecológica que existe a escala mundial es de trascendencia generacional y en toda ocasión nos señala como responsables del desgaste ambiental y, al mismo tiempo, de la desigualdad que se da entre la sociedad y los pueblos empobrecidos que han sido sobreexplotados y cuyos recursos naturales han sido consumidos de manera irresponsable (Sosa, citado por Agudelo, 2016).

Fragilidad ecológica

La fragilidad ecológica se refiere al balance de carga ambiental de un espacio, que comprende la condición de aptitud natural, la carga ambiental inducida y la capacidad de absorción de la carga ambiental vinculada a la demanda de los recursos. Según la metodología de fragilidad ambiental citada por Méndez (2021) se divide en cuatro ejes importantes:

- Bioaptitud: es la condición natural que tiene un espacio desde un punto de vista biológico.
- Antropoaptitud: es la condición que presenta un espacio debido a los diferentes tipos de uso de suelo.
- Geoaptitud: es la condición de estabilidad de los espacios, tanto desde el punto de vista del subsuelo como del de los procesos geodinámicos que pueden alterar la estabilidad.

- Edafoaptitud: es la que comprende la aptitud natural de un terreno dado, con respecto a las condiciones de la capa del suelo que lo recubre (Barrantes, 2016).

Excepcionalismo humano

El excepcionalismo humano analiza los sistemas relacionados con las creencias que los seres humanos comparten tanto de sí mismos como de la naturaleza y la relación que existe entre ellos. Por eso, desde tiempos atrás se plantea de manera holística el modo en que el ser humano conoce y se comporta con el medio ambiente, lo cual genera creencias sobre la capacidad que él tiene para perjudicar el equilibrio ecológico, al igual que contribuye al establecimiento de los límites de crecimiento en las sociedades humanas y el derecho que éstas tienen para creer que pueden gobernar la naturaleza (Sánchez-Romero, 2017). En ese sentido, se reconocen dos tendencias:

- *Consumismo*: es el uso exagerado e innecesario de bienes y servicios.
- *Consumerismo o consumo sustentable*: es la educación para el consumo y el consumidor; es pensar antes de comprar (Zabala y García, 2008).

Crisis ecológica

La última dimensión, llamada también crisis de civilización, está enlazada a la degradación del medio y sanciona el desequilibrio entre los pueblos, pues obliga a la clase baja a sobre-explotar los recursos naturales para su supervivencia, ya sea como alimento o como producto para su venta. Los principales problemas que caracterizan esta crisis son degradación de ecosistemas, destrucción de la biodiversidad, uso de armas químicas o biológicas, desequilibrio en las clases sociales, extinción de ciudades, destrucción de culturas, enfermedades, desempleo, sobrepoblación, falta de valores, entre otras (Bautista et al., 2011).

Estas cinco dimensiones indican la existencia de problemas ambientales que provienen principalmente de cuestiones sociales y económicas y que afectan, en su mayoría, a la clase social baja (Bautista et al., 2011). Fernández et al. (2010) determinaron, mediante el análisis de resultados, que el rango de edad puede afectar la percepción hacia el medio ambiente, ya que observaron en sus resultados que los alumnos de nivel secundaria muestran mayor sensibilización ambiental debido a que gozan de más acceso a fuentes de información tanto en el ámbito formal como en el informal.

Por su parte, Borroto et al. (2011) midieron la percepción ambiental en dos comunidades cubanas por medio de la visión ambiental, los problemas ambientales, la responsabilidad ambiental y la formación medioambiental, y encontraron que en ambas es insuficiente la percepción ambiental.

Asimismo, Espino-Román et al. (2015) midieron a estudiantes de Ingeniería en Mecatrónica con el instrumento que fue utilizado por el Grup de Recerca Educació i Ciutadani (GREIC) y

encontraron que a los alumnos les interesaban temas ambientales con el fin de disfrutar un mundo mejor, y que sus principales problemas ambientales eran la contaminación y la destrucción de los recursos naturales. Por ello, los investigadores sugieren incluir en los programas educativos materias de educación ambiental a fin de ayudar a fomentar valores y a promover una actitud positiva hacia el medio ambiente.

Pero Pavez et al. (2016), al analizar la percepción y el comportamiento de 119 jóvenes universitarios respecto del medio ambiente en Chile con base en cuatro variables (percepción, actitudes, conocimientos y comportamiento pro ambiental), encontraron que, a pesar de que tienen una percepción negativa sobre las condiciones del medio ambiente, su actitud es positiva y cuentan con los conocimientos para mejorar el medio ambiente. Esta correlación tiene una alta preocupación y una baja participación para su mejora, por lo que proponen implementar estrategias de educación ambiental en todos los programas curriculares universitarios.

Por consiguiente, y considerando lo anterior, es importante conocer la percepción ambiental de estudiantes por medio de dimensiones ecológicas, lo que permitiría proponer soluciones (Sosa et al., 2008), ya que ésta influye en las causas de la problemática ambiental y, como lo mencionan Espino-Román et al. (2015) y Pavez et al. (2016), resulta relevante fomentar la participación ambiental ciudadana (Fernández et al., 2010).

Método

Se realizó un estudio descriptivo, transversal, con una muestra dirigida a 88 estudiantes de ambos géneros de la licenciatura en Seguridad, Salud y Medio Ambiente. Se aplicó una cédula de datos personales y un instrumento que mide la percepción ambiental, el cual consta de 12 ítems con respuesta tipo Likert, que va desde *muy en desacuerdo* hasta *muy de acuerdo*, con valores de 1 a 5, respectivamente. La sumatoria da como resultado los niveles de percepción ambiental (tabla 1).

Tabla 1
Rango de los niveles de percepción ambiental

Nivel de percepción ambiental	Rango
Alto	60-42
Medio	41-21
Bajo	20-0

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados fueron agrupados en las cinco dimensiones desarrolladas en el apartado anterior para determinar la percepción ambiental:

- a. *Límites al crecimiento económico*: la existencia de límites al crecimiento económico.
- b. *Antiantropocentrismo*: la defensa a una posición contraria al antropocentrismo como causa de los excesos medioambientales en el planeta.
- c. *Fragilidad ecológica*: la aceptación de la fragilidad existente en el equilibrio ecológico planetario como consecuencia de lo anterior.
- d. *Rechazo al excepcionalismo humano*: es pensar que “las leyes de la física y de la biología no condicionan la organización y el cambio de las sociedades, que dejan de regir cuando tratan de asuntos humanos” (García, citado en Cendra y Paolini, 2009, p. 3).
- e. *Posibilidad de crisis ecológica*: la posibilidad de una inminente crisis ecológica si no cambiamos nuestra forma de relacionarnos con la naturaleza (Cendra y Paolini, 2009, p. 3).

Se acudió a las aulas de clase para aplicar el instrumento durante un tiempo aproximado de entre 5 y 10 minutos y se informó que las respuestas serían anónimas y confidenciales.

Para la captura y el análisis de los datos se utilizó el paquete estadístico SPSS versión 22.0. Primero se determinó la consistencia interna del instrumento por medio del alfa de Cronbach, cuyo valor resultó de 0.756; y se analizaron las variables mediante la estadística descriptiva: frecuencia y porcentajes para las variables categóricas, y medias, modas y desviación estándar para las variables continuas.

Resultados

En cuanto a las características sociodemográficas de la muestra de estudio se reporta una media de edad de 19 años (DE = 5.307), además de que predominó el género femenino, con el 53.4%; el mayor porcentaje de la población era del 4.º semestre, con el 46.6%, y el 51.1% trabajaba (tabla 3, ver p. 7).

Para introducir la temática de esta investigación, se les preguntó si anteriormente habían cursado materias con contenidos ambientales, a lo que 98.9% respondió que sí (tabla 2).

Tabla 2
Materia ambiental

¿Has cursado alguna materia ambiental?	Media	Mediana	Desviación estándar
	1.01	1.00	0.107

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 4 (ver p. 8), en la que se presentan las dimensiones ecológicas, se observa que la mayoría de la población piensa que existen límites al crecimiento económico, con una media de 1.39 (DE = 0.513). En cuanto al antiantropocentrismo, la población piensa que sí existen causas de los excesos medioambientales en el planeta, con una media de 1.48 (DE = 0.643).

Respecto a la dimensión de fragilidad, la población piensa que existe desequilibrio ecológico, ya que tiene una media de 1.26 (DE = 0.491). En la dimensión de rechazo al excepcionalismo humano, entre la población no todos piensan que no son importantes los temas ambientales, pues si les afectaran y tuvieran que cambiar algún hábito, lo podrían hacer; la media es de 1.66 (DE = 0.544). Por último, la dimensión de posibilidad de crisis ecológica es alta, ya que piensan que ésta puede existir si la población sigue afirmando las dimensiones antes mencionadas, pues presenta una media de 1.11 (DE = 0.353).

Tabla 3
Características sociodemográficas (n = 88)

Características		f	%
Género	Masculino	47	46.6
	Femenino	41	53.4
Semestre	2.º	29	33
	4.º	41	46.6
	6.º	18	20.5
Edad	18	4	4.5
	19	24	27.3
	20	21	23.9
	21	17	19.3
	22	8	9.1
	23	4	4.5
	24	2	2.3
	25	4	4.5
	26	1	1.1
	48	3	3.4
¿Trabaja?	Sí	45	51.1
	No	43	48.9

Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, en cuanto a las dimensiones ecológicas de acuerdo con el género se tienen los siguientes resultados.

Límite al crecimiento

En la tabla 5 (ver p. 8) se presentan las frecuencias de las dimensiones respecto al género; se detectó que ambos tienen una percepción ambiental alta. Pero el género femenino

tiene un pequeño aumento, con el 63.4%, y en el masculino es de 61.8%; la media es de 1.39 (DE = 0.513).

Tabla 4
Dimensiones ecológicas de los estudiantes

		Límites al crecimiento	Antiantropocentrismo	Fragilidad ecológica	Rechazo al excepcionalismo humano	Posibilidad de crisis ecológica
N	Válidos	88	88	88	88	88
	Perdidos	0	0	0	0	0
Media		1.39	1.48	1.26	1.66	1.11
Mediana		1.00	1.00	1.00	2.00	1.00
Moda		1	1	1	2	1
Desviación estándar		.513	.643	.491	.544	.353

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5
Límites del crecimiento vs. género

Límites del crecimiento		f	%
Género	Nivel de percepción ambiental		
Masculino	Alta percepción ambiental	26	61.8%
	Media percepción ambiental	14	31.4%
	Baja percepción ambiental	1	6.8%
Femenino	Alta percepción ambiental	29	63.4%
	Media percepción ambiental	18	36.6%
	Baja percepción ambiental	0	0%

Fuente: Elaboración propia.

Antiantropocentrismo

En la tabla 6 (ver p. 9) se muestran las frecuencias de las dimensiones respecto al género. Se observa que el género masculino tiene el 56% de una alta percepción ambiental, y el femenino el 64%, con una media de 1.48 (DE = 0.643).

Tabla 6
Antiantropocentrismo vs. género

Antiantropocentrismo		f	%
Género	Nivel de percepción ambiental		
Masculino	Alta percepción ambiental	23	56%
	Media percepción ambiental	14	34%
	Baja percepción ambiental	4	10%
Femenino	Alta percepción ambiental	30	64%
	Media percepción ambiental	14	30%
	Baja percepción ambiental	3	6%

Fuente: Elaboración propia.

Fragilidad ecológica

En la tabla 7 se observa que en la dimensión de fragilidad ecológica el género masculino tiene un nivel de percepción ambiental alto, con el 83%, y el femenino también tiene un nivel de percepción ambiental alto, con el 70%, con una media en 1.26 (DE = 0.491).

Tabla 7
Fragilidad ecológica vs. género

Fragilidad ecológica		f	%
Género	Nivel de percepción ambiental		
Masculino	Alta percepción ambiental	34	83%
	Media percepción ambiental	5	12%
	Baja percepción ambiental	2	5%
Femenino	Alta percepción ambiental	33	70%
	Media percepción ambiental	14	30%
	Baja percepción ambiental	0	0%

Fuente: Elaboración propia.

Rechazo al excepcionalismo humano

En la tabla 8 (ver p. 10) se observa que el porcentaje mayor se encuentra en un nivel de percepción ambiental medio, con el 56% en el género masculino y el 62% del femenino, con una media de 1.66 (DE = 0.544).

Tabla 8
Rechazo al excepcionalismo humano vs. género

Rechazo al excepcionalismo humano		<i>f</i>	%
Género	Nivel de percepción ambiental		
Masculino	Alta percepción ambiental	16	39%
	Media percepción ambiental	23	56%
	Baja percepción ambiental	2	5%
Femenino	Alta percepción ambiental	17	36%
	Media percepción ambiental	29	62%
	Baja percepción ambiental	1	2%

Fuente: Elaboración propia.

Possibilidad de crisis ecológica

En la tabla 9 se observa que la percepción ambiental se encuentra en el nivel alto, donde el género masculino representa el 88% y el femenino, el 92%, con una media de 1.11 (DE = 0.353).

Tabla 9
Possibilidad de crisis ecológica vs. género

Possibilidad de crisis ecológica		<i>f</i>	%
Género	Nivel de percepción ambiental		
Masculino	Alta percepción ambiental	36	88%
	Media percepción ambiental	5	12%
	Baja percepción ambiental	0	0%
Femenino	Alta percepción ambiental	43	92%
	Media percepción ambiental	3	6%
	Baja percepción ambiental	1	2%

Fuente: Elaboración propia.

Considerando las cinco dimensiones con respecto al género, se detecta que tanto el femenino como el masculino perciben un nivel ambiental alto; solamente en la dimensión de rechazo al excepcionalismo humano hay una disminución en dicho nivel (tabla 10, ver p. 11).

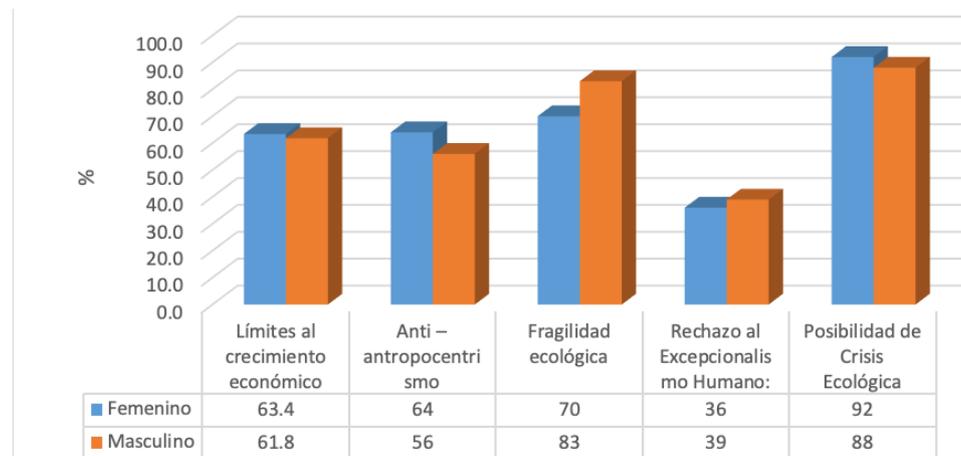
En la figura 1 (ver p. 11), sobre la correlación entre las dimensiones ecológicas y el género, se observa que en todas las dimensiones se tiene arriba del 50%, salvo en la dimensión de rechazo al excepcionalismo humano, que se sitúa en el nivel medio de percepción ambiental.

Tabla 10
Dimensiones con respecto al género

Género / dimensión ecológica	Femenino	%	Masculino	%
Límites al crecimiento económico	29	63.4	26	61.8
Antiantropocentrismo	30	64	23	56
Fragilidad ecológica	33	70	34	83
Rechazo al excepcionalismo humano	17	36	16	39
Posibilidad de crisis ecológica	43	92	36	88

Fuente: Elaboración propia.

Figura 1
Dimensiones ecológicas vs. género



Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones

En esta investigación se tomaron las dimensiones ecológicas como una herramienta para comprender cómo percibe la población la crisis ambiental en la que se encuentra el planeta. Al analizar los resultados de cada una de ellas, considerando sus características, se observó lo siguiente:

En la dimensión ecológica de límites de crecimiento se obtuvo que la percepción ambiental de los estudiantes, tanto del género femenino como del masculino, es alta, con un porcentaje de 63.4% y 61.8%, respectivamente; es decir, entienden la problemática existente, pero no están conscientes al 100% de los efectos que ésta puede ocasionar, considerando que el crecimiento económico está sobreexplotando los recursos naturales. Por ello, es

importante educar a la población a mantener un equilibrio entre hombre-naturaleza, y que por medio de productos más amigables con el medio ambiente se pueda generar un cambio que impacte en el planeta.

Por otro lado, en la dimensión ecológica de antiantropocentrismo se observó que la percepción ambiental de los estudiantes del género femenino y masculino se encuentra en el nivel alto, con el 64% y el 56%, respectivamente, por lo que es importante reforzar esta posición, debido a que conocen los excesos medioambientales en el planeta, pero no están actuando al 100%. Dicho refuerzo se puede lograr por medio de la conciencia ambiental para fortalecer no sólo la ética, sino el accionar de las personas, para que de manera conjunta se tenga una respuesta más positiva ante la problemática ambiental.

Respecto de la dimensión de fragilidad ecológica, los resultados de la percepción ambiental se encuentran en el nivel alto tanto del género femenino como del masculino, con un 70 y 83%, respectivamente. El porcentaje mayor en esta dimensión indica que el género masculino es más consciente sobre el equilibrio ecológico que se debe tener y que la población debe entender o cuantificar los recursos naturales y su agotamiento para que se puedan hacer propuestas de cómo minimizar o erradicar la actual problemática ambiental.

Sin embargo, en la dimensión ecológica de excepcionalismo humano se pudo notar que el porcentaje mayor se encuentra en la percepción ambiental del nivel medio, tanto en el género femenino como en el masculino, con el 62 y el 56%, respectivamente; es decir, se percibe que, a pesar de que se tiene conocimiento de la problemática ambiental, del desequilibrio ecológico, la sociedad llega a pensar primero en sus necesidades y no en las del planeta ("Si los demás no lo hacen, ¿por qué yo sí?"). Por eso la importancia de impartir asignaturas que hablen de valores, del cuidado al planeta.

Aunado a esto, en la dimensión de crisis ecológica se nota que el porcentaje mayor se encuentra en la percepción ambiental del nivel alto, tanto del género femenino como del masculino, con el 92 y el 88%, respectivamente, por lo que se puede deducir que, evidentemente, la población estudiantil se percata de que existen problemas ambientales. Por ello, es de vital importancia desarrollar programas ambientales que concienticen a todos los niveles educativos, por medio de talleres, concursos ambientales (de saneamiento e innovaciones tecnológicas para ayudar al medio ambiente), pláticas, conferencias, congresos, entre otros, ya que la crisis ecológica es problema de todos y no se puede actuar solo. Hay que invitar a la población a participar, junto con los programas del gobierno, para sumar acciones y así poder lograr un cambio que genere una perspectiva totalmente distinta y significativa para ayudar al medioambiente.

Referencias

- Agudelo, N. (2016). La crisis ecológica global: consideraciones preliminares. *Luna Azul*, (43), 1-14. <https://revistasojs.ucaldas.edu.co/index.php/lunazul/article/view/3291>
- Barrantes, G. (2016). Problemas conceptuales y metodológicos del índice de fragilidad ambiental y sus implicaciones para la valoración del riesgo en el ordenamiento territorial en Costa Rica. *En Torno a la Prevención*, (16), 27-32. <http://revistaentorno.desastres.hn/pdf/spa/doc1603/doc1603.htm>
- Bautista, F., Balancán-Zapata, A. M., Navarro-Alberto, J. y Bocco, G. (2011). Percepción social de los problemas ambientales en Yucatán, México. Una visión desde la geografía. *Teoría y Praxis*, (9), 33-54. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3674799.pdf>
- Bermúdez, G. y De Longhi, A. L. (2008). La educación ambiental y la ecología como ciencia. Una discusión necesaria para la enseñanza. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 7(2), 275- 297. http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen7/art1_Vol7_N2.pdf
- Borroto, M., Rodríguez, L., Reyes, A. y López, B. A. (2011). Percepción ambiental en dos comunidades cubanas. *Revista Electrónica de Medioambiente*. UCM, (10), 13-29. <https://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-41204/42percepci%C3%93N%20ambientalmariaBorroto.pdf>
- Carabias, J. (1988) Deterioro ambiental en México. *Ciencias*, (013). <http://www.revistas.unam.mx/index.php/cns/article/view/10997>
- Castro, C. (2014). En busca de la igualdad y el reconocimiento. La experiencia histórica de la educación intercultural en el Caribe colombiano. *Memorias. Revista Digital de Historia y Arqueología desde el Caribe*, (23).
- Cendra, J. y Paolini Ruiz, J. (2009, 9 de julio). Evaluación del cambio de percepción ambiental en los estudiantes del Máster en Sostenibilidad de la UPC a partir de las dimensiones del Nuevo Paradigma Ecológico. II Congrés UPC Sostenible 2015. Barcelona. <https://upcommons.upc.edu/handle/2099/8127>
- Espino-Román, P., Olaguez-Torres, E. y Davizon-Castillo, Y. A. (2015). Análisis de la percepción del medio ambiente de los estudiantes de Ingeniería en Mecatrónica. *Formación Universitaria*, 8(4), 45-54. <https://scielo.conicyt.cl/pdf/formuniv/v8n4/arto6.pdf>
- Fernández, R., Porter-Bolland, L. y Sureda, J. (2010). Percepciones y conocimientos ambientales de la población infantil y juvenil de una comunidad rural de Veracruz, México. *Revista de Educación y Desarrollo*, 12, 35-43. http://www.cucs.udg.mx/revistas/edu_desarrollo/anteriores/12/012_Fernandez_Tarrio.pdf
- Gómez-Gutiérrez, C. (2014). III. El desarrollo sostenible: conceptos básicos, alcance y criterios para su evaluación. En B. Garea-Moreda (coord.), *Cambio climático y desarrollo sostenible. Bases conceptuales para la educación en Cuba* (pp. 90-111). Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas, Editorial Educación Cubana.

- Méndez, R. (2021). Análisis de la factibilidad técnica en la implementación de la metodología “Índices de Fragilidad Ambiental” de la Secretaría Técnica Nacional Ambiental para el cantón de Siquirres, provincia de Limón, Costa Rica, durante el año 2016. *Repertorio Científico*, 24(1), 1-14. <https://doi.org/10.22458/rc.v24i1.3086>
- Pavez-Soto, I., León-Valdebenito, C. y Triadú-Figueras, V. (2016). Jóvenes universitarios y medio ambiente en Chile: Percepciones y comportamientos. *Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales, Niñez y Juventud*, 14(2), 1435-1449. <http://www.scielo.org.co/pdf/rlcs/v14n2/v14n2a38.pdf>
- Ramírez, O. (2015). Identificación de problemáticas ambientales en Colombia a partir de la percepción social de estudiantes universitarios localizados en diferentes zonas del país. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 31(3), 293-310. <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v31n3/v31n3a9.pdf>
- Sánchez-Romero, J. M. (2017). El antropocentrismo en la ecología occidental. *La Albolafia: Revista de Humanidades y Cultura* (10), 43-60. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6040197>
- Sosa, M., Alcalá, J., Soto, R., Lebgue, T. y Quintana, C. (2008). Percepción ambiental de estudiantes universitarios a través de variables medioambientales. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 4(2). 178-184. <https://revista.itson.edu.mx/index.php/rlrn/article/view/122/54>
- Zabala, G. I. y García, M. (2008). Historia de la educación ambiental desde su discusión y análisis en los congresos internacionales. *Revista de Investigación*, (63), 201-218 <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=376140378009>
- Zurrita, A. A., Badii, M. H., Guillen, A., Lugo Serrato, O. y Aguilar Garnica, J. J. (2015). Factores causantes de degradación ambiental. *International Journal of Good Conscience*, 10(3), 1-9. [http://www.spentamexico.org/v10-n3/A1.10\(3\)1-9.pdf](http://www.spentamexico.org/v10-n3/A1.10(3)1-9.pdf)

ARTÍCULOS

Evaluación de productividad en estanques para cultivo de alimento vivo

Productivity evaluation in ponds for cultivation of live food

Merari Castro Camaño

CORREO: merari-castro07@hotmail.com

Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM)

Judith García Rodríguez

ORCID: 0000-0001-6311-2091/garciarj@uaem.mx

Centro de Investigaciones Biológicas (CIB), Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM)

Migdalia Díaz Vargas

ORCID: 0000-0002-0510-8358/migdalia@uaem.mx

Centro de Investigaciones Biológicas (CIB), Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM)

Elsah Arce Uribe

ORCID: 0000-0002-9815-2525/elsah.arce@uaem.mx

Centro de Investigaciones Biológicas (CIB), Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM)

RESUMEN

El fitoplancton y el zooplancton tienen un rol importante en los ecosistemas acuáticos. La continuidad de especies depende del equilibrio entre los diferentes niveles de la cadena trófica, así como del desarrollo y la supervivencia de larvas y juveniles de invertebrados y vertebrados. Por ello, el objetivo de esta investigación es evaluar la productividad primaria y secundaria en sistemas controlados; con ello, calcular las tasas de crecimiento del fitoplancton y del zooplancton y estimar el nivel de productividad que puede sustentar el cultivo de alimento vivo. La evaluación se realizó en un periodo de dos semanas, en estanques con fertilización orgánica.

PALABRAS CLAVE

ecosistemas acuáticos, gallinaza, biomasa, fitoplancton, zooplancton

ABSTRACT

Phytoplankton and zooplankton play an important role in aquatic ecosystems. The continuity of species depends on the balance between the different levels of the food chain, as well as the development and survival of larvae and juveniles of invertebrates and vertebrates. Therefore, the objective of this research is to evaluate the primary and secondary productivity in controlled systems, allowing the calculation of the growth rates of phytoplankton and zooplankton, and estimating the level of productivity that can support the cultivation of live food. The evaluation was carried out in a period of two weeks in ponds with organic fertilization.

KEY WORDS

aquatic ecosystems, chicken droppings, biomass, phytoplankton, zooplankton

Introducción

Los ecosistemas acuáticos presentan propiedades importantes, como la energía fijada por los organismos fotosintetizadores y por los subsidios de energía y materia obtenidos de otros sistemas circundantes. En los sistemas se alojan comunidades de distintos tipos: productores, consumidores y degradadores, todos ellos interrelacionados en la dinámica propia del cuerpo de agua (Hernández et al., 2003; Hernández y Gocke, 2016).

La productividad primaria en los ecosistemas acuáticos es llevada a cabo por los organismos autótrofos denominados fitoplancton, por medio del proceso bioquímico conocido como fotosíntesis. Este proceso, también llamado fijación de carbono, se produce por la concentración de clorofila *a* contenida en los cloroplastos de estos organismos. La clorofila *a* es un pigmento utilizado como una medida de la biomasa de las microalgas que constituyen el fitoplancton; por lo tanto, sirve para calcular la productividad primaria que ocurre en el ecosistema de acuerdo con una escala temporal (Montecino y Pizarro, 2006). La importancia de este proceso a nivel ecológico es que permite el flujo de energía en la red trófica.

Por otro lado, el zooplancton es el que crea la productividad secundaria, ya que acumula una gran parte del carbono obtenido a partir del fitoplancton. Se considera el primer eslabón en la cadena alimentaria acuática que realiza la transferencia de energía a niveles superiores, así como el ciclo de los nutrientes. El zooplancton es considerado una parte fundamental para evaluar la sustentabilidad en la explotación de una población pesquera, ya que proporciona la energía necesaria para el crecimiento y la reproducción de la población piscícola (Andrade et al., 2009).

La comunidad zooplanctónica está conformada principalmente por rotíferos y crustáceos, que se dividen en braquiópodos y copépodos; estos últimos generalmente son los más abundantes en el medio acuático (Conde-Porcuna et al., 2004). Debido a la importancia de estos organismos tanto en los sistemas acuáticos naturales como en los artificiales, la evaluación de su tasa de crecimiento brinda información relevante para el uso y aprovechamiento de los recursos, ya sea en vías de producción o para el mantenimiento de poblaciones.

Importancia del fertilizante orgánico

Las excretas de aves de corral como las gallinas presentan un alto contenido de nutrientes, en particular proteínas y aminoácidos (Soriano Salazar et al., 2007). Su uso en la acuicultura tiene la finalidad de propiciar la producción de alimento de forma natural, con lo que se obtiene un alto grado de proteínas con un elevado valor biológico; asimismo, el abono se convierte en carne para el pez a través de las cadenas tróficas naturales, lo que contribuye a aumentar la producción autótrofa y heterótrofa.

El abono orgánico acelera los procesos biológicos en los sistemas de producción y, por lo tanto, promueve una mayor densidad fitoplanctónica (Bermúdez et al., 2012). La producción

exitosa de peces con fines acuícolas depende en gran medida de que organismos fito y zooplanctónicos se produzcan de manera natural con la adición de fertilizantes orgánicos (Prieto et al., 2006).

Evaluación de parámetros fisicoquímicos del agua

Los parámetros fisicoquímicos dan información extensa de la naturaleza de las propiedades químicas y físicas del agua; la medición de estos parámetros suele ser rápida y éstos pueden ser monitoreados con frecuencia, lo que ayuda a conocer la calidad del agua en la que se desarrollan los organismos (Samboni et al., 2011).

Una forma de evaluar tanto la productividad primaria como la secundaria es cuantificando los organismos que constituyen ambos eslabones o grupos, es decir, el fitoplancton y el zooplancton. El presente trabajo pretende contribuir al conocimiento del efecto de los fertilizantes orgánicos en el desarrollo de las comunidades vegetales y animales a través del tiempo, pues con el monitoreo de estos organismos desde el primer día de fertilización se puede contar con registros respecto al crecimiento de las microalgas y de forma subsecuente del zooplancton, para determinar el momento en el que la producción de alimento vivo alcanza su punto óptimo y cuando comienza a decrecer.

Materiales y métodos

Estanques

La fase experimental se llevó a cabo en tres estanques de fibra de vidrio con capacidad para 590 litros, los cuales se ubicaron a cielo abierto en las coordenadas 18° 55' 91' N, 99° 12' 98' W, a una altitud de 2 252 msnm.

En el día cero, cada estanque fue fertilizado con un kilogramo de gallinaza; posteriormente, se inició el conteo de fitoplancton y zooplancton a partir del día uno. La toma de muestras, tanto de fitoplancton como de zooplancton, se realizó diariamente de manera directa, ambas con un matraz de Erlenmeyer con capacidad para 250 mL; de la parte central del estanque se tomó una muestra de sólo 100 mL para su posterior análisis. Adicionalmente, se registraron las lecturas de temperatura, pH, conductividad y total de sólidos disueltos diariamente al momento de la toma de muestras, con un multiparamétrico HANNA HI 9829.

Laboratorio

De la muestra colectada se tomaron alícuotas para la preparación de laminillas y la observación al microscopio del fitoplancton, realizando conteos; del zooplancton se tomó una alícuota de 2 mL para el conteo en una cámara Sedgewick Rafter (Samanez et al., 2014).

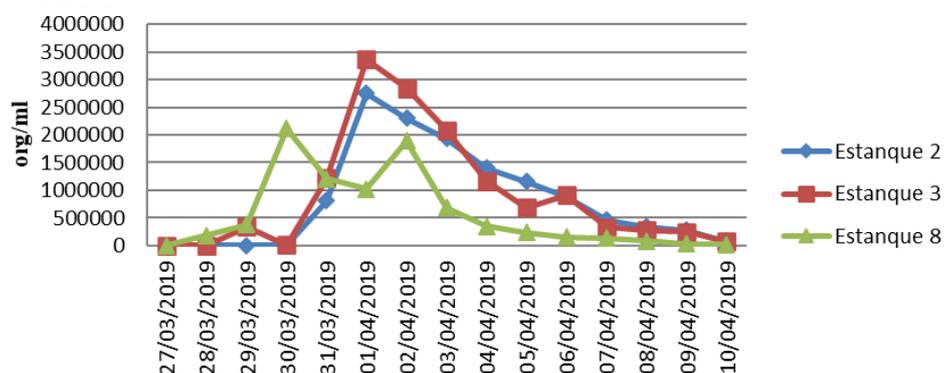
Ambas muestras se analizaron con la ayuda de un microscopio compuesto marca Leica DM500 ICC 50 HD con cámara. Los conteos se realizaron diariamente durante dos semanas.

Resultados

Fitoplancton

Las abundancias totales se reportan en org/mL; se obtuvieron por día en cada estanque por el método semicuantitativo, realizando una identificación de la única especie presente, *Chlorella* sp., con base en un conteo aleatorio de un campo visual estimado de al menos 3 a 5 laminillas. Los estanques 2 y 3 registraron un crecimiento ascendente a partir del quinto día; el estanque 8 lo registró a partir del cuarto día; sin embargo, se observó una disminución los siguientes dos días, pero se recuperaron en el séptimo. A partir del día 12 y hasta el final del experimento, los tres estanques mostraron baja abundancia (figura 1).

Figura 1
Abundancia total de fitoplancton

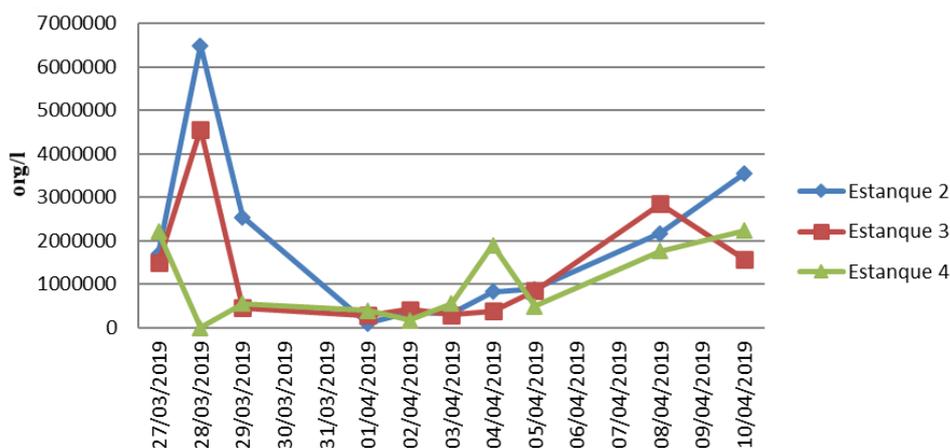


Fuente: Elaboración propia.

Zooplancton

Presentó su desarrollo en forma sucesional; al inicio del cultivo dominaron los rotíferos y enseguida se desarrollaron cladóceros y larvas de dípteros; estos últimos fueron los dominantes. Sin embargo, las abundancias registradas del grupo de rotíferos mostraron valores altos desde el primer y segundo día, aun cuando el estanque 4 reportó valores fluctuantes (figura 2, ver página 5).

Figura 2
Abundancia total de zooplancton



Fuente: Elaboración propia.

Parámetros fisicoquímicos del agua

Indican condiciones de pH neutro a ligeramente alcalino, lo que cataloga al agua como ligeramente dura y cálida. De acuerdo con los parámetros registrados, durante los 15 días de muestreo contaron con los valores normales que este líquido requiere para el desarrollo de los organismos acuáticos y para el establecimiento de cultivos (tabla 1).

Tabla 1
Valores registrados de la fisicoquímica del agua durante el periodo de estudio

Temperatura	24.9	25	24.8
pH	8.4	7.8	8.7
Conductividad (μS)	471	477	393
Total de sólidos disueltos (ppm)	235	239	196

Fuente: Elaboración propia.

Discusión

En la producción de la biomasa se presentan generalmente dos ciclos: uno de materia y otro de energía. El primero implica el consumo de materia orgánica viva y el segundo consiste en la degradación de la materia orgánica muerta, que forma parte de un organismo vivo. Estas relaciones mantienen el material y el flujo energético dentro del ecosistema y proporcionan lo

necesario para la subsistencia de éste. Estos ciclos conforman las cadenas tróficas y dan origen a los tres niveles tróficos: autótrofos, herbívoros y carnívoros (Yubi Armendáriz et al., 2008).

Los resultados indican que los productores primarios se desarrollan a partir de la disponibilidad de nutrientes y condiciones adecuadas de incidencia de luz, promoviendo, a su vez, el desarrollo de productores secundarios. En la etapa final en las cadenas tróficas se lleva a cabo la liberación de nutrientes. Se considera que una cantidad de la producción primaria no la consumen los herbívoros directamente; sin embargo, la llegan a aprovechar otros organismos heterótrofos, con lo que se conforma la denominada biomasa microbiana. Estos microorganismos actúan como un vínculo entre los procesos de producción primaria y secundaria, propician la reintroducción de compuestos inorgánicos en el sistema y producen biomasa susceptible, que es alimento de organismos detritívoros (Álvarez-Solís et al., 2010).

Los parámetros fisicoquímicos del agua son importantes en la presencia de organismos tanto del fitoplancton como del zooplancton, ya que ciertas condiciones permitirán o no que las comunidades planctónicas se establezcan. Ejemplo de ello es el pH, factor relevante para su desarrollo, pues el fitoplancton se reproduce principalmente con un pH de 7 a 9 (Samboni et al., 2007); esto se presentó durante el desarrollo del cultivo, lo que propició que las microalgas iniciaran su proceso de reproducción desde el inicio de éste, pues la calidad del agua así lo permitió.

La temperatura de 25 °C en promedio se mantuvo durante los 15 días en los tres estanques, lo que generó las condiciones adecuadas para el desarrollo de cultivos (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2018). Por otra parte, la fertilización es una acción fundamental para el establecimiento de los productores primarios; en este caso se utilizó gallinaza, fertilizante aplicado en los tres estanques y que, como lo indica Chisholm (1992), ofrece resultados rápidos respecto al establecimiento de los productores primarios y, a su vez, al desarrollo de productores secundarios.

El fitoplancton fue el grupo más abundante durante el estudio, ya que tuvo el mayor crecimiento a partir del sexto día; posteriormente presentó una disminución respecto al conteo de organismos por mililitro. El grupo del zooplancton presentó condiciones de desarrollo sucesional; al inicio del cultivo estuvo dominado por rotíferos y posteriormente iniciaron su desarrollo cladóceros y dípteros de forma dominante respecto a sus abundancias.

Ambas situaciones se pueden explicar desde el punto de vista de madurez del cultivo, lo que también se presenta en ambientes artificiales mayores e incluso en ambientes naturales; ya que al inicio del cultivo, cuando la disponibilidad de nutrientes es mayor, los primeros organismos en aparecer son los fotosintetizadores; posteriormente aparecerán de forma casi inmediata los productores secundarios, quienes se encargarán de alimentarse de los productores primarios y transferir la biomasa o energía a los niveles tróficos superiores, es decir, se establece una serie de interacciones bióticas. A lo largo de la sucesión, la biomasa y la

producción se incrementan, pero con tasas diferentes, lo que supone una disminución de organismos entre producción primaria neta y biomasa; en otras palabras, la biomasa de heterótrofos se incrementa con relación a la biomasa total asimilada (Walker, 2005).

Conclusión

Con los resultados de esta investigación se destaca que la abundancia del fitoplancton indica un desarrollo a partir del primer día de cultivo, con un crecimiento continuo hasta el día 6, para después disminuir progresivamente su biomasa hasta el día 15. Por su parte, la abundancia del zooplancton indica un crecimiento sucesional: al inicio del cultivo se registraron rotíferos y posteriormente cladóceros y larvas de dípteros. Los parámetros fisicoquímicos del agua indican condiciones de pH neutro a ligeramente alcalino, lo que la cataloga como ligeramente dura y cálida.

Finalmente, este tipo de estudios permiten cuantificar las tasas de crecimiento tanto del fitoplancton como del zooplancton y así evaluar el nivel de productividad que puede sustentar el cultivo de alimento vivo.

Referencias

- Álvarez-Solís, J. D., Gómez-Velasco, D. A., León-Martínez, N. S. y Gutiérrez-Miceli, F. A. (2010). Manejo integrado de fertilizantes y abonos orgánicos en el cultivo de maíz. *Agrociencia*, 44(5), 575-586. <https://www.redalyc.org/pdf/302/30215550007.pdf>
- Andrade, C., Montiel, A. y Quiroga, E. (2009). Estimación de producción secundaria y productividad para una población intermareal de *Trophon geversianus* (Bahía Laredo, Estrecho de Magallanes). *Anales del Instituto de la Patagonia*, 37(1), 73-84. <https://doi.org/10.4067/s0718-686x2009000100007>
- Bermúdez, A., Muñoz-Ramírez, A. P. y Wills, G. A. (2012). Evaluación de un sistema alimentación orgánico sobre el desempeño productivo de la tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) cultivada en estanques de tierra. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, 59(3), 165-175. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=407639232005>
- Chrisholm, S. W. (1992). Phytoplankton size. En P. G. Falkowski, A. D. Woodhead y K. Vivirito (Eds.) *Primary productivity and biogeochemical cycles in the sea*. (Environmental Science Research, vol. 43, pp. 213-237). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4899-0762-2_12
- Conde-Porcuna, J. M., Ramos-Rodríguez, E. y Morales-Baquero, R. (2004). El zooplancton como integrante de la estructura trófica de los ecosistemas lénticos. *Ecosistemas. Revista Científica de Ecología y Medio Ambiente*, 13(2), 23-29. <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/204>

- Hernández J., C. A. y Gocke, K. (2016). Productividad primaria en la ciénaga grande de Santa Marta, Colombia. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 19-20, 101-119. <https://doi.org/10.25268/bimc.invemmar.1990.19.0.430>
- Hernández García, M. A., Granados Sánchez, D. y Sánchez-González, A. (2003). Productividad de los ecosistemas en las regiones áridas. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 9(2), 113-123. <https://www.researchgate.net/publication/313146314>
- Montecino, V. y Pizarro, G. (2006). Productividad primaria, biomasa y tamaño del fitoplancton en canales y fiordos australes: patrones primavera-verano. En N. Silva y S. Palma (Eds.), *Avances en el conocimiento oceanográfico de las aguas interiores chilenas, Puerto Montt a cabo de Hornos* (pp. 93-97). Comité Oceanográfico Nacional-Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2018). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2018. Cumplir los Objetivos de Desarrollo Sostenible*. <http://www.fao.org/3/i9540es/i9540es.pdf>
- Prieto, M., Castaño, F., Sierra, J., Logato, P. y Botero, J. (2006). Alimento vivo en la larvicultura de peces marinos: copépodos y mesocosmos. *Revista MVZ Córdoba*, 11(1), 30-36. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=69309904>
- Samanez, I., Rimarachín, V., Palma, C., Arana, J., Ortega, H., Correa, V. e Hidalgo, M. (2014). *Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: plancton, perifiton, bentos (macroinvertebrados) y necton (peces) en aguas continentales del Perú*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. <https://www.minam.gob.pe/diversidadbiologica/publicaciones/direccion-de-conservacion-sostenible-de-ecosistemas-y-especies/especies-cites-y-amenazadas/especies-de-fauna-cites/>
- Samboni, N. E., Carvajal E., Y. y Escobar, J. C. (2007). Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. *Ingeniería e Investigación*, 27(3), 1-172. <http://www.scielo.org.co/pdf/iei/v27n3/v27n3a19.pdf>
- Samboni, N. E., Reyes T., A. y Carvajal E., Y. (2011). Aplicación de los indicadores de calidad y contaminación del agua en la determinación de la oferta hídrica neta. *Ingeniería y Competitividad*, 13(2), 49-60. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=291323530004>
- Soriano Salazar, M., Figueroa Torres, J., Anguiano Linares, H. y Luna-Figueroa, J. (2007). Efecto de diferentes fertilizantes orgánicos sobre el cultivo en laboratorio del camarón duende de agua dulce *Streptocephalus mackini* (Crustácea: Anostraca). *AquaTIC*, (26), 16-22. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49413960003>
- Walker, L. R. (2005). Margalef y la sucesión ecológica. *Ecosistemas*, 14(1). <https://www.redalyc.org/pdf/540/54014111.pdf>
- Yubi Armendáriz, M. Á., Navarrete Salgado, N. A., Elías Fernández, G., Vázquez Gómez, G. y Urrieta Zapiain, E. S. (2008). Relaciones tróficas de los peces del embalse San

Miguel Arco, de Soyaniquilpan, Estado de México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 14(1), 33-38. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-40182008000100006&lng=en&tlng=.](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-40182008000100006&lng=en&tlng=)

ARTÍCULOS

Una segunda vida para los residuos de la industria mezcalera

A second life for waste from the mezcal industry

Grecia Paniagua Pérez

ORCID: [0000-0002-0465-0006/grepapeo5@hotmail.com](https://orcid.org/0000-0002-0465-0006/grepapeo5@hotmail.com)

Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica,
Instituto Tecnológico de Morelia

Yanely Lizeth Sarabia Sereno

ORCID: [0000-0002-8767-5187](https://orcid.org/0000-0002-8767-5187)

Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica,
Instituto Tecnológico de Morelia

Yadira Belmonte Izquierdo

CORREO: yadira.bi@morelia.tecnm.mx

Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica,
Instituto Tecnológico de Morelia

RESUMEN

Este artículo propone una metodología para elaborar un bioplástico a partir de residuos de la producción de mezcal que utiliza agave *Angustifolia*. Esta industria tiene efectos negativos en el ambiente por el mal manejo de los residuos de bagazo (122 696 toneladas) y vinaza (14 a 27 millones de litros). El bagazo del agave, cuya composición química contiene 43% de celulosa, 19% de hemicelulosa y 15% de lignina, puede ser aprovechado y utilizado como sustrato de microorganismos si se somete a un tratamiento con otra clase de enzimas para producir ácido poliláctico, el cual se evaluará para saber si es un biopolímero óptimo para usar en el área médica, en particular en el desarrollo de prótesis u otros materiales clínicos.

PALABRAS CLAVE

celulosa, hemicelulosa, bioplástico, mezcal, enzimas

ABSTRACT

This article proposes a method to elaborate a bioplastic from mezcal production residues using agave *Angustifolia*. This industry has a negative impact on the environment due to the poor management of bagasse (122 696 tons) and vinasse (14 to 27 million liters). Agave bagasse, whose chemical composition contains 43% cellulose, 19% hemicellulose, and 15% lignin, can be used as a substrate for microorganisms by subjecting it to treatment with another class of enzymes to produce polylactic acid. This will be evaluated to see if it is an optimal biopolymer for use in the medical area, developing prostheses or other clinical materials.

KEY WORDS

cellulose, hemicellulose, bioplastic, mezcal, enzymes

Introducción

La idea de elaborar un producto utilizando los residuos de agave mezcalero nace del análisis respecto a la cantidad de mezcal que se produce a nivel nacional (aproximadamente 7.4 millones de litros en 2019) y, por consecuencia, los residuos que se generan de igual magnitud. Por ello, se propone utilizar el residuo sólido de la industria llamado *bagazo* para desarrollar un bioplástico o biopolímero lo suficientemente resistente y óptimo para emplearlo como materia prima en la industria médica, con el fin de reducir contaminantes en el proceso de elaboración de prótesis.

México es uno de los principales países productores de bebidas alcohólicas, como el tequila y el mezcal. En el año 2019 tuvo una producción total de más de 7.4 millones de litros de mezcal y de 351.7 millones de litros de tequila (Sánchez, 2020). El estado de Michoacán ocupa el tercer lugar a nivel nacional en la producción de dichas bebidas, con una cantidad de 800 000 y 300 000 litros, respectivamente (Delegación de la Sader Michoacán, 2018).

Una vez destilado el mezcal quedan residuos líquidos y sólidos, llamados vinaza y bagazo. Los segundos son los de principal interés para nuestro trabajo, ya que su conformación consiste principalmente en lignina, celulosa y hemicelulosa, por lo que se les conoce también como residuos lignocelulósicos. Este material resulta un polímero de interés industrial porque es biodegradable y un recurso renovable (Hon, 2000; Íñiguez et al., 2007; Reveles Ramos et al., 2012; Stewart et al., 1997). Si no se les da un manejo adecuado, estos residuos podrían acumularse de forma desmedida y ocasionar contaminación ambiental, ya que comienzan a cambiar de color, se ablandan y en la superficie se presenta invasión de hongos, levaduras, bacterias y fauna nociva como cucarachas, larvas de mosca y otros insectos (Martínez-Palacios et al., 2015).

Ya se han realizado estudios sobre la obtención de productos derivados de estos residuos, por ejemplo, combustibles y algunos bioplásticos derivados de la transformación de la biomasa proveniente del bagazo por diferentes tratamientos, partiendo tanto de agave de la industria tequilera o mezcalera como de alguna otra fuente de material celulítico.

Por ejemplo, los resultados de la investigación de García Vargas (2017) mostraron que la proporción óptima para obtener un bioplástico con la suficiente elasticidad y tracción debe ser 60% de bagazo de caña y 50% de caucho natural.

Por su parte, el objetivo general del trabajo de Ortega Cahui (2019) fue obtener un bioplástico a escala de laboratorio a partir de paja y residuos de arroz partido. Los resultados fueron las proporciones adecuadas para el bioplástico.

Asimismo, la finalidad de la investigación de Rodríguez Sepúlveda (2014) fue elaborar y caracterizar biocompuestos basados en fibra del pseudotallo de plátano. Para ello, se trataron las fibras del pseudotallo de plátano con 1% de xilano. En conclusión, la fibra tratada del pseudotallo de plátano (20%) y matriz de poliéster tuvo una resistencia a la tracción de

37.1 MPa. Además, la fibra sin tratar del pseudotallo de plátano (20%) y matriz de poliéster tuvo una resistencia a la tracción de 32.9 MPa.

Por lo tanto, toda la información recabada lleva a la siguiente pregunta de investigación: ¿cuáles son las condiciones más adecuadas para producir un bioplástico a partir de bagazo de agave mezcalero usando microorganismos?

Metodología y materiales

Materiales y reactivos

Materiales. Se emplearán diversos tipos de hongos y bacterias:

- *Sclerotinia sclerotiorum* (conocido comúnmente como hongo de podredumbre blanca)
- Agar de dextrosa de papa (PDA Merck, de Darmstadt, Alemania), enriquecido con diferentes concentraciones de KHCO_3 (Fermont, de Monterrey), como medio de cultivo para la propagación de *S. sclerotiorum*
- *Lactobacillus bulgaricus*
- Agar MRS (10 g/L de proteosa peptona n.º 3, 10 g/L de extracto de carne, 5 g/L de extracto de levadura, 20 g/L de dextrosa, 1 g/L de polisorbato 80, 2 g/L de citrato de amonio, 5 g/L de acetato de sodio, 0.1 g/L de sulfato de magnesio, 0.05 g/L de sulfato de manganeso, 2 g/L de fosfato dipotásico y 15 g/L de agar), como medio de cultivo para la propagación de *L. bulgaricus*

Reactivos:

- NaOH al 10%
- Peróxido de hidrógeno (H_2O_2)

Obtención de la materia prima

Para llevar a cabo la metodología se empleará bagazo de la industria mezcalera, específicamente de la destiladora de mezcal El Cuerdo, de la empresa Ex Hacienda Zacapendo; se obtendrá una cantidad aproximada de 5 kg para realizar los tratamientos necesarios.

Mantenimiento y almacenamiento de los microorganismos

El crecimiento de *Sclerotinia sclerotiorum* en medio de agar se produce en un rango de temperatura de 0 a 35° C (Chupp y Sherf, 1960). El pH de crecimiento de dicho patógeno se produce en un rango de 2.3 a 7.5. Muchos estudios de nutrición estiman que las fuentes de crecimiento de *S. sclerotiorum* se ven favorecidas principalmente por fuentes de carbono y nitrógeno, por ejemplo, de carbohidratos tales como glucosa y fructosa (Sotomayor García, 2011). Los esclerocios se aislarán directamente de cultivo de cebolla, el cual tendrá un tratamiento de

desinfección con hipoclorito de sodio al 3% durante 30 segundos, 1 minuto en alcohol al 70% y 2 minutos en agua destilada estéril (Aguilar-Ulloa et al., 2016).

Para el aislamiento de *L. bulgaricus* se tomarán 10 mL o 10 g del producto; se llevarán a 90 mL de agua peptonada al 1% (P/V) y se procederá a realizar diluciones seriadas, hasta 10⁻¹⁰; se harán siembras en superficie en agar MRS que se incubarán por 48 horas a 37 °C en condiciones de microaerofilia (10% CO₂), y se realizará una identificación morfológica por tinciones de Gram una vez terminado el proceso de incubación (Ramírez Muñoz, 2010).

Determinación de biomasa y pretratamiento

Para la determinación de biomasa lignocelulósica es necesario que la muestra se encuentre libre de extractos. Las normas refieren el porcentaje de cada compuesto respecto al total de compuestos estructurales. Las sustancias extraíbles con disolventes son principalmente resinas, fenoles y algunos otros, incluidos algunos hidratos de carbono de bajo peso molecular o lignina soluble (Barroso, 2010).

Una vez obtenida la materia prima, se le dará un pretratamiento con NaOH al 10% con el fin de eliminar ceras o resinas y de que sea más fácil de manejar.

Hidrólisis enzimática y fermentación

Se utilizarán enzimas llamadas celulasas, las cuales se pueden adquirir en la tienda en línea Merck, especializada en la venta de productos químico-biológicos. Las celulasas se encargan de llevar a cabo la hidrólisis enzimática, de la cual se pretende obtener glucosa.

La glucosa será sometida a una fermentación anaeróbica en presencia de diferentes cepas de *Lactobacillus*, como lo es la cepa de *Lactobacillus bulgaricus*. De esta fermentación se obtendrá ácido láctico y, como subproductos, etanol y dióxido de carbono.

Se llevará a cabo una polimerización por policondensación por fusión directa del ácido láctico para la obtención de ácido poliláctico. Esto debido a que "es de gran importancia cuando se desean obtener polímeros de bajo peso molecular, principalmente para aplicaciones médicas, debido a la facilidad del proceso y el bajo costo" (Pinzón et al., 2006).

Caracterización del bioplástico

Para la caracterización del bioplástico se seguirá el siguiente protocolo:

1. Determinación de biodegradabilidad obtenida. Se considerará la norma ASTM D6400-99, especificación estándar para los plásticos compostables, la cual establece los requisitos que debe cumplir un producto, y la norma ASTM D5338-98, método de ensayo estándar para la determinación de la degradación aeróbica de los materiales plásticos en condiciones controladas de compostaje, que es una norma de procedimiento para medir la degradación aeróbica.

2. Las pruebas de tensión serán evaluadas de acuerdo con la norma ASTM D638-10.
3. Las pruebas para la reflexión serán evaluadas de acuerdo con la norma ASTM D790-10.
4. Evaluación de resistencia frente a impactos de acuerdo con la norma ASTM D256-10. La resistencia a la compresión es un buen indicador de la capacidad de los diferentes materiales plásticos de soportar cargas a corto plazo. Se mide aplicando una fuerza creciente sobre una probeta cilíndrica o cúbica sujeta entre dos placas mientras se mide la presión y la elongación.
5. La determinación de toxicidad y citotoxicidad se medirá con base en la norma UNE-EN ISO 11348-3, debido a que son dispositivos que permanecen en el interior del cuerpo humano durante un periodo variable (desde varios días hasta 10 o 15 años).
6. Para la determinación de biodegradabilidad del polímero en medio acuoso se seguirán las directrices marcadas por la norma UNE-EN ISO 14852.

Conclusiones

Con base en la información obtenida de la literatura, es muy viable y acertado el proceso que se plantea para la obtención del plástico a partir del bagazo de agave mezcalero, ya que los microorganismos propuestos son específicos para la degradación de elementos como la lignina y la hemicelulosa. A su vez, éstos proporcionan celulosa, la cual producirá glucosa, que llevará a condiciones específicas de fermentación, con lo que se generará ácido láctico, el cual posteriormente pasará por un proceso de policondensación por polimerización para obtener ácido poliláctico y así llevarlo a tratamiento para moldear y dar el terminado final del bioplástico.

Asegurando las mejores condiciones para cada elemento de la metodología, se obtendrá un bioplástico biodegradable mecánicamente resistente y útil para diversos usos, en este caso se propone fabricar prótesis médicas. Para lograrlo, es necesario elegir las mejores condiciones para cada parte de la metodología, que éstas sean óptimas para el funcionamiento y así se logre experimentalmente de la mejor manera.

En caso de lograr desarrollar lo aquí planteado, se podrá obtener finalmente un bioplástico biodegradable pero asimismo mecánicamente resistente y útil para utilizarlo en la producción de prótesis médicas. El producto tendría un impacto muy importante en el aprovechamiento del bagazo de agave mezcalero y, a su vez, en la reducción del uso de plásticos derivados del petróleo en el ámbito médico.

Referencias

Aguilar-Ulloa, W., Arce-Acuña, P. y Rivera-Méndez, W. (2016). Identificación y caracterización molecular del hongo causante de la pudrición blanca en *Allium cepa*, en Llano Grande

- de Cartago, Costa Rica. *Tecnología en Marcha*, 29, 51-56. <http://dx.doi.org/10.18845/tm.v29i7.2705>
- Barroso Casillas, M. (2010). Pretratamiento de biomasa celulósica para la obtención de etanol en el marco de una biorrefinería. https://oa.upm.es/10559/1/MIGUEL_BARROSO_CASILLAS.pdf
- Chupp, C. y Sherf, A. F. (1960). *Vegetable diseases and their control*. The Ronald Press Company.
- Delegación de la Sader Michoacán (2018). *Michoacán ocupa el tercer lugar a nivel nacional en producción de agave*. <https://www.gob.mx/agricultura/michoacan/articulos/michoacan-ocupa-el-tercer-lugar-a-nivel-nacional-en-produccion-de-agave?idiom=es>
- García Vargas, C. C. (2017). *Obtención de un material biocompuesto a partir de bagazo de caña de azúcar y caucho natural como sustituto del plástico* [Tesis de Ingeniería Ambiental]. Universidad César Vallejo. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/3533>
- Hon, D. (2000). Pragmatic approaches to utilization of natural polymers: challenges and opportunities. En E. Frollini, A. Lleao y L. H. C. Mattoso, *Natural polymers and agrofibers based composites* (pp. 1-14). Universidade de São Paulo, Instituto de Química de São Carlos, Embrapa Instrumentação Agropecuária, Universidade Estadual Paulista-Faculdade de Ciências Agrônomicas.
- Íñiguez, G., Fuentes, F., Langue, S., Rowell, R. (2007). Bagazo de agave como materia prima para la fabricación de tableros aglomerados. En F. Fuentes Talavera, J. A. Silva Guzmán y J. Ramos Quirarte (Eds.), *Obtención de materiales compuestos empleando polímeros naturales* (pp. 15-34). Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías-Universidad de Guadalajara, Editorial Amate.
- Martínez-Palacios, A., Toral Paz, J., Herrera-Camacho, J. y Sánchez-Vargas, N. M. (2015). Prospectiva estratégica para el aprovechamiento del bagazo residual de agave generado al producir mezcal en Michoacán. En B. Flores Romero y F. González Santoyo (Coords.), *La empresa de clase mundial palanca del desarrollo económico* (pp. 1536-1569). Ilustre Academia Iberoamericana de Doctores.
- Ortega Cahui, M. B. (2019). *Elaboración de bioplástico a partir de paja y residuos de granos de arroz* [Tesis de Ingeniería Industrial]. Universidad Tecnológica de Perú. https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/2810/Mariangela%20Ortega_Trabajo%20de%20investigaci%C3%B3n_Bachiller_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Pinzón, J. E., Martínez, J. H., Espinosa, A., Narváez, P. C. y Pérez, A. (2006). Polimerización de ácido (dl) láctico mediante policondensación por fusión directa. Estudio cinético de la etapa de oligomerización. *Revista Colombiana de Química*, 35(2), 125-134. <https://www.redalyc.org/pdf/3090/309026669009.pdf>

- Ramírez Muñoz, F. A. (2010). *Aislamiento de bacterias Lactobacillus sp. y levaduras a partir de productos lácteos artesanales y evaluación de la capacidad antagónica in vitro* [Trabajo de grado]. Pontificia Universidad Javeriana Bogotá. <http://hdl.handle.net/10554/8624>
- Reveles Ramos, J. A. y Reveles Ramos, O. R. (2012, 23 de agosto). Método para la extracción de subproductos de bagazo de agave azul tequilana weber (WIPO, WO2012112018A1). <https://patents.google.com/patent/WO2012112018A1/es>
- Rodríguez Sepúlveda, L. J. (2014). *Elaboración de un material biocompuesto a partir de fibra de plátano* [Tesis de magister]. Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/52647/8911502.2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sánchez, S. (2020, 16 de abril). Exportaciones de mezcal se desploman 80% por pandemia de coronavirus. *Forbes*. <https://www.forbes.com.mx/negocios-exportaciones-mezcal-desploman-pandemia-coronavirus/>
- Sotomayor García, L. G. (2011). *Efectividad de aislados microbianos como agentes de biocontrol de Sclerotinia sclerotiorum en frijol* [Tesis de maestría]. Instituto Politécnico Nacional. <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/13145/Lucila%20Gpe%20Sotomayor%20Garc%C3%ADa%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Stewart, D., Azzini, A., Hall, A. y Morrison, I. (1997). Sisal fibres and their constituent non-cellulosic polymers. *Industrial Crops and Products*, 6(1),17-26.

inventio

La génesis de la cultura universitaria en Morelos

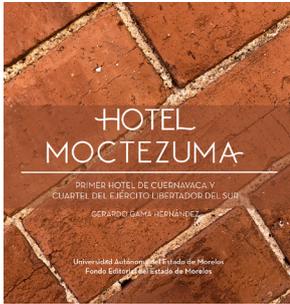
Año 17, núm. 43, noviembre 2021

ISSN: 2007-1760 (impreso) 2448-9026 (digital)

SIGNIFICAR CON TEXTOS

Fondo Editorial UAEM

- Hotel Moctezuma. Primer hotel de Cuernavaca y cuartel del Ejército Libertador del Sur
- Sobre la animalidad (y otros textos afines a la política contemporánea)
- Habilidades de investigación en el posgrado: estrategias metodológicas
- Tiempos, espacios y lugares sobre la discapacidad: ensayos, testimonios e investigaciones
- Políticas y dinámicas económicas, educativas y poblacionales: del ámbito local al global
- 16 de abril. Una propuesta de inicio de año prehispánico para el Cuauhnáhuac
- Descifrando Latinoamérica: género, violencia y testimonio
- La complejidad de las violencias: saberes, actores y escenarios
- Xochicalco/Xochelkahlme
- Manual de promoción para el bienestar personal, familiar y comunitario



Hotel Moctezuma. Primer hotel de Cuernavaca y cuartel del Ejército Libertador del Sur

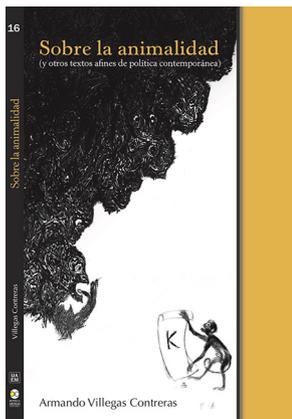
Gerardo Gama Hernández

UAEM/Secretaría de Turismo y Cultura del Poder Ejecutivo del Gobierno del Estado de Morelos, Cuernavaca, 2021, 295 páginas

ISBN: 978-607-8784-52-3

Consulta: <http://libros.uaem.mx/producto/hotel-moctezuma-primer-hotel-de-cuernavaca-y-cuartel-del-ejercito-libertador-del-sur/>

El ex Hotel Moctezuma de Cuernavaca es un inmueble que rompe con los estilos arquitectónicos de su época y muestra una verdadera innovación tecnológica con base en un sistema constructivo que empleó para su total edificación un ladrillo hueco rojo prensado, fabricado con la arcilla del suelo de la ciudad. Esta publicación aporta análisis y descripciones históricas, arquitectónicas y arqueológicas que muestran la importancia de este inmueble, sus contextos, alcances, levantamientos y etapas constructivas, además de una selección de imágenes, algunas inéditas, que ayudan a una mejor comprensión de esta obra.



Sobre la animalidad (y otros textos afines a la política contemporánea)

Armando Villegas Contreras

UAEM/Bonilla Artigas Editores, Cuernavaca, 2021, 160 páginas

ISBN: 978-607-8639-89-2

Consulta: <http://libros.uaem.mx/producto/sobre-la-animadidad-y-otros-textos-afines-a-la-politica-contemporanea/>

Este libro se divide en dos partes: la primera trata la problemática de la cuestión animal, que ha quedado como rastro en los problemas filosóficos, políticos y estéticos contemporáneos. Su aparición y debate, pero también su espectro, conducen a reflexionar sobre la violencia, la crueldad y las relaciones que hemos establecido con los animales, y cómo esa violencia se sostiene en los grandes valores de lo humano. En la segunda parte la cuestión de la animalidad se ubica en el margen de la discusión, pero no como desaparición sino más bien como una huella en las actuales reflexiones en torno a los temas de la política.



Habilidades de investigación en el posgrado: estrategias metodológicas

María Alejandra Terrazas Meraz, María Luisa Zorrilla Abascal y
Ofmara Yadira Zúñiga Hernández

UAEM/Miguel Ángel Porrúa, Cuernavaca, 2021, 312 páginas

ISBN: 978-607-8784-18-9

Consulta: <http://libros.uaem.mx/producto/habilidades-de-investigacion-en-el-posgrado-estrategias-metodologicas/>

En la presente obra las autoras explican, a partir de sus experiencias como investigadoras en educación y salud, algunos aspectos fundamentales de la metodología que permitirán a estudiantes de posgrado interesados en los procesos de investigación identificar los requerimientos metodológicos para llevar a buen fin sus proyectos de titulación, ya sean tesinas, tesis o publicación de artículos. En sus páginas encontrarán orientación sobre la elección de un diseño de investigación, la elaboración y validación de cuestionarios, aspectos importantes de los estudios fenomenológicos, formas para realizar estudios etnográficos, e-metodologías, entre otros.



Tiempos, espacios y lugares sobre la discapacidad: ensayos, testimonios e investigaciones

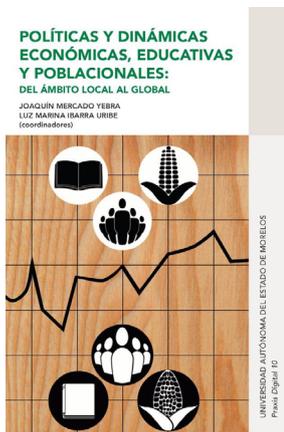
Gustavo Adolfo Enríquez Gutiérrez, Israel Tonatiuh Lay
Arrellano y Luis Pérez Álvarez

UAEM, Cuernavaca, 2020, 213 páginas

ISBN: 978-607-8639-74-8

Consulta: <http://libros.uaem.mx/producto/tempos-espacios-y-lugares-sobre-la-discapacidad-ensayos-testimonios-e-investigaciones/>

Este libro busca discutir las ideas acerca de la discapacidad generadas en el mundo social, en los tiempos, espacios y lugares políticos y culturales asignados en las instituciones educativas. Se trata de una tarea colectiva que pretende entender y confrontar los significados sociales sobre los cuerpos, ideas, creencias, prácticas y valores que culturalmente se tienen, a fin de mirar, escuchar, señalar e indicar, desde otras perspectivas, a las personas con discapacidad en las instituciones educativas. La obra busca entablar un diálogo con los lectores, a fin de ampliar el debate sobre la discapacidad y reconsiderar la condición humana en su diversidad.



Políticas y dinámicas económicas, educativas y poblacionales: del ámbito local al global

Joaquín Mercado Yerba y Luz Marina Ibarra Uribe

UAEM, Cuernavaca, 2018, 354 páginas

ISBN: 978-607-8519-60-6

Consulta: <http://libros.uaem.mx/producto/politicas-y-dinamicas-economicas-educativas-y-poblacionales-del-ambito-local-al-global/>

El proceso de globalización ha significado ganancias y pérdidas entre países y al interior de ellos. México se incorporó de manera tardía a este proceso y buscó estabilidad macroeconómica, apertura comercial y funcionamiento del sistema de precios mediante un conjunto de reformas propuestas por el Fondo Monetario Internacional. Este proceso se profundizó en los años noventa y ha continuado hasta el día de hoy. El objetivo de este libro es presentar y discutir resultados de investigaciones sobre políticas y dinámicas económicas, educativas y poblacionales desde una perspectiva del ámbito local pero en el contexto general de la globalización.



16 de abril. Una propuesta de inicio de año prehispánico para el Cuauhnáhuac

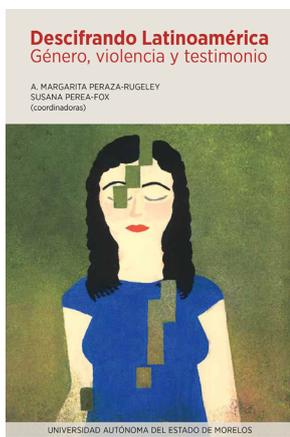
Francisco Granados Saucedo

UAEM, Cuernavaca, 2020, 43 páginas

ISBN: 978-607-8784-00-4

Consulta: <http://libros.uaem.mx/producto/16-de-abril-una-propuesta-de-inicio-de-ano-prehispanico-para-el-cuauhnahuac/>

Esta obra tiene como propósito hurgar en las huellas ocultas e indelebles que dejaron los matlatzincas en su estadía en el Cuauhnáhuac prehispánico. No sobrevivieron las fuentes indígenas pero sí las montañas y puntos solares donde los sacerdotes-astrónomos fijaron las fechas que dieron estructura a su sistema calendárico. Una de éstas quedó consignada por la salida del Sol sobre el Popocatepetl el 16 de abril, que marca el inicio del año prehispánico matlatzinca. En esta obra se expone una serie de fechas solares e intervalos numéricos que dan muestra de la estructura del calendario matlatzinca que probablemente funcionó en el Cuauhnáhuac antes de la llegada de los tlahuicas.



**Descifrando Latinoamérica:
género, violencia y testimonio**

A. Margarita Peraza Rugeley y Susana Perea Fox

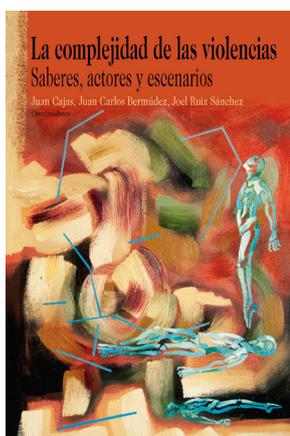
UAEM, Cuernavaca, 2018, 279 páginas

ISBN: 978-6078-639-00-7

Consulta: <http://libros.uaem.mx/producto/descifrando-latinoamerica-genero-violencia-y-testimonio-acceso-abierto/>

Este libro reflexiona sobre la manera en que se producen la memoria y los procesos de memorialización, el papel femenino en los escritos literarios y cómo la violencia en sus múltiples formas afecta a las mujeres y a los grupos marginados.

Su objetivo es enriquecer los estudios humanísticos. La antología de once autoras propone un recorrido desde diferentes perspectivas y estrategias de varias manifestaciones culturales analizadas por ellas (desde obras literarias hasta imágenes o monumentos conmemorativos), a partir de una serie de cruces, intersecciones y líneas de fuga en torno a la “otredad” femenina o extranjera.



**La complejidad de las violencias:
saberes, actores y escenarios**

Joel Ruiz Sánchez, Juan Carlos Bermúdez y

Juan de Dios Cajas Castro

UAEM/Itaca, Cuernavaca, 2020, 228 páginas

ISBN: 978-607-8639-91-5

Consulta: <http://libros.uaem.mx/producto/la-complejidad-de-las-violencias-saberes-actores-y-escenarios/>

A través del hilo conductor de la violencia, los ensayos que componen esta obra permiten develar aspectos de la realidad nacional y de la región. Los autores exploran los nexos entre cultura digital, hiperviolencia y narcotráfico; analizan la violencia digital y las repercusiones jurídicas de la Ley Olimpia y la necesidad de repensar el derecho; estudian la percepción ambiental y la imagen para discutir la existencia de una cultura depredatoria de guerra que violenta la Tierra, y observan la necropolítica, un concepto que aplican creativamente en dos estudios de caso: el feminicidio en Morelos y los desplazamientos forzados, entre otros temas relacionados.



Xochicalco/Xochelkahlme

Daniela Lorenzana Molina y Miroslava Cruz Aldrete

UAEM/Secretaría de Turismo y Cultura del Poder Ejecutivo del Gobierno del Estado de Morelos,

Cuernavaca, 2020, 200 páginas

ISBN: 978-607-8784-10-3

Consulta: <http://libros.uaem.mx/producto/xochicalco-xochelkahlme/>

Esta obra, dirigida al público infantil, es la propuesta de un grupo de profesionales provenientes de diversas disciplinas, entre ellas la lingüística y la literatura, para hacer partícipes a los usuarios de la lengua de señas mexicana o a los hablantes de una lengua indígena de la riqueza cultural de México, en particular de su grandioso pasado prehispánico. Este propósito se concreta en este libro, que nos presenta una narración, en español y náhuatl, acompañada de cuidadas ilustraciones y cuyo escenario es el sitio arqueológico de Xochicalco.

Manual de promoción para el bienestar personal, familiar y comunitario

Miriam de la Cruz Reyes
Blanca Isela Eloísa Balderas
Marta Caballero
(coordinadoras)



Universidad Autónoma del Estado de Morelos

Manual de promoción para el bienestar personal, familiar y comunitario

Miriam de la Cruz Reyes, Blanca Isela Eloísa Balderas y Marta Caballero García

UAEM, Cuernavaca, 2019, 85 páginas

ISBN: 978-607-8639-91-5

Consulta: <http://libros.uaem.mx/producto/manual-de-promocion-para-el-bienestar-personal-familiar-y-comunitario/>

Ésta es una guía de trabajo para profesionales comunitarios que tienen bajo su responsabilidad programas de educación, salud y desarrollo social comunitario. Ejemplifica el trabajo que se desarrolló en el marco de un proyecto de intervención titulado Albergues Cañeros y Calidad de Vida realizado por académicas y estudiantes de distintos niveles e implementado con población migrante interna en el oriente del estado de Morelos. El proyecto tuvo como propósito ofrecer a las familias (madres y niños de los albergues) información sobre nutrición, comunicación, prevención de la violencia, valores, familia y proyectos de vida. El uso de distintas metodologías es uno de los aspectos que se destacan en este manual, que constituye un valioso material que el promotor puede adaptar y modificar según sus propios materiales, dinámicas y actividades.