

Entorno

REVISTA DE CONOCIMIENTO E INNOVACIÓN

UDLAP

COLORIMETRÍA EN
LA EXHIBICIÓN DE
ANIMACIÓN:
MÉTODOS NUMÉRICOS
APLICADOS AL FESTIVAL
ANIMASIVO, EDICIÓN 2020



Implementación de PREBIÓTICOS y PROBIÓTICOS

en individuos con ansiedad o estrés: revisión sistemática

udlap.mx



ISSN 2594-0155

Indizada en Latindex

DISTRIBUCIÓN GRATUITA SEP-DIC 2024

UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS PUEBLA

#24

CONTENIDO

2. COLORIMETRÍA EN LA EXHIBICIÓN DE ANIMACIÓN:

métodos numéricos aplicados al Festival Animasivo, edición 2020

► Colorimetry in animation exhibition: numerical methods applied to the Animasivo Festival, 2020 edition

Por: Carlos Isaac González Maldonado y Nuria Margarita Menchaca Brandan

20. UNA MIRADA A LA ORGANIZACIÓN DESDE LA COMPLEJIDAD

► A look at the organization from complexity

Por: José de Jesús Bravo Amador

▲ 32. PORTADA

IMPLEMENTACIÓN

DE PREBIÓTICOS Y PROBIÓTICOS

en individuos con ansiedad o estrés: revisión sistemática

► Implementation of prebiotics and probiotics in individuals with anxiety or stress: a systematic review

Por: Daniel Armando Villarreal Portillo, Miriam Chavarría Suárez, Edgar Farias Cano, David Gustavo Rodríguez Ramos, Erika Palacios Rosas

44. REVISIÓN DEL MARCO REGULATORIO

de la generación distribuida y las redes eléctricas inteligentes en México

► Review of the regulatory framework for distributed generation and smart grids in Mexico

Por: Ian Paul Lopez Tort y Pedro Bañuelos Sánchez

52. DESAFÍOS NORMATIVOS EN LA ERA DIGITAL:

desarrollo de IA y protección de datos

► Legal challenges on the digital era: development of AI and data protection

Por: Juan Manuel Rivera Vélez

Entorno UDLAP

REVISTA DE CONOCIMIENTO E INNOVACIÓN

PRESIDENCIA

René Alejandro Lara Díaz

EDITOR GENERAL

Israel Cedillo Lazcano

CONSEJO EDITORIAL

Dirección ejecutiva

Zobeida Jezabel Guzmán Zavaleta
Directora general de Doctorados

Secretaría ejecutiva

Lorena Martínez Gómez
Directora general de la
Oficina de Rectoría

Coordinación editorial

Rosa Quintanilla Martínez
Jefa de Publicaciones

Edición gráfica

Sonia Gisella
Aguirre Narváez
Profesora de la Licenciatura en
Diseño de Información Visual

Biblioteca

Antonio Felipe
Razo Rodríguez
Director de Bibliotecas

Tecnologías de la Información

Alberto Augusto
Manzanilla Hernández
Director general de Tecnologías de
la Información

Diseño editorial

Willy Daniel Sepúlveda Juárez

Ilustraciones

Angélica Cabañas Ramírez

Corrección de estilo

Andrea Garza Carbajal
Román Esaú Ocotitla Huerta
Beatriz Ramírez Bertolini

Fotografías

www.freepik.es

COMITÉ EDITORIAL

EDITORES ASOCIADOS

Artes y Humanidades
Enrique Ajuria Ibarra

Ciencias
Miguel Ángel Méndez Rojas

Ciencias Sociales
Alison Elizabeth Lee

Ingeniería e Innovación
Aurelio López Malo Vigil

Negocios y Economía
Raúl Bringas Nostti

MIEMBROS DEL COMITÉ EDITORIAL

Antonio Alcalá González
Tecnológico de Monterrey

Lucila Castro Pastrana
Universidad de las Américas Puebla

Miguel Doria
UNESCO

Alexander James Hope
Universidad Autónoma de Madrid

Juan Enrique Martínez-Legaz
Barcelona Graduate School of Economics

Raúl Mújica García
Instituto Nacional de Astrofísica,
Óptica y Electrónica

Tony Payán
Rice University y Universidad Autónoma
de Ciudad Juárez

Ulises Sandal Ramos Koprivitz
Universidad de las Américas Puebla

Manuel Francisco Suárez Barraza
Universidad de las Américas Puebla

María Luisa Torregrosa y Armentia
Facultad Latinoamericana de
Ciencias Sociales

Jaime Urritia Fucugauchi
El Colegio Nacional y Universidad Nacional
Autónoma de México



ENTORNO UDLAP, Año 8, núm. 24, septiembre-diciembre 2025, es una publicación cuatrimestral editada por la Fundación Universidad de las Américas, Puebla. Ex hacienda Santa Catarina Mártir s/n, San Andrés Cholula, Puebla, C. P. 72810. Tel. 222 229 2109. Sitio web de la revista: <https://entorno.udlap.mx/>, correo electrónico: revista.entornoudlap@udlap.mx. Editor responsable: Israel Cedillo Lazcano. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo núm. 04-2025-042316150400-102, ISSN: 2594-0147, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número: Departamento de Publicaciones, Rosa Quintanilla Martínez, Ex hacienda Santa Catarina Mártir s/n, San Andrés Cholula, Puebla, C. P. 72810. Fecha de última modificación: 29 de agosto de 2025

Esta revista se publica bajo licencia de Creative Commons Atribución-No comercial-Compartir Igual 4.0 Internacional. CC BY-NC-SA 4.0» <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>



Los artículos publicados en *Entorno UDLAP* se someten a revisión por pares en el sistema de «doble ciego», es decir, que los árbitros no conocen el nombre de los autores del texto que revisan, ni los autores los nombres de quienes lo revisan. La responsabilidad del contenido de los artículos corresponde exclusivamente a los autores, y no necesariamente refleja la postura de los editores, miembros del consejo y comité editoriales o de la Universidad de las Américas Puebla.

EDITORIAL

En esta edición, nos encontramos con una línea editorial clara: el examen riguroso del funcionamiento de sistemas dinámicos complejos (biológicos, tecnológicos, energéticos, culturales y organizacionales) y la propuesta de vías prácticas para su comprensión, regulación y transformación. Los cinco artículos que aquí se reúnen no solo aportan conocimiento en sus respectivos campos, sino que, en su conjunto, dibujan una cartografía interdisciplinaria sobre cómo medir, gobernar y proteger aquello que hoy configura la vida social de la cual cada uno de nosotros forma parte.

Los autores del primer artículo aplican de manera innovadora la colorimetría y los métodos numéricos a la exhibición de cortometrajes de animación. Su propuesta demuestra cómo las técnicas cuantitativas (análisis de color y *clustering* digital) pueden ayudar a enriquecer la curatoría, la crítica y el archivo audiovisual. Aquí la contribución es doble: por un lado, muestra nuevas herramientas para investigadores y programadores culturales que trabajan con una creciente oferta de obras multimedia y transmedia; por otro, evidencia que el análisis computacional puede potenciar la sensibilidad estética mediante métricas reproducibles.

En el segundo artículo, con una reflexión teórico-práctica sobre la organización como sistema adaptativo complejo, se ilustra cómo ciertas experiencias institucionales durante la pandemia convergen en un planteamiento crucial, donde el enfoque sistémico ofrece marcos diagnósticos y tácticas de gestión para entornos de alta incertidumbre, subrayando la adaptación, la comunicación y la toma de decisiones informada.

Por otro lado, la investigación que inspira nuestra portada ofrece una revisión sistemática sobre el uso terapéutico de prebióticos y probióticos para tratar trastornos como la ansiedad y el estrés. El artículo sintetiza evidencia preclínica y clínica sobre la interacción del eje microbiota-intestino-cerebro, discute mecanismos posibles y reflexiona sobre las limitaciones metodológicas actuales. Más allá de sus aportes biomédicos, la revisión plantea una cuestión social urgente: la búsqueda de tratamientos complementarios seguros y accesibles frente a la carga creciente de trastornos de ansiedad.

En el trabajo «Revisión del marco regulatorio de la generación distribuida y las redes inteligentes en México», los autores revisan el marco constitucional y su derivado regulatorio, identifican obstáculos técnicos y administrativos, y proponen lineamientos para facilitar comunidades energéticas resilientes. Este artículo conecta directamente con demandas de justicia climática y eficiencia: la regulación, sostienen, puede ser palanca para democratizar el acceso a la energía y mitigar vulnerabilidades frente a crisis ambientales.

Esta edición cierra con un artículo que muestra la tensión entre innovación y derechos fundamentales: cómo permitir el potencial transformador de la inteligencia artificial sin diluir los elementos que nos permiten mantener nuestra privacidad y configurar nuestra propia identidad en un mundo donde las herramientas digitales interactúan de forma creciente con los elementos tangibles tradicionales. Esta reflexión es clave para legisladores y desarrolladores, pues señala rutas regulatorias que preservan la ética y la confianza social en la tecnología emergente.

Todos estos trabajos académicos comparten la exigencia de observar fenómenos heterogéneos como sistemas interdependientes: medir con precisión, diseñar normas y políticas pertinentes, y procurar que la innovación tecnológica o sanitaria sea socialmente legítima. La multidimensionalidad de los problemas exige diálogo entre disciplinas, saber académico, sociedad y Estado.

Al recorrer estas páginas, los lectores encontrarán aportes que informan decisiones públicas, inspiran prácticas profesionales y abren preguntas sustantivas aún por resolver. La revista cumple así su propósito: ofrecer un espacio donde la investigación sólida se encuentre con la urgencia social.

► Colorimetry in animation exhibition: numerical methods applied to the Animasivo Festival, 2020 edition

Colorimetría



en la exhibición de animación:

métodos numéricos aplicados al Festival Animasivo, edición 2020

Por:  Carlos Isaac González Maldonado · Nuria Margarita Menchaca Brandan



González Maldonado, C. I. y Menchaca Brandan, N. M. (2025). Colorimetría en la exhibición de animación: métodos numéricos aplicados al Festival Animasivo, edición 2020. *Entorno UDLAP*, 24.

➡ **Recibido:** 11 de julio de 2024 ✓ **Aceptado:** 4 de marzo de 2025

RESUMEN

Este artículo presenta la aplicación de métodos numéricos digitales en la colorimetría para generar mapas de color distintivos de cortometrajes de animación presentados en Animasivo Festival Internacional de Animación en México. Fundado entre 2007 y 2008 como el primer espacio dedicado a la animación en el país, este festival tiene el objetivo de explorar formatos, historias y contenidos, así como establecer conexiones entre América Latina y el mundo. Se describen los procedimientos de cuantificación y agrupamiento de color mediante el algoritmo K-Means Clustering (KMC) aplicados a una

muestra de 86 cortometrajes de animación de las cinco categorías en competencia en la edición 2020. Este artículo busca explorar y abrir una línea crítica sobre métodos instrumentales de medición para agrupar, clasificar, curar y reconocer patrones en la exhibición de animación y su potencial utilidad en la programación en festivales.

PALABRAS CLAVE

Color · Cinemáticas · Cuantificación en imagen digital · Aprendizaje automático no supervisado · KMC · Colorimetría

ABSTRACT

This article presents the application of digital numerical methods in colorimetry to generate maps of distinctive color from animated short films presented at the Animasivo International Animation Festival in Mexico. Founded between 2007 and 2008 as the first space dedicated to animation in the country, with the aim of exploring formats, stories, and content, and establishing connections between Latin America and the world. The article describes the procedures of color quantification and grouping using the K-Means Clustering (KMC) algorithm applied to a sample of 86 animated short films from the five competition categories in the 2020 edition. This article aims to explore and open a critical line of inquiry on instrumental measurement methods for grouping, classifying, curating, and recognizing patterns in animation exhibitions and their potential use on festival programming.

KEYWORDS

Color · Cinematics · Quantification on digital image · Non-supervised machine learning · KMC · Colorimetry

INTRODUCCIÓN

El uso de mediciones digitales en la imagen en movimiento permite una segmentación auxiliar sobre conocimiento y análisis de las obras cinematográficas, desde las cinemáticas descritas por Tsvian (2009). En la animación, estos datos cuantitativos pueden proporcionar una representación numérica de la obra que, aunque simplificada, ofrece una huella digital relacionada con aspectos formales, figurativos y de diseño. La colorimetría digital, como uno de estos métodos cinemáticos, sirve para la extracción y documentación cuantitativa de los colores dominantes y es de interés en los campos de las artes, el diseño y la comunicación visual, ya que ayuda a explicar la composición formal de cada fotograma producido en animación. A su vez, las tecnologías de la web e hipermedia, basadas en lenguajes de navegador e hipertextuales, permiten ofrecer métodos digitales que no solo extraigan estos colores desde las películas, sino

que también visualicen los espacios de color digital en cualquiera de sus espacios (RGB, HSV / HSL). Estos modelos pueden ser representados en mapas bidimensionales o tridimensionales para poder documentar la huella digital de color de obras de animación. En este artículo, se exponen casos demostrativos: mapas de color bidimensionales sobre cortos animados de Animasivo en su edición 2020.

El color, como efecto visible del espectro electromagnético, es un fenómeno de particular interés en la producción cinematográfica. Asimismo, los procesos de manufactura, edición y composición del color resultan vitales no solo en la realización, sino en la concepción misma de la obra. En su equivalencia, el color digital se refiere y enmarca las técnicas representativas que ilustran la imagen mediante su brillo, matiz y saturación a través de medios informáticos, para cualesquiera que sean sus programas o algoritmos de gestión (*i. e. software*). Por ejemplo, con una profundidad de bit por canal de 8 bits, es posible generar escalas de color en los canales primarios digitales R, G y B de hasta 256 valores por canal, o incluso puede crecer hasta 32 bits por canal. Estas profundidades, que para 8 bits conforman más de 16 millones de colores posibles, se expresan mediante un cubo tridimensional que puede ser explorado al conocer las proporciones y combinaciones entre los valores individuales de cada canal.

Para la tarea de diseño y elección de color, moverse por el modelo cúbico RGB de manera natural es algo complejo, pues debe conocerse de antemano el resultante de matiz a buscar por la combinación de tres canales. De igual manera, el modelo HSV (por sus siglas en inglés *hue, saturation, value*) también conocido como HSB (por sus siglas en inglés *hue, saturation, brightness*) es usualmente utilizado por artistas al estar más relacionado con el modo natural de pensar el color en términos de matiz y saturación, en vez de adicionar o sustraer del lienzo pensando en tres canales. El espacio HSB / HSV es una transformación del espacio RGB, y sus componentes y colorimetría están ligados naturalmente al RGB, al ser este el modelo fundamental de los píxeles. Véase, por ejemplo,



EL COLOR, COMO EFECTO VISIBLE DEL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO, ES UN FENÓMENO DE PARTICULAR INTERÉS EN LA PRODUCCIÓN CINEMATOGRAFICA. ASIMISMO, LOS PROCESOS DE MANUFACTURA, EDICIÓN Y COMPOSICIÓN DEL COLOR RESULTAN VITALES NO SOLO EN LA REALIZACIÓN, SINO EN LA CONCEPCIÓN MISMA DE LA OBRA.

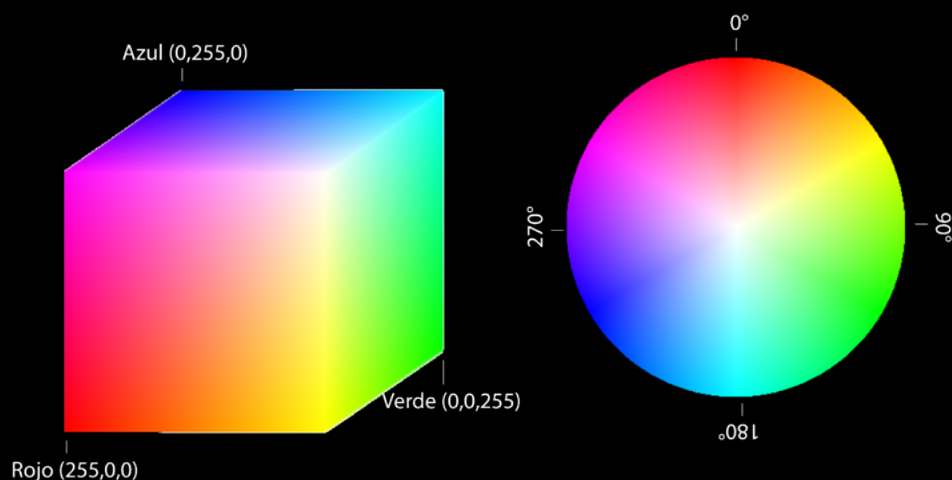


Figura 1. Comparativa del espacio RGB a 8 BPC (izquierda) contra el círculo cromático HSV, con etiquetas a 90 grados (derecha).

en la figura 1, la separación de matices, colores identificables con separación de 90° en el círculo cromático, que se relaciona con la *H* (*hue*) del modelo HSV / HSB, respecto a un cubo RGB de 8 bits por canal (i.e. 8 BPC), la naturalidad expresa en usar HSV / HSB.

Como se muestra en la figura 1, en un espacio RGB de 8 BPC, el identificar las notaciones de colores secundarios, como, por ejemplo, un simple matiz naranja, se expresaría como 255,125,0. En cambio, en RGB se expresaría como 30 grados de matiz en *hue*, 100% de saturación y 100 % de brillo. Sin duda, para combinaciones terciarias o posteriores, es más simple navegar por los grados de matiz de *hue* que por los valores de intensidad de cada canal primario expresado en RGB. Por ello, se advierte al modelo HSV / HSB como un sistema de identificación y exploración de color digital con mayor legibilidad.

Es importante señalar la relevancia de las tecnologías digitales para visualizar el uso y exploraciones de color en cine. Dicho de otro modo, que las herramientas hipermedia permiten conectar datos—en este caso de color— con otros como el tiempo de una imagen en movimiento. Un modelo considerable es el propuesto por Burghardt *et al.* (2016), que amplía el marco técnico y teórico de Tsivian (2009) y Salt (2006), que integran modelos de sintetizar el color de fotogramas, aunado a un análisis semántico del lenguaje natural presente en la película.

Otra de estas herramientas que se encuentran pública y accesible para la obtención de colores representativos de una imagen es Color, de la empresa de *software* de diseño Adobe

(Adobe, 2014). Esta herramienta web permite al usuario ingresar una imagen y obtener, entre otras funciones, sus colores dominantes. Una limitante identificada es que no es posible analizar de forma secuencial imágenes en movimiento, es decir, provenientes de fotogramas secuenciales.

Por otro lado, existen otras herramientas alojadas en la web, como iMJ de Zach Whalen (2016), donde se deben subir individualmente las secuencias en imagen rasterizada (hasta 9,999 fotogramas), para ejecutar tres operaciones (basadas en jQuery, Bootstrap, Glyphicon, Tinycolor.js, Super Fast Blur y Color Thief), secuenciación de imágenes en barras de color, montaje o diagrama planar.

DEFINICIÓN DE MÉTODOS

Para desarrollar una herramienta que permita visualizar tanto el espacio de color tridimensional del modelo HSV como los esquemas bidimensionales (similares a Adobe Color o iMJ), es esencial utilizar lenguajes de edición hipermedia como HTML, CSS, JavaScript, y *frameworks* como P5.js u OpenCV.js que facilitan la visualización en el navegador. Además, es necesario integrar algoritmos para la extracción de datos; aquí se utiliza el método de aprendizaje no supervisado (NSML) conocido como *Clustering*. Este método agrupa colores perceptualmente similares en clústeres o conjuntos, simplificando la cantidad de colores presentes en una imagen. El artículo explora específicamente el uso del algoritmo de K-Means Clustering o KMC (MacQueen, 1967) para el análisis del corpus. Para ello se toma como criterio primario el uti-

lizar una profundidad de color mínima a 8 bits por canal, esto con el objetivo de KMC, que es simplificar y minimizar grupos.

Definición en el espacio RGB digital a 8 BPC

Dado un conjunto de muestras de video digital de entre 360p mínimo y 720p máximo de resolución, en un espacio RGB de 8 bits por canal, donde cada observación es un vector con el objetivo de minimizar la suma de las distancias cuadradas dentro de cada clúster utilizando centroides aleatorios iniciales en el espacio RGB:

$$\arg \min_s \sum_{i=1}^k \sum_{x \in S_i} \|x_{RGB} - \mu_{i,RGB}\|^2$$

donde x_{RGB} y $\mu_{i,RGB}$ son vectores de color en el espacio RGB.

Conversión a espacio HSV / HSB

Después de formar los clústeres en el espacio RGB, cada centroide y los puntos de color en el clúster se convierten al espacio HSV. La fórmula de minimización se adapta al nuevo espacio de color:

$$x_{HSV} = f(x_{RGB}), \mu_{i,HSV} = f(\mu_{i,RGB})$$

donde f es la función de conversión de RGB a HSV / HSB.

Posteriormente, se debe realizar la minimización de la suma de las distancias cuadradas en el espacio HSV, donde x_{HSV} y $\mu_{i,HSV}$ son los vectores convertidos al espacio HSV / HSB.

$$\arg \min_s \sum_{i=1}^k \sum_{x \in S_i} \|x_{HSV} - \mu_{i,HSV}\|^2$$

Mapeo de las muestras en línea temporal y mapas HSV

Al aplicar este método numérico a imágenes digitales en el espacio de color RGB de 8 bits por canal, utilizando una simplificación cercana a $K=1$, se realiza una comparación mediante

muestreo y promediación. En primer lugar, es permisible un espacio lineal que simplemente presente las muestras o agrupaciones obtenidas donde cada color se presente de manera unidireccional o bidimensional (tiempo contra color). Esto puede verse en las figuras 2 y 3, donde se presenta un mapa direccional bidimensional de visualización de los clústeres o agrupaciones extraídas desde un video de control, que muestra los colores primarios y otras gamas básicas secundarias. Este mapa expresa una lectura lineal unidireccional de izquierda a derecha, donde el color rojo fue presentado en el primer fotograma y subsecuentemente el amarillo, verde, cian, azul, etcétera. Dicho mapeo se utilizará más adelante para expresar la selectividad de color de forma ordenada respecto a un fotograma inicial y un fotograma n o final. Véanse las figuras 2 y 3, respectivamente.

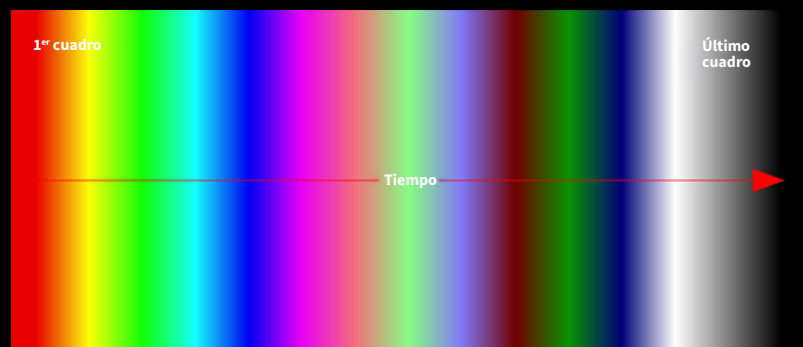


Figura 2. Mapa de color bidimensional que visualiza un video de control, aplicando muestreo por KMC con $K=1$.

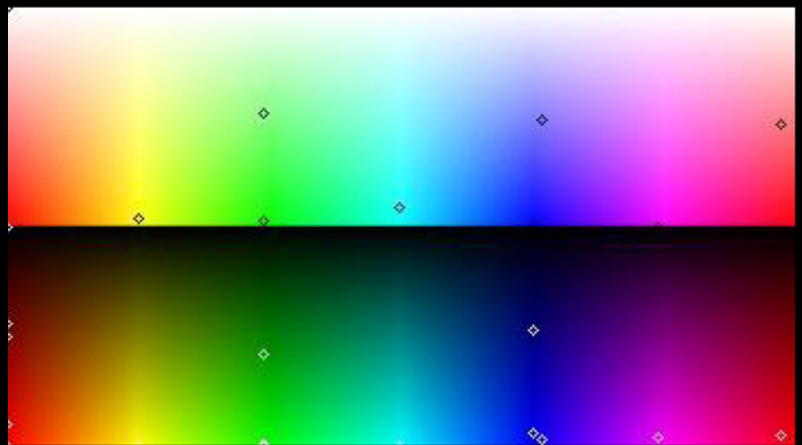


Figura 3. Mapa de muestreo cartesiano del espacio HSV (H vs. S y H vs. V). Presenta los puntos de muestreo por KMC con $K=1$.

Por otro lado, como se muestra en las figuras 2 y 3, existe otra forma de representar los colores utilizados o medidos: mediante un mapa bidimensional en el que se organiza el espectro del espacio HSV / HSB según dos tipos de mapeo. El primero presenta las muestras en función de su ubicación espacial según el matiz y la saturación (*hue/saturation*), y el segundo, según el matiz y el valor o brillo (*hue/value*). Esta representación no obedece a una secuencia temporal de extracción, sino a la posición que ocupan las muestras dentro del espacio completo HSV, extraídas de un video determinado. Cabe destacar que se requieren dos comparaciones para representar la información en dos mapas bidimensionales.

Este orden de información es complementario pero independiente del mapa de color bidimensional expresado anteriormente, pues puede ser legible para dirimir cómo se pueblan los matices contra su saturación y valor de un objeto en análisis. Cabe decir que el mismo mapa igualmente puede convertirse en su expresión de coordenadas polares, donde la similitud contra la rueda cromática ya se hace visible y

se pueden relacionar los grados del matiz, más allá de una lectura horizontal y vertical, mostrada en la figura 4.

Otro aspecto metodológico es la recolección y selección de obras, que, para el corpus de análisis, se han sometido a prueba muestral los 86 cortometrajes en selección oficial por Animasivo, edición 2020, en su copia digital de al menos 360p. La razón, debe aclararse, no es la de comparar formalmente ambos orígenes y sus contextos formales, sino mostrar que las metodologías de extracción y visualización que se plantean en el presente artículo sirven para cualquier tipo de muestreo.

Para la obtención de los datos de color de cada obra como corpus, se aplicaron los métodos de agrupamiento y muestreo digital. En cada obra se utilizó su archivo digital de video y fue procesado primordialmente por el método K-Means Clustering con valores mínimos de $K=1$ y hasta $K=5$. Para presentar una versión simplificada y a la vez variable de esos datos numéricos, se han elaborado mapas de color que unidimensionalmente definen de manera ordenada el inicio y fin de los colores dominantes de los

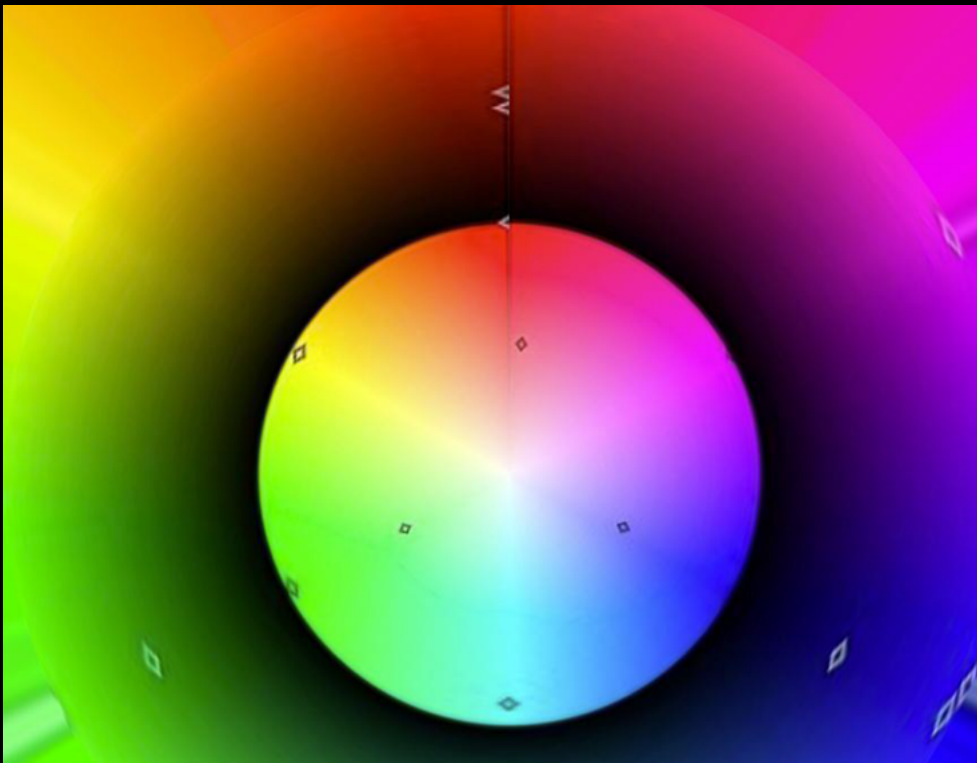


Figura 4. Mapa de muestreo en coordenadas polares del espacio HSV (H vs. S $\cap$ H vs. V). Presenta los puntos de muestreo por KMC con $K = 1$.

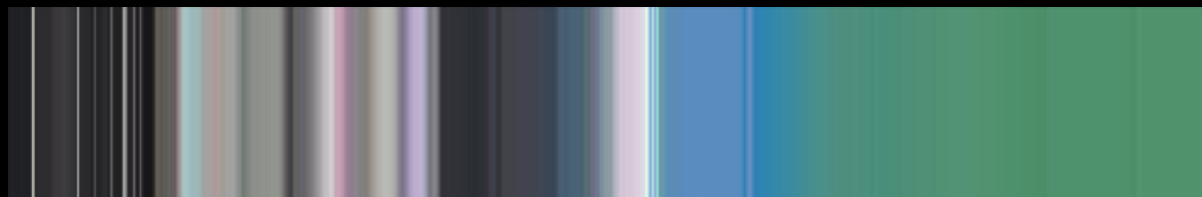


Figura 5. Mapa unidireccional de colores (i.e. barra de colores) muestrados para la cortinilla promocional de Animativo 2020.

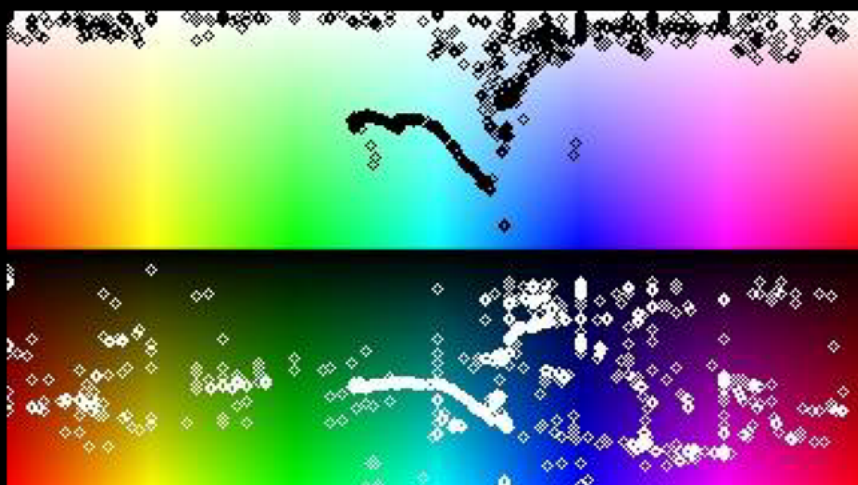


Figura 6. Mapa de muestreo cartesiano o de coordenadas polares del espacio HSV (H vs. S ∩ H vs. V) para la cortinilla promocional de Animativo 2020.

fotogramas procesados, que se discuten más adelante en la sección de resultados.

Por su parte, el diseño de la interfaz web permite ejecutar estos métodos directamente desde un navegador como Google Chrome, Firefox o Safari, utilizando el ordenador del usuario. Como entrada, se requiere un archivo de video digital en un formato compatible con el navegador (por ejemplo, mp4, mov, webm, 3gp, ogg), y como salida se generan dos mapas:

- I. Mapa unidireccional de colores ordenados temporalmente en barras de color.
- II. Mapa de muestreo cartesiano o de coordenadas polares del espacio HSV (H vs. S ∩ H vs. V).

Por ejemplo, para mostrar gráficamente la resultante de ambos mapas, se presentan en las figuras 5 y 6 los métodos aplicados a la cortinilla oficial de Animativo.

CORPUS DE ESTUDIO

Los procedimientos digitales que son resultantes de los métodos descritos con anterioridad fueron aplicados para el corpus de las obras en exhibición del festival Animativo. Este corpus

de análisis está conformado solo por 86 cortometrajes distribuidos en las cinco categorías en competencia: Nacional (13), Internacional (35), Universitario Nacional (10), Universitario Internacional (18) y Documental (11). Esta selección completa abarca un aproximado de diez horas y 30 minutos de proyección de animación. Es decir, se pudo obtener el procesamiento efectivo sobre 86 de los 91 cortometrajes, lo que significa que cinco cortometrajes quedaron fuera del análisis¹ debido a la falta de acceso muestral digital. No obstante, se tuvo aplicación efectiva de los métodos sobre el 94.5 % de las obras exhibidas, lo que constituye una muestra fidedigna y representativa del festival.

La primera categoría (Nacional) comprendió quince cortometrajes mexicanos, con una duración agregada total de una hora. El segundo programa (categoría Internacional) comprendió 36 cortometrajes de diferentes procedencias del

1 Los cortometrajes *Señales de realidad*, *Life sucks (pilot)*, *Paranoia*, *Una noche tranquila* y *Ginkgo* no pudieron ser integrados en el corpus de análisis.

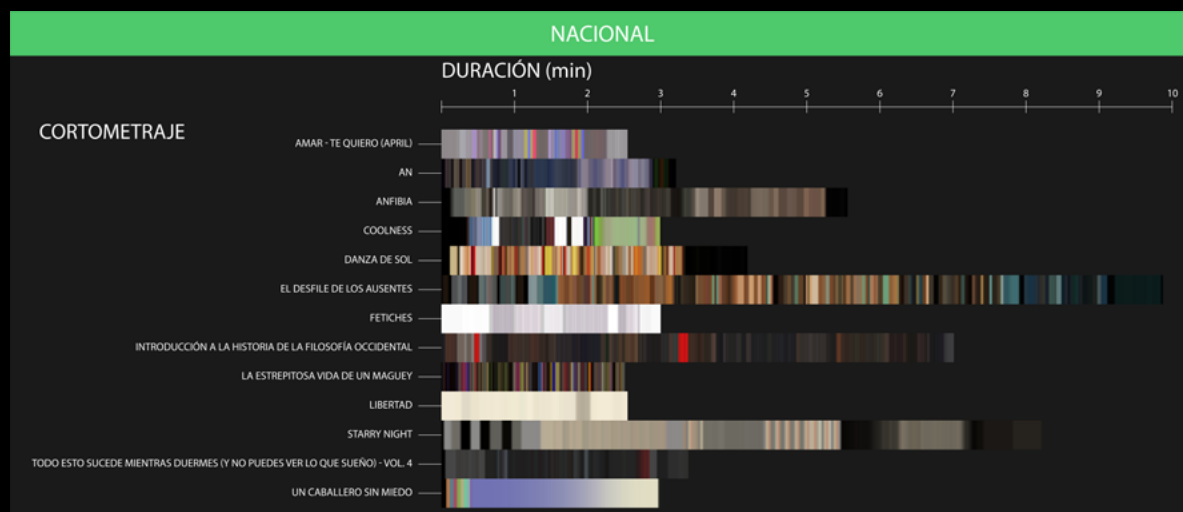


Figura 7. Mapas de color sobre la categoría Nacional.

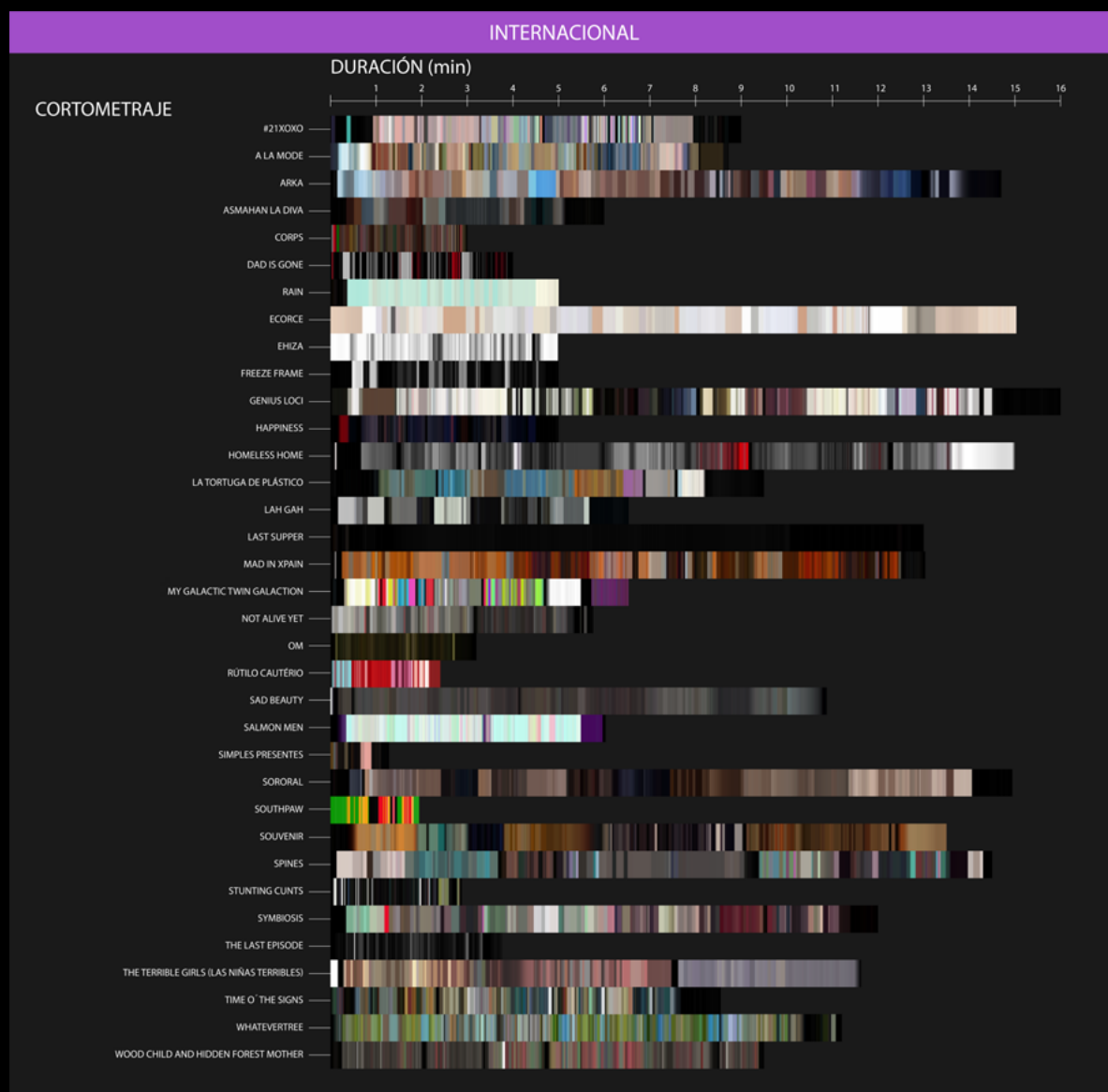


Figura 8. Mapas de color sobre la categoría Internacional.

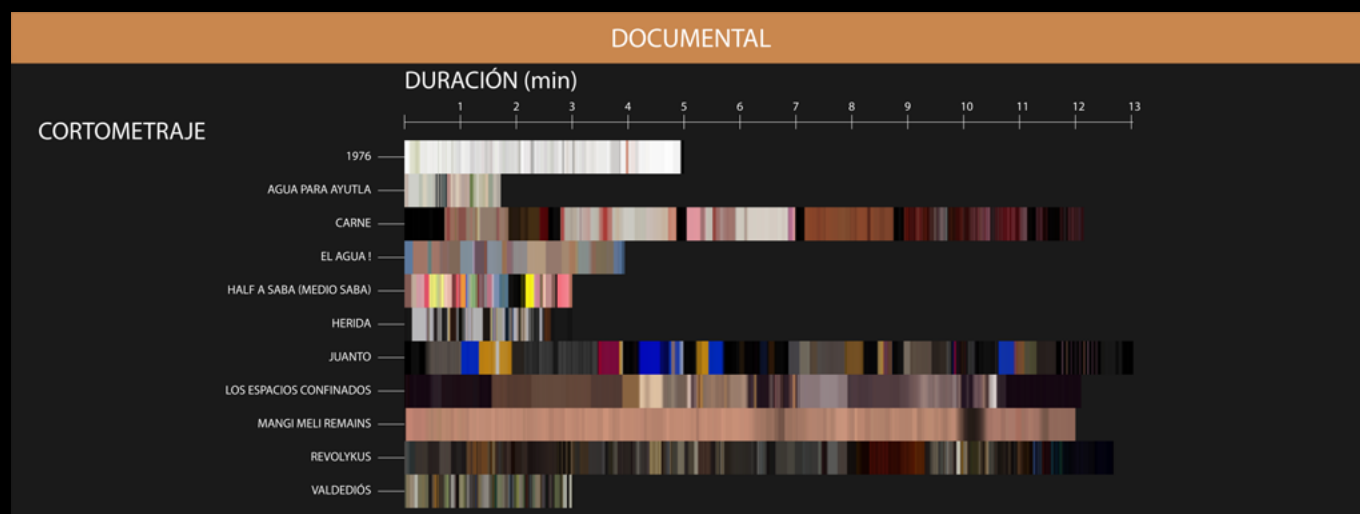


Figura 9. Mapas de color sobre la categoría Documental.

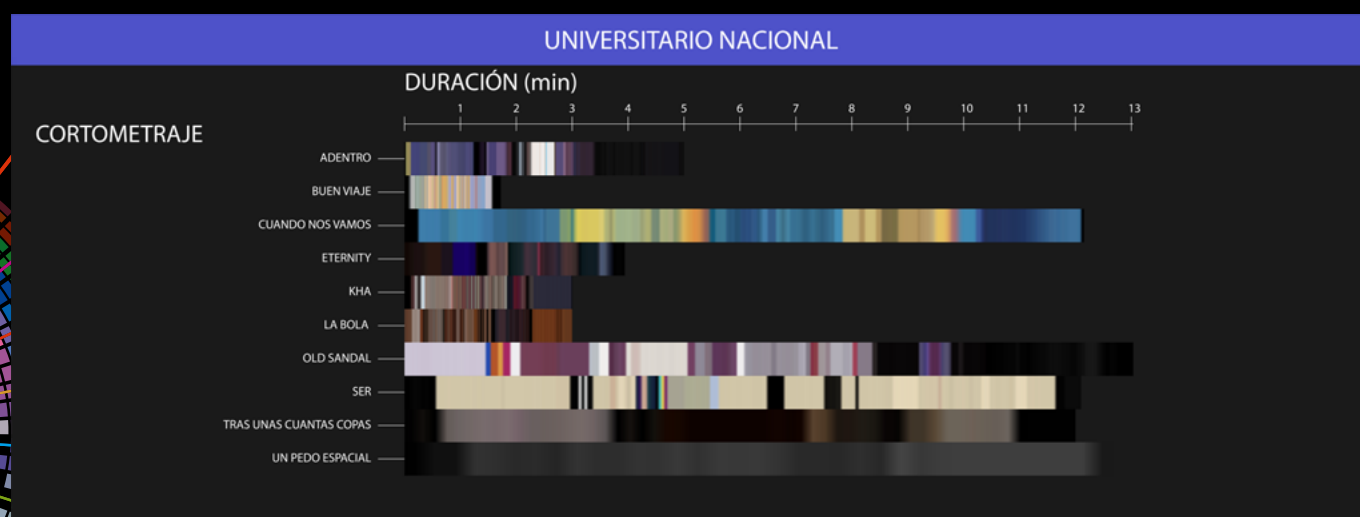


Figura 10. Mapas de color sobre la categoría Universitario Nacional.

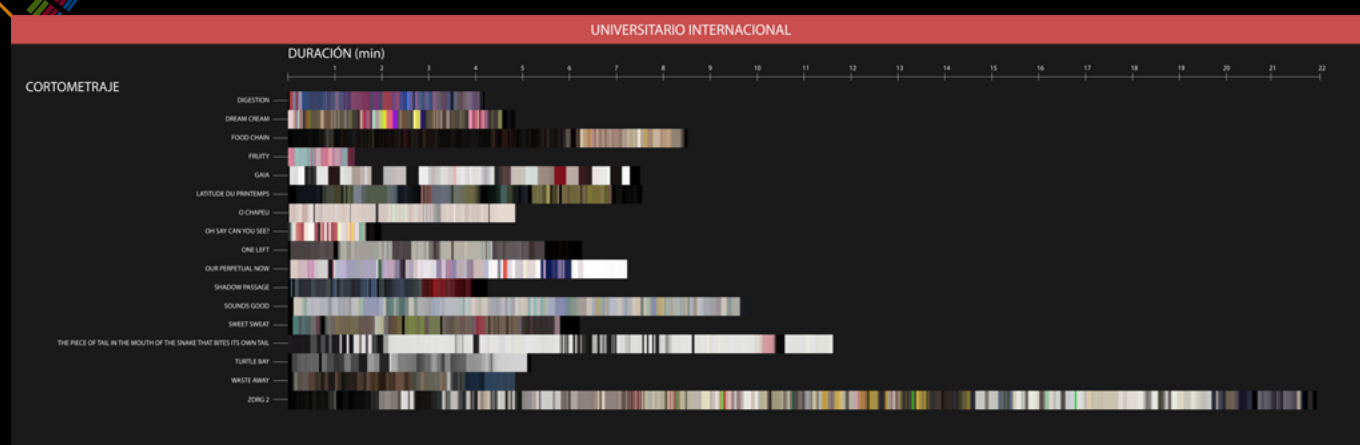


Figura 11. Mapas de color sobre la categoría Universitario Internacional.

mundo, con una duración agregada total de cuatro horas y 58 minutos. La tercera categoría (Documental) comprendió once cortometrajes internacionales y nacionales con un enfoque documental, con una duración agregada total de una hora y 22 minutos. Por último, la cuarta y quinta categorías (Universitario Nacional y Universitario Internacional) incluyeron once cortometrajes mexicanos y 18 cortometrajes internacionales con un criterio de selección universitario, es decir, que su director o productor estuviesen cursando algún programa de formación superior. Estos programas representan una duración agregada total de dos horas y 27 minutos (una hora y 22 minutos y una hora y cinco minutos respectivamente).

◆ DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Las figuras 7, 8, 9, 10 y 11 ilustran cada categoría del corpus de análisis y comparan la extracción de color dominante en planos bidimensionales con el algoritmo KMC con $K=1$. Sobre esta selección, se muestran los mapas unidimensionales de colores ordenados temporalmente en barras de color, clasificados por categoría de selección oficial, ordenados alfabéticamente.

Posteriormente, en las figuras 12, 13, 14, 15 y 16 se presentan los mapas de muestreo cartesiano del espacio HSV (H vs. S $\cap$ H vs. V), clasificados por categoría de selección oficial.

Los mapas de color presentados se ofrecen en dos tipos de visualización clave para analizar el uso del color en las animaciones del festival: el mapa unidireccional de colores ordenados temporalmente y el mapa de muestreo cartesiano en el espacio HSV. Ambos proporcionan diferentes enfoques para examinar el estilo cromático de los cortometrajes, y cada uno revela características distintivas que resultan potencialmente útiles, tanto para la curaduría como para el análisis académico y estético de la animación.

Respecto al mapa unidireccional de colores ordenados temporalmente, representar los colores en barras dispuestas de manera cronológica a lo largo de la duración del cortometraje permite una lectura sencilla y directa del uso secuencial del color. Este método puede ayudar a identificar patrones estilísticos a nivel temporal. Por ejemplo, en cortos donde se emplea un diseño de color más calculado y estructurado —como en algunos cortometrajes con alta esti-

lización visual o influencia gráfica—, los colores tienden a mostrar una progresión ordenada y coherente a lo largo de la narrativa. En otros casos, especialmente en obras más experimentales, los mapas revelan cambios abruptos o contrastes de color que podrían estar relacionados con momentos narrativos clave o con cambios de tono emocional.

Sobre el mapa de muestreo cartesiano, la conversión al espacio HSV permite una visualización más intuitiva de cómo se distribuyen los colores en términos de matiz (H), saturación (S) y valor o brillo (V). Este tipo de mapa, ya sea en formato cartesiano o polar, revela patrones de uso del color que no necesariamente están ligados al tiempo, sino a la selección cromática misma de toda la obra animada. A través de este análisis, se pueden identificar tendencias estilísticas por categorías. Por ejemplo, en la categoría documental, podría observarse una preferencia por colores desaturados y valores más bajos (colores más apagados), lo que refuerza el enfoque en la narrativa realista o emocionalmente cargada. En cambio, las categorías de animación experimental o internacional podrían mostrar mayor dispersión y saturación en los mapas de colores, reflejando enfoques visuales más audaces o abstractos.

Desde una perspectiva crítica, los mapas de color no necesariamente revelan tendencias estilísticas claras por categoría, sin embargo, permiten inferir variaciones individuales dentro de cada obra. Al profundizar en la apreciación de los mapas de colores generados por KMC para las distintas categorías del festival, se puede realizar un análisis más detallado y específico para cada grupo, reconociendo tendencias estilísticas y usos del color que revelan matices en la narrativa visual. A continuación, se ofrece un desglose de los hallazgos por categoría.

Categoría Nacional

En los cortometrajes nacionales, los mapas de color unidireccionales muestran, en su mayoría, paletas de colores cálidos y terrosos, con una saturación moderada a baja. Esta tendencia puede estar relacionada con un estilo narrativo que busca enfatizar temas locales, paisajes o emociones íntimas que se expresan mejor a través de estos tonos más cercanos a la realidad. Los tonos cálidos (ocres, marrones y ro-

jos) y una transición gradual en la secuencia de colores parecen estar más presentes, lo que refleja un enfoque más contenido y emocionalmente directo.

En los mapas hsv, la matriz de tonos de los cortometrajes nacionales tiende a concentrarse en matices más bajos y saturaciones moderadas, lo que sugiere que el color se utiliza principalmente para complementar la narrativa y no para sobresalir dramáticamente. Las excepciones a esta tendencia podrían encontrarse en cortos más experimentales o aquellos con influencias de estilos gráficos más marcados. Por ejemplo, los cortometrajes *Introducción a la historia de la filosofía occidental*, *El desfile de los ausentes* y *La estrepitosa vida de un maguey* tienen una gama de matices más amplia y variada; aunque es notable que ninguno de los trece cortometrajes tenga una carga de matices verdes dominantes en el muestreo.

Categoría Internacional

En contraste, la categoría Internacional exhibe una notable diversidad en los mapas de color, tanto en el uso de tonos saturados como en la dispersión de matices en los mapas de coordenadas polares del espacio hsv. Se observan patrones estilísticos más atrevidos, con una mayor presencia de colores fuertes y saturados (azules intensos, magentas y verdes vibrantes) que suelen contrastar abruptamente a lo largo de la narrativa. Esto refleja la naturaleza más diversa de las obras internacionales, que traen consigo una gama más amplia de influencias culturales y artísticas.

El análisis de los mapas de color sugiere que estos cortometrajes no temen jugar con la saturación y el contraste extremo para reforzar momentos clave en la trama, o para subvertir las expectativas del espectador a través del uso audaz de la paleta cromática. La dispersión de



Figura 12. Mapa cartesiano hsv (*hue* contra saturación y *hue* contra valor) de la categoría Nacional.

INTERNACIONAL

MAPA DE MUESTREO CARTESIANO DEL ESPACIO HSV (H vs. S $\cap$ H vs. V)

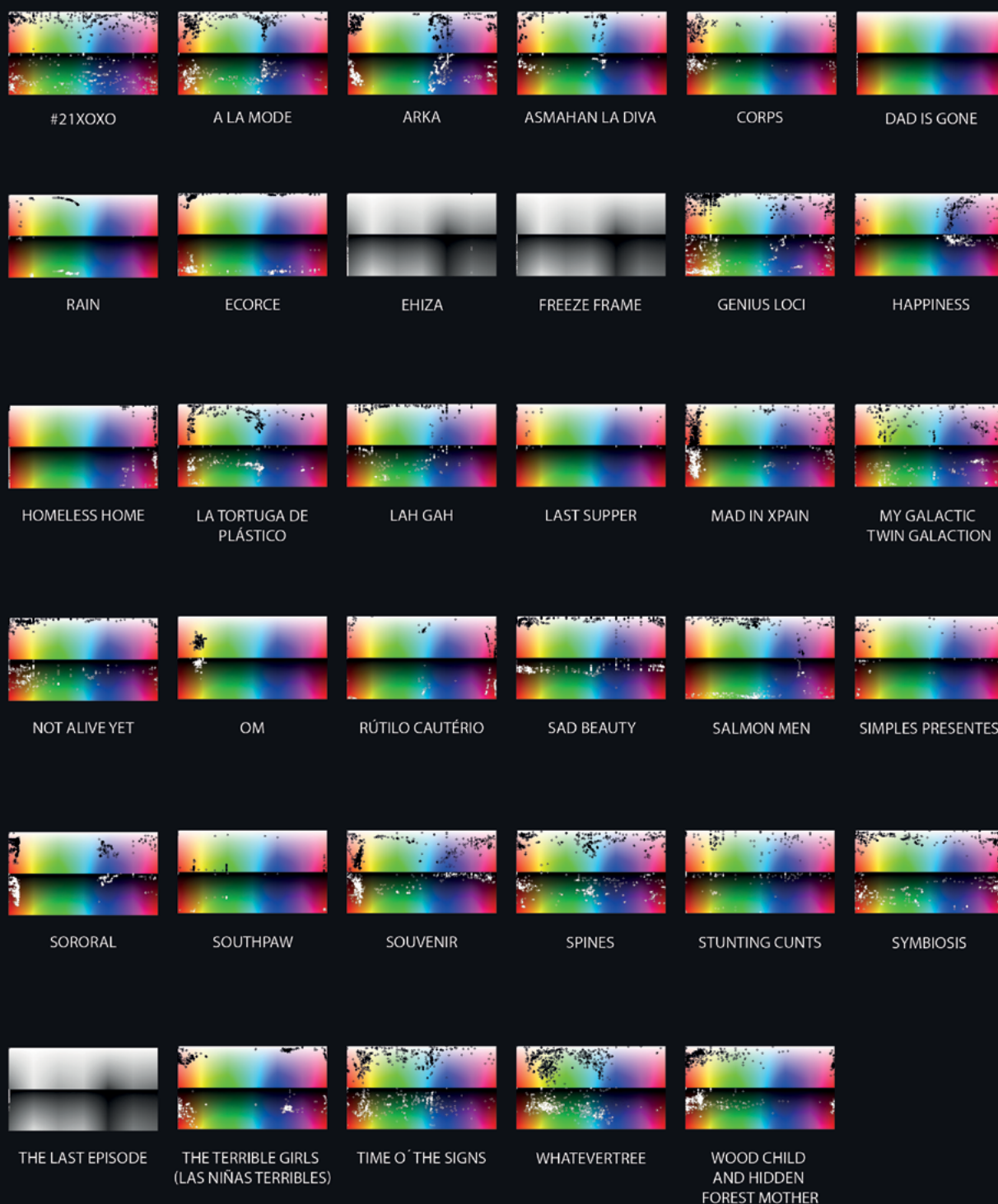


Figura 13. Mapa cartesiano Hsv (*hue* contra saturación y *hue* contra valor) de la categoría Internacional.

DOCUMENTAL

MAPA DE MUESTREO CARTESIANO DEL ESPACIO HSV (H vs. $S \cap H$ vs. V)



Figura 14. Mapa cartesiano HSV (*hue* contra saturación y *hue* contra valor) de la categoría Internacional.

UNIVERSITARIO NACIONAL

MAPA DE MUESTREO CARTESIANO DEL ESPACIO HSV (H vs. $S \cap H$ vs. V)



Figura 15. Mapa cartesiano HSV (*hue* contra saturación y *hue* contra valor) de la categoría Universitario Nacional.

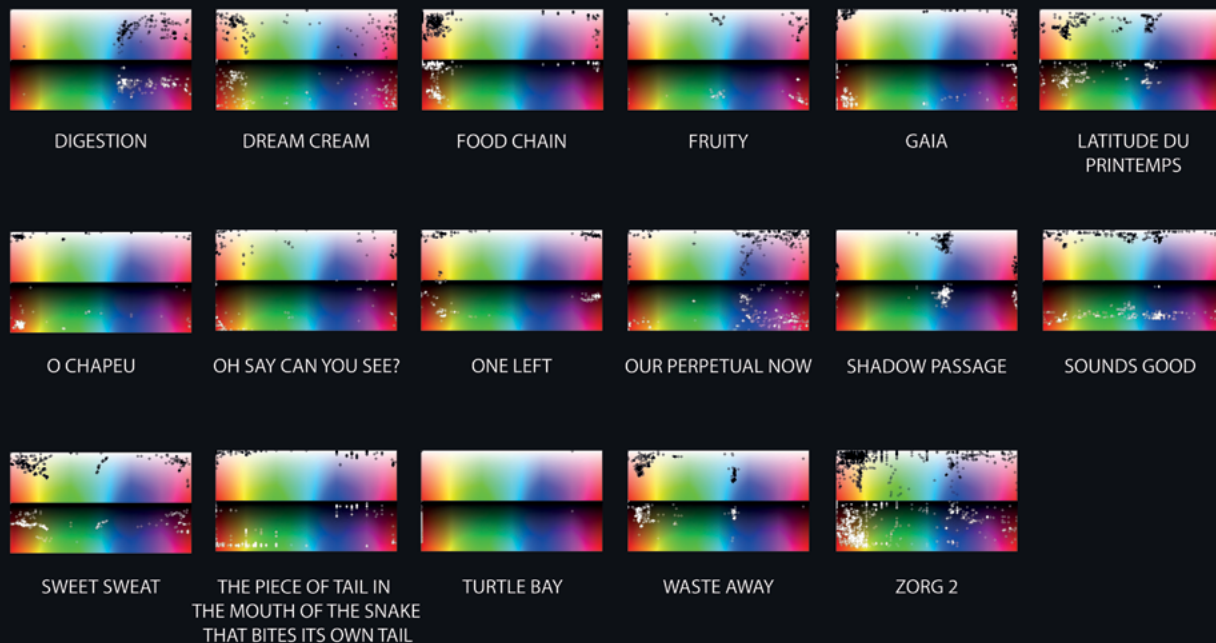
MAPA DE MUESTREO CARTESIANO DEL ESPACIO HSV (H vs. S $\cap$ H vs. V)

Figura 16. Mapa cartesiano HSV (hue contra saturación y hue contra valor) de la categoría Universitario Internacional.

colores en el espacio HSV indica que muchas de estas obras internacionales utilizan el color de forma abstracta o conceptual, lo que puede estar vinculado con la experimentación en la animación global y distintas visiones de múltiples países del orbe.

Categoría Documental

Los cortometrajes documentales tienden a mantener una paleta de colores más apagada y desaturada, lo que puede sugerir que, en diseño de color, el objetivo de representar la realidad de manera más fiel puede ser un criterio en el *color scripting*. En los mapas de color de esta categoría, los tonos desaturados dominan y no los brillantes y cargados, lo que refuerza la estética tradicional del género documental, en el que el color rara vez es el foco principal. Los tonos más neutros y grises, combinados con saturaciones bajas, sugieren que el enfoque se coloca más en la narrativa y en los sujetos que en los aspectos visuales estilísticos. Sin embargo, en algunos documentales más artísticos o experimentales, se observan variaciones en la

paleta cromática, particularmente en aquellos que buscan subrayar aspectos simbólicos o emocionales de los temas tratados, por ejemplo, en *Half a saba*. En el espacio HSV, esto se traduce en una concentración en tonos menos vibrantes, pero con variaciones significativas en el brillo, que puede estar relacionada con las transiciones de escenas o el contraste entre entrevistas, paisajes y material histórico.

Categoría Universitario Nacional

En estos cortometrajes, los mapas de color tienden a mostrar paletas más limitadas y controladas, aunque se perciben intentos por explorar gamas de colores más expresivas, como los azules y verdes en algunos casos, así como colores brillantes en momentos específicos. Los estudiantes nacionales parecen utilizar el color de manera más estratégica para destacar momentos particulares en sus cortometrajes, mientras que el resto de la narrativa tiende a mantenerse en tonos más conservadores o neutros. Esto podría sugerir que el uso del color sigue siendo exploratorio en esta etapa de la producción,

con enfoques más tradicionales, pero con destellos de experimentación cromática. El uso de colores desaturados en muchas de estas obras también podría relacionarse con limitaciones técnicas o una preferencia por un enfoque visual más simple y limpio, típico de producciones estudiantiles.

Categoría Universitario Internacional

Esta categoría refleja una mayor tendencia hacia la experimentación cromática. En los mapas de color se observa una mayor dispersión en el espacio HSV, con un uso más atrevido de colores contrastantes y saturaciones elevadas. A diferencia de sus contrapartes nacionales, los estudiantes internacionales parecen estar más dispuestos a utilizar el color como un recurso expresivo autónomo, y no solo como un complemento narrativo. Esto puede deberse a influencias educativas y culturales más diversas, así como a la posibilidad de contar con una formación más experimental o con acceso a recursos y técnicas más avanzadas. Los colores brillantes y los contrastes extremos dominan muchos de los mapas, lo que indica un interés por la subversión de las expectativas visuales del espectador y por la creación de atmósferas impactantes a través del color.

Finalmente, los patrones que emergen de estos mapas son útiles no solo para reconocer el estilo visual, sino también para estudiar la relación entre el color y la narrativa. Por ejemplo, en los cortometrajes de mayor duración, es común observar cómo la progresión de color sigue el arco dramático, mientras que, en obras más cortas o experimentales, los colores pueden presentar una dispersión más aleatoria. Estos métodos ofrecen un enfoque objetivo y cuantitativo que puede complementarse con otros análisis cualitativos para proporcionar una comprensión más profunda de las elecciones estéticas en la animación.

◆ CONCLUSIONES

Los métodos cuantitativos, como el K-Means Clustering (KMC) que ha sido descrito y aplicado en este artículo, proporcionan una forma relativamente objetiva de analizar y visualizar la paleta de colores dominante en cortometrajes de animación. Esta información expresada en

mediciones legibles puede ser útil en la gestión de obras animadas en festivales o espacios de exhibición al abordar los siguientes aspectos:

- a. Curaduría visual: permite a los curadores y organizadores de festivales seleccionar obras que representan una diversidad de estilos y paletas de colores como un *color script*, creando una experiencia visual equilibrada para el espectador. Esta información tiene la utilidad de ser un marco referencial; para el caso del festival, como huellas digitales de las películas que se exhiben, que podrían usarse como diagramas que acompañen a la sinopsis y crítica previa a la exhibición, a modo de invitar a la potencial audiencia a guiarse por el espectro de color que más sea de su agrado.
- b. Optimización del programa: los festivales pueden agrupar cortometrajes con paletas de colores complementarias o contrastantes, optimizando la experiencia sensorial del público.
- c. Archivo y documentación: los mapas de color actúan como una huella digital visual para cada obra, facilitando la catalogación y el archivo en colecciones de animación.

Otro punto de vista a tener en consideración es el diseño de producción. Además, los mapas de color generados por KMC pueden ser muy valiosos para:

- a. Planificación del color: los directores de arte y diseñadores pueden utilizar estos mapas para planificar paletas de colores que reflejen la narrativa, el tono o el ambiente deseado de una película.
- b. Análisis competitivo: estudiar las paletas de color de otros cortometrajes puede proporcionar inspiración y también diferenciar un trabajo visualmente en el contexto de festivales y concursos.
- c. Coherencia visual: ayuda a mantener una coherencia de estilo visual en producciones de animación largas o en proyectos colaborativos donde varios artistas pueden estar trabajando en diferentes partes de la animación.



AL PROFUNDIZAR EN LA APRECIACIÓN DE LOS MAPAS DE COLORES GENERADOS POR KMC PARA LAS DISTINTAS CATEGORÍAS DEL FESTIVAL, SE PUEDE REALIZAR UN ANÁLISIS MÁS DETALLADO Y ESPECÍFICO PARA CADA GRUPO, RECONOCIENDO TENDENCIAS ESTILÍSTICAS Y USOS DEL COLOR QUE REVELAN Matices EN LA NARRATIVA VISUAL.



LOS MÉTODOS DE ANÁLISIS DE COLOR COMO EL KMC OFRECEN VENTAJAS CLARAS EN TÉRMINOS DE VISUALIZACIÓN Y COMPRENSIÓN DEL ESTILO VISUAL DE UN CORTOMETRAJE, PERO DEBEN CONSIDERARSE EN COMBINACIÓN CON OTROS DATOS FILMOGRÁFICOS PARA OBTENER UNA COMPRENSIÓN COMPLETA.

En el ámbito pedagógico y académico, estos métodos pueden tener utilidades como:

- Análisis de color en la construcción narrativa: los estudiantes pueden analizar cómo los colores y su variación a lo largo de un cortometraje contribuyen a la narrativa y a las emociones del espectador.
- Estudios de caso: los mapas de color sirven como ejemplos visuales claros que pueden ser utilizados en estudios de caso, seminarios y talleres.
- Investigación visual: facilitan la investigación sobre tendencias del uso del color en la animación, lo que permite identificar patrones que pueden ser significativos en estudios de teoría del color y su aplicación en el cine y la animación.

Los métodos de análisis de color como el KMC ofrecen ventajas claras en términos de visualización y comprensión del estilo visual de un cortometraje, pero deben considerarse en combinación con otros datos filmográficos para obtener una comprensión completa:

- Complemento para análisis cualitativos: mientras que el KMC proporciona un análisis cuantitativo del color, los métodos cualitativos son esenciales para interpretar el contexto narrativo y emocional detrás de las elecciones de color. Estos mapas ofrecen un sistema auxiliar y complementario para ordenar ideas, argumentos y sustentar afirmaciones observacionales.
- Datos multidimensionales: otros datos como el ritmo, la narrativa, el sonido y los elementos culturales también son críticos en el análisis fílmico. El uso de KMC puede ser una dimensión más dentro de un análisis multidimensional que incluya estos aspectos.

De igual manera, se advierten algunas limitaciones en el uso y presentación de los datos. En primer lugar, es importante reconocer que el KMC se basa en la segmentación del color sin contexto narrativo, lo cual puede simplificar la comprensión de una obra si se utiliza de manera aislada. Segundo, la elección del método de análisis de

colorimetría debe depender del contexto y del objetivo del análisis. Si bien los métodos digitales como KMC en RGB a HSV proporcionan herramientas poderosas para el análisis cuantitativo, su utilidad se ve ampliada cuando se combinan con métodos cualitativos que consideran el contexto narrativo y emocional. La perspectiva de la percepción humana y los modelos que simulan esta percepción, como CIE Lab, pueden proporcionar un enfoque más matizado que captura no solo la existencia de colores, sino también su impacto en la audiencia.

Por otro lado, los métodos analógicos mantienen su relevancia en la preservación de materiales históricos, acervos y en contextos donde la fidelidad visual es primordial, y donde la digitalización es impráctica o imposible. Sin embargo, en el entorno contemporáneo de la animación digital, la capacidad de integrar diferentes métodos de análisis —desde histogramas de color hasta segmentación de imágenes— permitiría una comprensión más rica y completa de las obras de animación, fomentando la innovación en la producción como una apreciación más profunda por parte de las audiencias.

Por último, para avanzar en esta línea de análisis, es crucial fomentar la investigación interdisciplinaria que combine técnicas de ciencia de datos, teoría del color, percepción visual y estudios de cine, proporcionando así una plataforma para la innovación y el desarrollo en la documentación de información y gestión de contenidos animados.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Festival Animasivo por todas sus facilidades para realizar este análisis, particularmente a Lucia Cavalchini, Ana Zamboni y Daniela Whaley.

POSDATA

Una copia del código fuente de autoría propia, con el que fueron ejecutados los métodos descritos, se encuentra disponible en el repositorio de GitHub:

<https://github.com/mipapamedijo/Kmeans-JS>,
<https://github.com/mipapamedijo/AnimationMetrics>

REFERENCIAS

• Adobe. (2014, septiembre). Extracción de tema de color. <https://color.adobe.com>

• Burghardt, M., Kao, M. y Wolff, C. (2016). Beyond shot lengths - Using language data and color information as additional parameters for quantitative movie analysis. En *Digital Humanities 2016: Conference Abstracts* (pp. 753-755). Jagiellonian University & Pedagogical University, Kraków.

• Cavalcini, L. et al. (2020). *Reporte de actividades de Animasivo - Festival de Animación Contemporánea de la Ciudad de México 2020 / 13a Edición*. <https://www.transparencia.cdmx.gob.mx/storage/app/uploads/public/621/1aa/52a/6211aa52ae96d363448417.pdf>

• MacQueen, J. B. (1967). Some methods for classification and analysis of multivariate observations. *Proceedings of 5th Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability*, 1, 281-297. University of California Press.

• Salt, B. (2006). *Moving into pictures. More on film history, style, and analysis*. London: Starword Publishing.

• Souza, F., Sarkar, S., Srivastava, A. y Su, J. (2015). Temporally coherent interpretations for long videos using pattern theory. En *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (pp. 1229-1237).

• Tsivian, Y. (2009). Cinematics, part of the humanities' cyberinfrastructure. In Ross, M., Grauer, M., y Freisleben, B. (Eds.), *Digital tools in media studies - analysis and research. An overview* (pp. 93-100). Bielefeld: transcript Verlag.

• Whalen, Z. (2016). iMJ. <http://www.zachwhalen.net/pg/imj/>

FILMES

• Alfonsín, M. (Director). (2020). *Fetiches* [Cortometraje]. México.

• Allen, A. (Director). (2017). *O Chapéu* [Cortometraje]. Portugal.

• Almada Rivero, M. (Director). (2020). *El desfile de los ausentes* [Cortometraje]. México.

• Alonso, C. (Director). (2020). *Señales de realiad* [Cortometraje]. España.

• Andrasev, N. (Director). (2019). *Symbiosis* [Cortometraje]. Francia / Hungría.

• Aschman, A. (Director). (2019). *Shadow Passage* [Cortometraje]. Royal College of Art, Reino Unido.

• Baca, E. (Director). (2020). *La estrepitosa vida de un maguey* [Cortometraje]. México.

• Barquez, M. y Soler-Urzua, M. (Directores). (2020). *Herida* [Cortometraje]. Chile.

• Beuriot, R., Gomes Cabral, S., Nimsgern Anglard, C., Lux-Romero, C. y Berteaux, S. (directores). (2019). *Ginkgo* [Cortometraje]. Ecole Georges Melies, Francia.

• Bidner, R. (Director). (2019). *Time o' the signs* [Cortometraje]. Austria.

• Bolaños Avila, M. (Director). (2020). *Life sucks* (piloto) [Cortometraje]. México.

• Bolaños Meade, M. (Director). (2019). *Old sandal (chancla vieja)* [Cortometraje]. Mexico / Estados Unidos.

• Brentjes, A. (Director). (2020). *Sad beauty* [Cortometraje]. Países Bajos.

• Brun, C. (Director). (2019). *Lah gah* [Cortometraje]. Suiza.

• Castellanos, E. (Director). (2020). *Coolness* [Cortometraje]. México / Estados Unidos.

• Castillo, M. (Director). (2020). *Tras unas cuantas copas* [Cortometraje]. México.

• Covamonas, A. (Director). (2019). *Introducción a la historia de la filosofía occidental / Introduction to the History of Western Philosophy* [Cortometraje]. Opuntia StrictaCinematográfica, México.

• Cuvillier, S., Bourdic, C., Coursimault, T., Halberstam, N., Mosny, M. y Ye, Z. (Directores). (2020). *Latitude du printemps* [Cortometraje]. Francia.

• Doringier, S. (Director). (2020). *One left* [Cortometraje]. Austria.

• Droide, A. (Director). (2020). *Starry night* [Cortometraje]. México.

• Dumaa, P. (Director). (2019). *Ostatnia wieczerza / Last supper* [Cortometraje]. Polonia.

• Duque, E. (Director). (2019). *Valdediós* [Cortometraje]. España.

• Estudio Pneuma (Productor). (2020). *Danza de Sol* [Cortometraje]. México.

• Estrada, M. (Director). (2020). *AN* [Cortometraje]. México.

• Even, F. y Mercadier, L. (Directores). (2019). *Sororal* [Cortometraje]. Francia.

• Faustini, R. y jpedrinho9 (Directores). (2020). *Rútilo cautério* [Cortometraje]. Brasil.

• Fernández, G. (Director). (2020). *Om* [Cortometraje]. Argentina.

• Flan Studio. (Productor). (2020). *La bola* [Cortometraje]. México.

• Ginard, P. (Director). (2020). *Dad is gone* [Cortometraje]. España.

• Gómez García, R. (Director). (2018). *Una noche tranquila* [Cortometraje]. México.

• Hauazkena Taldea (Coordinadora: Vicario, B.). (2020). *Ehiza* [Cortometraje]. España.

• Hernández Celis, E., Islas Dominguez, Y. y Castillo, A. (Directores). (2020). *Agua para Ayutla* [Cortometraje]. México.

- Herrera, L. (Director). (2019). *KHA - 3D Student Short Film* [Cortometraje]. Universidad Politécnica de Santa Rosa, México.
- Irwin, S. (Director). (2020). *Wood child and hidden forest mother* [Cortometraje]. Internacional.
- Jaramillo Uribe, A. L. (Director). (2020). *Libertad* [Cortometraje]. México.
- Joon, S. (Director). (2018). *Sounds good* [Cortometraje]. Estonian Academy of Arts, BOP, The Animation Workshop VIA University College, Estonia.
- Jordan, J. (Director). (2020). *El agua!* [Cortometraje]. Canadá.
- Kabuki, S. (Director). (2019). *Southpaw* [Cortometraje]. Japan.
- Kamensky, G. (Director). (2020). *Stunting Cunts* [Cortometraje]. United States.
- Kaselaan, J. (Director). (2018). *Gaia* [Cortometraje]. Estonian Academy of Arts, Estonia.
- Kater, C. (Director). (2019). *Carne* [Cortometraje]. España.
- Kim, J. H. (Director). (2018). *Sweet sweat* [Cortometraje]. Estonian Academy of Arts, Estonia.
- King, I. (Director). (2020). *WhateverTree* [Cortometraje]. Canadá.
- Kivi, M. y Kokk, L. (Directores). (2018). *Food chain* [Cortometraje]. Estonian Academy of Arts, Estonia.
- Kunze, K. (Director). (2019). *Mangi meli remains* [Cortometraje]. Alemania / Tanzania.
- Lavergne, O., Depoix, L., Laurent, Y., Cilluffo, P., Durot, L. y Pertoldi, F. (Directores). (2020). *Turtle bay* [Cortometraje]. Francia.
- Lecointre, J. (Director). (2020). *A la mode* [Cortometraje]. Francia.
- Lincoln-Vogel, A. (Director). (2019). *Zorg 2* [Cortometraje]. Estonian Academy of Arts, Estonia.
- Master-Film Movie Company (Productor). (2020). *My galactic twin galaction* [Cortometraje]. Rusia.
- Martínez Ballarín, P. (Director). (2019). *The piece of tail in the mouth of the snake that bites its own tail* [Cortometraje]. Estonian Academy of Arts, Estonia.

- Matamoros Puerto, C. (Director). (2020). *Simples presentes* [Cortometraje]. Colombia.
- Mazlo, C. (Director). (2019). *Asmahan la diva* [Cortometraje]. Francia.
- Mériageu, A. (Director). (2019). *Genius loci* [Cortometraje]. Francia.
- Milczarek, P. (Director). (2019). *Deszcz / Rain* [Cortometraje]. Polonia.
- Molina, B. (Director). (2020). *Half a Saba (Medio Saba)* [Cortometraje]. Israel.
- Monatño, V. L., Leuenberger, M. y Hofmann, J. (Directores). (2020). *Salmon Men* [Cortometraje]. Suiza.
- Morais, E. y Álvarez, M. (Directores). (2019). *Spines* [Cortometraje]. Reino Unido.
- Orellana, D. (Director). (2020). *Las niñas terribles* [Cortometraje]. España.
- Orozco, G. (Director). (2020). *Anfibia* [Cortometraje]. México.
- Orozco Ramirez, V. (Director). (2020). *Revolkyus* [Cortometraje]. Alemania / México.
- Padilla Sobrado, R. (Director). (2019). *Paranoia* [Cortometraje]. México.
- Pascal, B. (Director). (2020). *Un caballero sin miedo* [Cortometraje]. México.
- Patthey, S. y Monney, S. (Directores). (2020). *Ecorce* [Cortometraje]. Suiza.
- Pavón, J. M. (Coordinador). (2019). *SER* [Cortometraje colaborativo]. LEA: Laboratorio Experimental de Animación, México.
- Quintero Mármol Martínez, A. (Director). (2019). *Todo esto sucede mientras duermes (y no puedes ver lo que sueño) - Vol. 4* [Cortometraje]. delotroladodelcero.films, México.
- Ramírez, A. (Director). (1998). *Buen viaje* [Cortometraje]. Amonoh Estudio, México.
- Riobó, C. (Director). (2020). *Mad in Xpain* [Cortometraje]. España.
- Rojo, J. (Director). (2019). *Our perpetual now* [Cortometraje]. Inglaterra.

- Rubane, L. (Director). (2020). *Not alive yet* [Cortometraje]. Letonia/ México.
- Sáenz Gómez Tello, A. (Director). (2019). *Amar - te quiero (April)* [Cortometraje]. Poligonic, México.
- Sánchez, A. (Director). (2018). *Eternity* [Cortometraje]. México.
- Serena, M. (Director) y Pié, M. (Animación). (2020). *Juanto* [Cortometraje]. España.
- Stern, E. (Director). (2020). *Waste Away* [Cortometraje]. Estados Unidos.
- Stipanicev, N. (Director). (2020). *Arka* [Cortometraje]. Croacia.
- Sussman, N. (Director). (2019a). *Dream Cream* [Cortometraje]. Estonian Academy of Arts, Toronto Animated Image Society. Estonia/ Canadá.
- Sussman, N. (Director). (2019b). *Oh Say Can You See?* [Cortometraje]. Estonian Academy of Arts, Estonia.
- Tamic, A., Erzen, S., Musa, C., Delfosse, É. y Lukasik, L. (Directores). (2020). *Digestion* [Cortometraje]. Francia.
- Tamariz, M. (Director). (2019). *Cuando nos vamos* [Cortometraje]. Francia / México.
- Tapia, E. (Director). (2019). *Un pedo espacial* [Cortometraje]. México.
- Verdugo Montero, A. (Director). (2020). *Adentro* [Cortometraje]. México.
- Verstegen, S. (Director). (2019). *Freeze frame* [Cortometraje]. Bélgica / Alemania.
- Vervoort, S. (Director). (2019). *Fruity* [Cortometraje]. Países Bajos.
- Vázquez, A. (Director). (2020). *Homeless home* [Cortometraje]. Francia / España.
- Vilches Estella, C. y Canonica, P. (Directores). (2020). *Souvenir* [Cortometraje]. España / Suiza.
- Ukrainitz, S. y Razzak, O. (Directores). (2019). *Los espacios confinados* [Cortometraje]. España / Francia / Israel.
- Zhidkov, A. (Director). (2020). *Happiness* [Cortometraje]. Rusia.



Carlos Isaac González Maldonado

Animador, artista digital e investigador en la Universidad de las Américas Puebla (UDLAP). Es licenciado por el Tecnológico de

Monterrey y maestro y doctor por la Facultad de Artes y Diseño de la UNAM. Especialista en procesos digitales, web y visualización numérica, ha fundado empresas creativas, representado al gremio de animación mexicana y participado en proyectos reconocidos por los Arieles, el Festival de Cannes y los premios Oscar. Cuenta además con formación ejecutiva por el MIT.

carlos.gonzalezm@udlap.mx



Nuria Margarita Menchaca Brandan

Artista, directora y animadora experimental egresada de la UNAM y de la Université Laval. Ganadora del Ariel al Mejor Cortometraje Animado (2020) y seleccionada

en festivales como el de Cannes y el FICM. Es cofundadora del estudio No Budget Animation. Ha sido becaria del FONCA y jurado en certámenes nacionales e internacionales. Actualmente, se desempeña como profesora de tiempo completo en la UDLAP, con experiencia docente en diversas instituciones de prestigio.

nuria.menchaca@udlap.mx

► A look at the organization from complexity

Una mirada a la

ORGANIZACIÓN DESDE LA COMPLEJIDAD

Por:  José de Jesús Bravo Amador

Bravo Amador, J. J. (2025). Una mirada a la organización desde la complejidad. *Entorno UDLAP*, 24

➡ **Recibido:** 8 de enero de 2024 ✓ **Aceptado:** 4 de marzo de 2025

RESUMEN

El concepto «organización» es complejo, lo que ha dificultado su conceptualización y aplicación en análisis organizacionales. Por ello, este artículo explora y propone una conceptualización que permita dar cuenta de la complejidad organizacional y que, además, sea aplicable en organizaciones de cualquier tipo, en contextos reales de alta incertidumbre, para realizar diagnósticos y facilitar la toma de decisiones. Esto a través de una revisión de teorías holísticas: sociopoética y sistemas adaptativos complejos, así como ejemplos de su aplicación en una organización educativa de Puebla durante la pandemia por SARS-CoV-2.

PALABRAS CLAVE

Sistema · Complejidad · Adaptación · Teoría organizacional · Pandemia

ABSTRACT

The concept «organization» is complex, which has made its conceptualization and application in organizational analysis challenging. This article therefore explores and proposes a conceptual framework that accounts for organizational complexity. Additionally, it aims to be applicable to any type of organization in real-world contexts of high uncertainty, supporting diagnostics and decision-making processes. This is achieved through a conceptual review of holistic theories —sociopoietic and complex adap-

tive systems— as well as examples of their application in an educational organization in Puebla during the SARS-CoV-2 pandemic.

KEYWORDS

System · Complexity · Adaptation · Organizational Theory · Pandemic

INTRODUCCIÓN

A través de una revisión del concepto «sistema», el presente artículo es un extracto del estado del arte del apartado teórico-epistemológico de un diagnóstico organizacional sistémico¹, el cual ha sido sintetizado y realizado por el mismo autor.

1 A manera de contextualización, el diagnóstico organizacional de donde proviene el presente documento se enfocó en el Subsistema Trabajo Docente (STD) de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP), en el periodo 2021-2022 (Bravo, 2023). En un contexto *sui generis* marcado por la pandemia de covid-19, la virtualización de funciones y situaciones políticas como un paro institucional, una organización masiva —la BUAP, que en ese periodo contaba con más de 100,000 estudiantes y más de 4,000 docentes— tuvo que adaptarse a nuevas condiciones. Esta coyuntura permitió diagnosticar un subsistema clave en la misión principal de la universidad, desde un enfoque distinto que reflejara la complejidad de una institución inmersa en un entorno dinámico e inestable.





Esta propuesta tiene por objetivo principal plan-
tear una conceptualización desde el paradigma de la complejidad² (PC) dirigida al estudio de las organizaciones que aporte al corpus de la teoría organizacional³ (TO). Para lograrlo, el

2 El paradigma de la complejidad representa una epistemología distinta: no aísla, no es reduccionista ni rígida en cuanto a los saberes, y no busca simplemente resolver problemas. En cambio, propone nuevas bases para comprender de manera más completa los sistemas físicos, biológicos y sociales. Se fundamenta en la teoría de sistemas, la informática y la cibernética, y trasciende los conocimientos tradicionales asociados a la lógica positivista, la física newtoniana y las matemáticas simétricas, centradas en el equilibrio. Su objetivo es vincular las ciencias «duras» y «blandas» (Fajardo-Ortiz *et al.*, 2015).

3 De acuerdo con Ibarra (2000) la TO es un campo de conocimiento diverso, multidisciplinario y fragmentado, de origen anglosajón y que en años recientes ha adquirido relevancia e interés en América Latina. Resulta necesario distinguir entre los estudios organizacionales y la TO ya que, como menciona Montaña Hirose (2004), los primeros tienen principalmente un origen europeo y son relativamente recientes, orientados a contrarrestar la TO y dirigirse al análisis crítico organizacional. Del otro lado, la TO, de origen

concepto de sistema se opera a través de la figura «organización», que se analiza visibilizando su complejidad mediante el uso y crítica de conceptos provenientes de teorías sistémicas diversas, sus relaciones conceptuales, antecedentes y consecuencias.

Primer acercamiento a la organización

Elaborar una definición sobre el concepto «organización» ha sido una tarea difícil para los teóricos de la TO, ya que se han topado con la complejidad de este objeto de estudio. Aun así, se han realizado intentos desde las distintas posturas de la TO en diferentes épocas, cada una de las cuales visibiliza nuevos elementos de la organización y abre distintos caminos para su conceptualización. A partir de esto, surge el objetivo secundario: realizar una revisión del estado del arte desde el PC a través de dos aproximaciones sistémicas, que son la base de la propuesta de conceptualización de las organizaciones que puede aplicarse al ámbito organizacional y en contextos dinámicos (crisis y pandemias).

De esta manera, primero se expone brevemente la propuesta sociopoiética para organizaciones, lo que permite un primer acercamiento al PC y la teoría sistémica en ciencias sociales. En segundo lugar, se presenta la propuesta sistémica adaptativa compleja, en donde se bus-

anglosajón y con mayor trayectoria, ha influido más que el primero. Sin embargo, ambas son complementarias, ya que han contribuido en el enriquecimiento del estudio de las organizaciones. De esta manera, se opta por el término abarcador TO que incluye las aportaciones de los estudios organizacionales.



**EL ENFOQUE
SISTÉMICO DA
CUENTA DE LA
COMPLEJIDAD DE LAS
ORGANIZACIONES.
LA PROPUESTA
SOCIPOIÉTICA
CONCEPTUALIZA A
LAS ORGANIZACIONES
COMO SISTEMAS DE
COMUNICACIONES
QUE GENERAN UN
ENTRAMADO DE
TOMA DE DECISIONES.**

ca una reconceptualización de la organización a través de una síntesis de ambas teorías y ejemplos plasmados en el diagnóstico realizado en la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP). Finalmente, se plantea la propuesta de conceptualización para organizaciones integrando los elementos de las propuestas expuestas.

Organización como sistema

El enfoque sistémico, a través de sus diferentes postulados, da cuenta de la complejidad de las organizaciones. Dentro de este, la propuesta sociopoiética desde la sociología de Baecker (2006) y Luhmann (2014) conceptualiza a las organizaciones como sistemas de comunicaciones que generan un entramado de toma de decisiones que contempla sus efectos, causas e interacciones, y que se hacen recursivas. A través de dicho entramado surgen y se visibilizan características que en otros enfoques de la TO no se habían considerado.

Características sistémicas

Una de las características relevantes de esta propuesta es la comunicación concretada en una red de decisiones que implica la autoproducción del propio sistema, lo que conlleva al concepto «autopoiesis⁴». Aunado a esto, las decisiones producen estructuras dentro de la organización que permiten realizar la operación característica del sistema y propician su cierre al entorno. Traducido al caso del Subsistema Trabajo Docente (STD) de la BUAP, las decisiones se implementaron en modelos híbridos y virtuales, centrados en la operación docente que conllevaba una selección de estrategias que dejaban fuera otras posibilidades e interacciones con otros subsistemas (Dirección de Administración Escolar, facultades, Vicerrectoría de Docencia e Investigación, etcétera).

Por ello, las organizaciones crean sus propias estructuras internas que propician su funcionamiento y, a través de la toma de de-

⁴ Capacidad que tiene un sistema para reproducirse y mantener su estabilidad por sí mismo (Varela, Maturana y Uribe, 1974). Asimismo, parafraseando a Luhmann, aplicar la autopoiesis a la economía, la sociología, la ecología o el derecho —entre otros componentes del sistema social—, significa que estos se construyen a sí mismos y crean los elementos que los constituyen (Gardey y Pérez Porto, 2022).

cisiones, realizan selecciones que permiten descartar situaciones no pertenecientes al sistema. Sin embargo, las organizaciones deben abrirse a su entorno para obtener nueva información; así, el sistema se desarrolla y se construye a sí mismo. Respecto al caso del STD, esto representa un proceso de selección, implementación y asimilación de las estrategias que ayudaron a la operación principal. El subsistema nuevamente se abre e interactúa con otros subsistemas para actualizar información del entorno que le permitirá nuevamente tomar decisiones. Por ejemplo, recibir información de nuevas estrategias, prohibiciones, lineamientos de Rectoría respecto a la pandemia por COVID-19 o la implementación de un nuevo *software* para que los docentes impartan sus sesiones.

La paradoja de la organización

Esto lleva a la recursividad del sistema, es decir, este proceso es un ciclo que se repite, lo que produce un aumento de complejidad, ya que tomar una decisión implica una paradoja. Por un lado, se toma una decisión con el objeto de reducir la complejidad proveniente del intercambio con el entorno o de las estructuras internas de la organización. Por otro, al decidir surge la dualidad no-sí, al elegir una y dejar otra se genera incertidumbre e implica tomar una nueva decisión, y esto continúa recursivamente. No obstante, se podría optar por dejar de decidir, pero esto implicaría que la organización dejara de existir; de esta manera aparece el factor «riesgo» —que sistemáticamente se interpreta como incertidumbre— y se vuelve inherente a la organización. De tal suerte que, si el STD dejaba de crear estrategias para mitigar los efectos de la pandemia, posiblemente no hubiese logrado sus objetivos organizacionales y otros subsistemas tomarían su lugar.

Estabilidad

Lo anterior implica que los sistemas (organizaciones), dentro de la propuesta sociopoiética, se relacionen con estabilidad, más que con equilibrio. Esto sucedió con el STD de la BUAP, donde siempre estuvo el riesgo latente, debido a las condiciones cambiantes de la pandemia, por lo que no se consiguió el equilibrio, que es estático. Sin embargo, el entorno es dinámico, lo que sugiere asimilar las nuevas condiciones del entorno para estabilizarse ante los cambios.



LAS ORGANIZACIONES CREAN SUS PROPIAS ESTRUCTURAS INTERNAS QUE PROPICIAN SU FUNCIONAMIENTO Y, A TRAVÉS DE LA TOMA DE DECISIONES, REALIZAN SELECCIONES QUE PERMITEN DESCARTAR SITUACIONES NO PERTENECIENTES AL SISTEMA. SIN EMBARGO, LAS ORGANIZACIONES DEBEN ABRIRSE A SU ENTORNO PARA OBTENER NUEVA INFORMACIÓN; ASÍ, EL SISTEMA SE DESARROLLA Y SE CONSTRUYE A SÍ MISMO.

En suma, la noción de estabilidad permite conceptualizar a las organizaciones como sistemas de comunicación en redes de decisiones orientados a evolucionar a un estado estable que promueva intercambios de información con el entorno o procesar información que surge del interior de la organización a través de la toma de decisiones. Las organizaciones no pueden operar sin la certidumbre que ellas mismas se proporcionan. En este sentido, el equilibrio tiende siempre más al aumento que a la reducción. Una vez constituidas, el incremento de su complejidad es más evidente que su disminución. No puede ser de otra manera, ya que su evolución implica seguir adelante, no existen barreras naturales que detengan esos procesos (Arnold-Cathalifaud, 2008).

Toma de decisiones en la organización

Por último, la base de la propuesta sociopoiética (Luhmann, 2014) aparece con la toma de decisiones en las organizaciones, ya que produce una diferencia. Esta permite que la organización surja delimitando sus bordes y se diferencie de otras organizaciones. Es decir, a través de selecciones de información que se transforman en comunicación, y permiten operar al sistema marcando límites, autodiferenciándose y ocasionando que tanto el sistema como el entorno surjan simultáneamente. Lo anterior sugiere que las organizaciones especifican su mundo al reemplazar su incertidumbre por un modelo interno del mismo (Morgan, 1997); es decir, la propia organización se construye a sí misma y construye su entorno. En el caso del STD, sus estrategias y decisiones, al centrarse en la «docencia», delimitan su función, lo que lo hace diferente de otros subsistemas en la BUAP, como Rectoría, cuya función es ejecutar y administrar la universidad, o la DAE, encargada de procesos escolares: admisión, trayectoria escolar y titulación de los estudiantes.

Es importante añadir que, a través de esta diferenciación, surgen distintos tipos de organizaciones para cumplir fines y funciones específicas, por ejemplo, universidades, empresas, hospitales, clubes deportivos, bancos, fábricas, iglesias, etcétera. De este modo, las organizaciones intercambian información entre ellas de acuerdo con sus objetivos, estructuras y procesos internos que permiten absorber dicha información, convirtiéndose en entornos unas de las otras. Lo anterior sugiere que las

organizaciones absorben incertidumbre «externa» y producen una «interna», y esta incertidumbre autoproducida demanda más decisiones. No obstante, el problema consiste en reproducirlas y revelarlas como artefactos organizacionales contingentes autoproducidos que siempre deben actualizarse (Arnold-Cathalifaud, 2008). Por ejemplo, el uso de nuevas tecnologías dentro de las organizaciones depende de sus condiciones y estructuras internas, es decir, la manera como pueden asimilar la complejidad del entorno y las incertidumbres internas.

Conclusión desde la mirada sociopoiética

En definitiva, la propuesta sociopoiética permite dar cuenta de la complejidad de las organizaciones de una manera no dicotómica (micro-macro) presente en algunas propuestas de la TO que se han planteado, lo que resulta en reduccionismos teóricos. Este aspecto es importante para considerar dicha perspectiva en el estudio de las organizaciones, ya que contempla el nivel *mezzo* —es decir, otros subsistemas— y no se limita exclusivamente al entorno macro (otras organizaciones) ni al análisis micro de estructuras y recursos internos.

Sin embargo, al considerar a los sujetos como meros recursos de la organización, surgen desacuerdos con otras propuestas dentro de la TO e incluso en algunas dentro del enfoque sistémico. Aquí, el argumento justificativo es que lo importante es el estudio de la organización por encima del estudio de los individuos, ya que estos forman parte de aquella. Además, se considera que el factor humano no es confiable, y centrarse en él implicaría un sesgo en el análisis del sistema organizacional y de la comunicación. Por ello, el enfoque debe situarse en la organización como un todo.

Lo anterior incide en considerar a la organización con una lógica racional —o que busca ser racional—, lo que conlleva la impersonalidad de las operaciones y del estudio de dicho sistema. Esto sugiere minimizar el factor humano y sus efectos en las organizaciones, cuyo resultado es determinante en estas, y sumarlo como un elemento más de la propia complejidad de la organización.

Sistema adaptativo complejo

Dentro del enfoque sistémico para las organizaciones existe otra propuesta que retoma pos-



LA NOCIÓN DE ESTABILIDAD PERMITE CONCEPTUALIZAR A LAS ORGANIZACIONES COMO SISTEMAS DE COMUNICACIÓN EN REDES DE DECISIONES ORIENTADOS A EVOLUCIONAR A UN ESTADO ESTABLE QUE PROMUEVA INTERCAMBIOS DE INFORMACIÓN CON EL ENTORNO O PROCESAR INFORMACIÓN QUE SURGE DEL INTERIOR DE LA ORGANIZACIÓN A TRAVÉS DE LA TOMA DE DECISIONES.

tulados de la teoría general de sistemas⁵ (TGS) y añade nuevas perspectivas para estudiar a la organización. Se trata de la propuesta de Daniel Katz y Robert Kahn (1986) en el campo de la psicología social, y John Holland (1995, 1998) desde las ciencias de la complejidad (cc)⁶, la denominada sistemas adaptativos complejos (SAC).

Estos autores llegan a conclusiones similares, basándose en postulados de la TGS, las cc, la sociología y la psicología. Los productos de estos caminos diferentes y resultados simi-

5 El elemento sistema es complejidad pura. Sin embargo, diversos autores de distintas ciencias han contribuido con sus definiciones, lo que sugiere al sistema como punto de partida de una nueva propuesta científica. Así, el esfuerzo científico por reunir y concentrar los postulados generados a partir del concepto de sistema se denomina teoría general de los sistemas (TGS).

No obstante, durante las dos primeras generaciones de la complejidad se gestó un movimiento teórico iniciado por el biólogo Ludwig Von Bertalanffy (1989) entre las décadas de los cincuenta y sesenta, donde surge el libro *General System Theory* en 1968, con el propósito de conformar una metateoría cuyo centro es el concepto sistema. Para lograrlo, se retomaron postulados de las cc y de otras ciencias, principalmente la biología y física; esto dotó a la TGS de una base transdisciplinaria que se conservará para integrar nuevos postulados y adquirir su carácter de metateoría.

6 «Las ciencias de la complejidad nacieron en y desde los institutos de investigación» (Maldonado, 2010). Principalmente acoge los trabajos de los teóricos e investigadores del Instituto Santa Fe, en Nuevo México (Estados Unidos) y de la Universidad Libre de Bruselas (Bélgica). Autores como Maldonado (2012) y Beltrán (2013) proponen como orígenes de las cc dos descubrimientos: el cálculo infinitesimal y los aportes lógicos de Turing y Gödel. El primero es importante, ya que aborda el problema del movimiento, el estudio de los sistemas dinámicos y aparece la figura de «caos» y de «sistema» (que servirán como forma de conceptualizar los fenómenos desde el paradigma de la complejidad y formarán una cosmovisión). Aquí, Poincaré hace aportaciones importantes mediante el análisis de las bases del estudio de los fenómenos, sistemas y comportamientos caóticos.

lares se resumen en dos puntos: a) la concepción del sistema como adaptativo y complejo; con base en esto, b) se construye teoría. Además, esta perspectiva se basa en postulados del paradigma de la complejidad y las cc (cibernética, teoría de la información, sistemas no lineales), con aplicación a cualquier sistema complejo adaptable (Axelrod, 2004). Finalmente, según los autores mencionados, esta propuesta puede aplicarse a distintas áreas de conocimiento o situaciones empíricas: mercados, economía, ecosistemas, sistemas inmunes, sistemas sociales y políticos, psicología y organizaciones en distintas áreas.

De acuerdo con lo anterior, la siguiente cita resulta importante debido a la noción de que las organizaciones complejas tienen la capacidad de adaptarse:

Las organizaciones se han adaptado a las lógicas de interacción, conectividad y acción que estas tecnologías (de la información y comunicación) ofrecen. La empresa normal, de administración tradicional, cede terreno a organizaciones con estructuras flexibles, estrategias construidas sobre intangibles que generan valor y culturas (organizacionales) que permitan la interacción del colectivo para la gestión del conocimiento. (Martínez y Giraldo, 2012)

Adaptación

Sumado a lo anterior, Holland (1995) menciona que la noción de adaptación implica aprendizaje, lo que se refiere al proceso de múltiples selecciones jerárquicas de información a partir de la experiencia del sistema; es decir, el sistema, a través de sus operaciones, realiza diferenciaciones de la información proveniente de las interacciones con su entorno y le asigna una jerarquía dependiendo de sus fines, valores y funciones. En este punto, el STD se distin-

que a través de la docencia —como se mencionó antes—. Dentro de esa función hay actividades que la conforman, como la enseñanza, trabajo administrativo, investigación, asesorías, participación en academia y adaptación. Estas tienen relevancia de acuerdo con la misión, visión y objetivos organizacionales.

A estas selecciones, Holland (1995) las nombra «reglas», que son utilizadas simultáneamente por el sistema y entran en un proceso recursivo de selección basado en su experiencia anterior. De esta manera, el sistema aprende construyendo a partir de la selección y jerarquía de reglas. Así, a medida que se adquiere experiencia, se aprenden más combinaciones de propiedades y entonces se combinan reglas (p. 271).

Organización como sistema adaptativo complejo

Es importante añadir que, en la propuesta SAC, la organización se concibe como un sistema complejo abierto al entorno, con el cual intercambia información. Este sistema posee fines determinados, límites espacio-temporales definidos y mantiene interacciones internas no lineales, coordinadas por una estructura jerárquica. Además, esta propuesta pone énfasis en la relación sistema-entorno y en el procesamiento de la información por parte de la organización, que retoma modelos de la cibernética (primera y segunda generación). El más relevante es *input*-procesamiento-*output*, el cual asegura la continuidad del sistema. Aplicado al STD, los *inputs* corresponden a la información recibida desde Rectoría, la DAE y la dirección de facultades (discursos, requerimientos, reglamentos, avisos, entre otros), la cual es procesada para la toma de decisiones. Como *output*, se implementaron estrategias que facilitaron la adaptación del subsistema.

De acuerdo con sus autores, lo anterior propone características especiales de la organización, autorreproducción, sensibilidad y capacidad de respuesta a la información del entorno (Ávila Vidal, 2022), lo cual esboza la idea de adaptación en los sistemas. La conceptualización anterior relaciona a la propuesta SAC con los postulados de la primera generación de la TGS, debido a la introducción de los conceptos entropía y entropía negativa. El primero, pensado como tendencia al desorden en los sistemas, el cual proviene mayormente del entorno (Navarro, 2001), y el segundo, lo opuesto, que sugiere a través del ciclo *input*-procesamiento-*output* la creación de estructuras generadoras de orden al interior del sistema para su supervivencia y crecimiento.

Sin embargo, este ciclo no es el clásico de la cibernética de primera generación; se relaciona más con el concepto de «caja negra»⁷, ya que los *outputs* no son equivalentes a los *inputs*, y el procesamiento implica un desarrollo de interrelación entre las partes internas del sistema que propicia el surgimiento de fenómenos emergentes⁸, como la adaptación. Esto conlleva pensar a la organización con características recursivas que se asemejan a un fractal, lo cual esboza la complejidad del sistema. Además, im-

7 «Caja negra» es un término que se utiliza para describir un sistema o un dispositivo cuyo funcionamiento interno no se conoce o no se entiende. En otras palabras, se refiere a un sistema que es visto únicamente desde el exterior y cuyo funcionamiento interno es desconocido para el usuario o el observador.

8 Los fenómenos emergentes son propiedad o comportamientos de un sistema complejo que no pueden reducirse a partir de la propiedad o comportamientos de sus partes individuales. En otras palabras, son características del sistema que «surgen» de la interacción entre sus componentes (Udocz, 2025).



LA ORGANIZACIÓN SE CONCIBE COMO UN SISTEMA COMPLEJO ABIERTO AL ENTORNO, CON EL CUAL INTERCAMBIA INFORMACIÓN. ESTE SISTEMA POSEE FINES DETERMINADOS, LÍMITES ESPACIO-TEMPORALES DEFINIDOS Y MANTIENE INTERACCIONES INTERNAS NO LINEALES, COORDINADAS POR UNA ESTRUCTURA JERÁRQUICA.

Tabla 1. Propuestas para entender la complejidad organizacional.

Aspecto	Propuesta sociopoética	Propuesta SAC (Sistemas Adaptativos Complejos)
Enfoque principal	Funcionamiento interno de la organización, comunicación y autopoiesis	Relación organización-entorno, adaptación y procesamiento de información
Concepto clave	Autopoiesis, clausura operativa, redes de decisiones	Adaptación, aprendizaje organizacional, fenómenos emergentes
Relación con el entorno	Apertura y clausura para diferenciación, pero prioriza la autoorganización interna	Intercambio constante de información con el entorno para adaptarse
Rol del individuo	Recurso del sistema; el análisis se centra en la organización como entidad racional	Fuente de complejidad; considera motivaciones, cultura y subjetividades
Estabilidad	Busca estabilidad a través de decisiones recursivas	Alejada del equilibrio; se adapta a entornos dinámicos e inestables
Subsistemas	No los define explícitamente; se enfoca en la comunicación como operación central	Identifica cuatro subsistemas: gerencial, técnico, de apoyo y de adaptación
Aplicación práctica	Útil para diagnósticos internos y análisis de estructuras organizacionales	Ideal para contextos de crisis o cambios rápidos (por ejemplo, pandemia)
Críticas	Minimiza el factor humano y su impacto en la organización	Considera la organización racional y no racional debido a la complejidad humana
Base teórica	Sociología (Luhmann, Baecker)	Psicología social, ciencias de la complejidad (Katz, Kahn, Holland)

Fuente: elaboración propia.

plica la homeostasis⁹, entendida como la propiedad que permite el equilibrio y la estabilidad en las organizaciones. Finalmente, se incorpora la idea de autoorganización mediante la adaptación al entorno, lo que plantea la adaptación como un objetivo y una posibilidad inherente a la organización.

9 El concepto de homeostasis apareció por primera vez en 1860, cuando el fisiólogo Claude Bernard (1813-1878) describió la capacidad que tiene el cuerpo para mantener y regular sus condiciones internas. Además, es crítica para asegurar el funcionamiento adecuado del cuerpo (traducido en estabilidad), ya que, si las condiciones internas están reguladas pobremente, el individuo puede sufrir grandes daños o incluso la muerte. En 1933, Walter B. Cannon (1871-1945) acuñó la palabra «homeostasis» (gr. *homeo*, constante + gr. *stasis*, mantener) para describir los mecanismos que mantienen constantes las condiciones del medio interno de un organismo, a pesar de grandes oscilaciones en el medio externo (FacmedUNAM, 2023).

Los subsistemas de la organización

Otro aporte de esta teoría al estudio del fenómeno organizacional es la identificación de las partes que conforman una organización entendida como sistema o subsistema, como en el caso del STD. Esta se compone de cuatro partes con funciones específicas que las delimitan y diferencian: a) gerencial, b) técnica o de producción, c) de apoyo y d) de adaptación y mantenimiento. La primera —parafraseando a Katz y Kahn (1986)— tiene como función coordinar las conductas organizacionales, además de ajustar, controlar y dirigir la coordinación del resto de subsistemas para mantenerlos cohesionados como organización y permitir que se adapten a las exigencias del entorno. Dentro de este subsistema existe una estructura jerarquizada, que muestra la forma en cómo aplica y ejerce control la gerencia al interior de la organización, lo que permite visualizar la manera en que se toman decisiones dentro de ella. Asimismo, en este subsistema se busca la aceptación de normas y valores de la organización para cumplir

las metas propuestas. En el caso del STD, la parte gerencial es la Vicerrectoría de Docencia y las direcciones de las distintas facultades.

En relación con el subsistema técnico o de producción, su función consiste en transformar los insumos que ingresan a la organización. Para ello, se requiere la colaboración del subsistema de apoyo, encargado de garantizar la actividad productiva a través de transacciones con el entorno. Este subsistema proporciona una fuente continua de insumos, gestiona la exportación de los productos y mantiene relaciones con otras estructuras, subsistemas y organizaciones (Katz y Kahn, 1986). Según el diagnóstico realizado, esta función fue desempeñada por las direcciones de facultad y de academia, así como por las secretarías académicas.

Finalmente, el subsistema de mantenimiento y adaptación —que incluye los insumos necesarios para preservar el sistema, así como la fuerza laboral que ejecuta acciones según roles y fines establecidos— estuvo representado, en el caso del STD, por los cuerpos docentes. Este subsistema opera a través de procesos de selección, un punto clave vinculado con la definición de la propuesta sociopoiética, y mediante procesos de adaptación del individuo. Esto último sugiere recuperar la figura del individuo, pero no como un recurso, como ocurre en la propuesta de Luhmann.

Es importante puntualizar que la propuesta SAC implica abordar a las organizaciones desde una perspectiva sociopsicológica (1986), lo que conlleva retomar al individuo enmarcado en sus dinámicas motivacionales, valores, comportamientos, ejercicio de sus roles, cumplimiento de normas y su relación con la organización. Lo anterior establece una diferencia de la propuesta sociopoiética y sugiere que la organización no es racional del todo, ya que el elemento humano implica motivaciones y sentimientos. De tal manera, la organización es racional y no racional al mismo tiempo.

Conclusión desde la mirada adaptativa compleja

En definitiva, la propuesta SAC sugiere que los cuatro subsistemas mencionados deben desarrollarse, a través de la autoorganización y apertura con el entorno, estructuras de adaptación sensibles a los cambios externos al sistema, que a su vez guíen el funcionamiento y brinden retroalimentación a la organización, lo que considera a la adaptación como un fin organizacional. Además, los cuatro subsistemas están estrecha-

mente relacionados; si ocurre algún cambio en uno, este afecta a los demás. Por tal motivo, el sistema se encuentra inmerso en un ambiente de cambio latente que, a través de la adaptación, busca generar respuestas que anticipen el cambio. Así, esta propuesta tiende a que la organización se oriente al cambio constante, tanto por el entorno como por la complejidad que surge en su interior.

Dicho lo anterior, esta propuesta conceptualiza a la organización como un sistema alejado del equilibrio (Prigogine, 2001), ya que enfrenta una complejidad caracterizada por el desorden, la incertidumbre y la inestabilidad, especialmente en su entorno externo. Estos elementos actúan como factores que potencian el cambio y la evolución organizacional. En el interior de la organización también existe cierta complejidad, aunque en menor medida, y predomina el orden, resultado de procesos de adaptación que permiten la supervivencia del sistema.

METODOLOGÍA

Propuesta de conceptualización

En suma, las dos propuestas, al provenir del enfoque sistémico, guardan relación conceptual y en enfoque. Por ejemplo, ambas coinciden en que las organizaciones son sistemas abiertos, intercambian información con su entorno y están en constante apertura y clausura para realizar sus funciones y diferenciarse. Lo anterior sugiere que las organizaciones son autoorganizativas y recursivas en sus procesos, debido a su creciente complejidad. Asimismo, estos sistemas se encuentran en constante incertidumbre e inestabilidad, por lo que se busca el equilibrio y la estabilidad. Finalmente, ambas posturas se basan en postulados de cc, biología, sociología, psicología y de la teoría general de los sistemas en sus dos generaciones.

Diferencias entre las propuestas

Sin embargo, existen diferencias. Por un lado, la propuesta sociopoiética se enfoca principalmente al funcionamiento interno de la organización, a través de conceptos como clausura operativa, autoorganización, comunicación y su uso como operación principal para realizar autopoiesis, así como el acoplamiento estructural. De tal manera, esta propuesta es de gran utilidad para diagnosticar la organización desde adentro.

Por otro lado, la propuesta SAC prioriza la relación organización-entorno, lo que proporciona un análisis de su relación con elementos fuera del sistema y el procesamiento de infor-



EN EL INTERIOR DE LA ORGANIZACIÓN TAMBIÉN EXISTE CIERTA COMPLEJIDAD, AUNQUE EN MENOR MEDIDA, Y PREDOMINA EL ORDEN, RESULTADO DE PROCESOS DE ADAPTACIÓN QUE PERMITEN LA SUPERVIVENCIA DEL SISTEMA.

LA PROPUESTA SOCIPOIÉTICA SE ENFOCA PRINCIPALMENTE AL FUNCIONAMIENTO INTERNO DE LA ORGANIZACIÓN, A TRAVÉS DE CONCEPTOS COMO CLAUSURA OPERATIVA, AUTOORGANIZACIÓN, COMUNICACIÓN Y SU USO COMO OPERACIÓN PRINCIPAL PARA REALIZAR AUTOPOIESIS, ASÍ COMO EL ACOPLAMIENTO ESTRUCTURAL.



mación para su adaptación, articulando los cuatro subsistemas mencionados y su constante relación y sensibilidad a los cambios. Esto permite visibilizar una organización real¹⁰ en un contexto de alta inestabilidad y cambiante, como el de la pandemia por COVID-19.

Así, el punto controversial es el tema del individuo, debido a que la propuesta sociopoiética lo considera un recurso del sistema organizacional para la consecución de sus fines, ya que lo que interesa es la organización (Luhmann, 2000) pensada como racional. Por tal motivo, la organización es el centro del análisis y la influencia del factor humano está diluida en el propio sistema. Respecto a la segunda propuesta, considera al individuo no como recurso, sino como fuente de complejidad a través de sus interacciones con otros miembros, la organización, los subsistemas, sus motivaciones y la cultura organizacional. De esta manera, el sistema organizacional no es racional del todo.

Pensamiento complejo

Con base en lo anterior, se recurre al pensamiento complejo, específicamente al principio dialógico como complementariedad de los opuestos¹¹ (Morin, 1990) y a la TGS. Ambos ele-

¹⁰ El diagnóstico sistémico de donde se extrae este artículo se enfocó en la BUAP, pero se puede aplicar a otras organizaciones.

¹¹ Con la idea de la complementariedad de los opuestos, Morin configura su «dialógica». La existencia de una relación dialógica entre dos nociones o dos ideas significa que la relación debe conceptualizarse como compleja. Es decir, que la relación entre las dos nociones es, a la vez, de complementariedad y de antagonismo, y, por consiguiente, es ambivalente e

mentos constituyen la base teórico-metodológica que sustenta la propuesta de conceptualización. Esto implica considerar a la organización tanto en su contexto como en su concepto (Ibarra, 2000). En este sentido, para los fines de este artículo, la organización se aborda desde una mirada dialógica, que en el plano empírico se traduce en una visión *en contexto* (relacionada con el enfoque SAC), es decir, teniendo en cuenta «las ausencias y las zonas de penumbra, que han sido eliminadas en aras de la claridad y el orden» (Ibarra, 1998, p. 230). Se trata de visibilizar aspectos de la realidad social de la organización que suelen permanecer ocultos: lo informal, irracional, caótico, incierto, imperfecto, lo que no aparece en los medios, lo que está en constante transformación. Esta perspectiva permite una mirada interna a la universidad, lo que rescata al sujeto y evidencia la complejidad de la organización.

Finalmente, en cuanto a *en concepto* —relacionado con la propuesta sociopoiética—, este se refiere a «lo uniforme, estático, estético, general» (p. 229). Es decir, aquello no problemático, racional, ideal; lo que se expresa en los

incierto. Ese «a la vez» no significa «siempre y bajo todo o cualquier punto de vista», sino que conlleva e implica un cambio de punto de vista. Es decir, es bajo uno u otro ángulo que los términos o fenómenos dialógicamente relacionados aparecen ora como complementarios, ora como antagonistas. Bajo determinado punto de vista, emerge la complementariedad que existe entre dos nociones o ideas y, bajo otro punto de vista, se nos muestra su oposición (Solana, 2019).





discursos, aparece en los reglamentos, informes y decisiones; lo que se encuentra en los planes de desarrollo, en la cultura gerencial y en los objetivos organizacionales, y permite observar a las organizaciones desde sus estructuras formales. En definitiva, estas dos miradas son opuestos complementarios (Esposito, 2009) y esto es la organización. En síntesis, ambas teorías se ensamblan en aras de proponer una conceptualización en el estudio de las organizaciones, la cual se denomina *organizaciones como sistemas adaptativos complejos*¹².

◆ RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Esta conceptualización se aplicó al caso del diagnóstico organizacional del Subsistema Trabajo Docente (STD) de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP) durante el periodo 2021-2022, debido a las siguientes razones:

1) Contextual: por el entorno de alta complejidad, ya que era el segundo año de la pandemia por COVID-19 que provocó la suspensión de actividades presenciales, el tránsito a la virtualidad y la adopción de modelos híbridos para que la universidad continuara con sus funciones. Esto afectó la operación del STD.

2) Emergencia: no se había contemplado realizar dentro de la BUAP un diagnóstico con perspectiva sistémica durante el periodo pandémico, que implicara dar cuenta del funcio-

namiento y aprendizaje del STD. Esto a través de sus interacciones con otros subsistemas y el uso de nuevos recursos tecnológicos, que se convirtieron en un elemento indispensable para sortear obstáculos o contextos inciertos, como muestra el estudio «Estrategias de respuesta de empresas mexicanas ante los impactos de la crisis por COVID-19» (Fierro *et al.*, 2021). En dicho estudio se explica que, a través de la tecnología, organizaciones de distintos tipos pudieron sobrevivir a los efectos de la pandemia.

3) Adaptación: visibilizar posibilidades a fin de propiciar la toma de decisiones y generación de estrategias integrales para lograr los objetivos organizacionales, que facilitaran la adaptación de las funciones del STD. Lo anterior no solo considerando el contexto pandémico y económico¹³, sino la cultura organizacional, debido a que constituye un telón de fondo, la base que apoya o rechaza, canaliza y reinterpreta, potencia o mitiga las propuestas contenidas en un cambio organizacional planificado (Arnold-Cathalifaud, 2008). Es decir, facilita la adaptación del subsistema en el nuevo contexto, así como el factor que incidirá en las decisiones dentro de la organización.

¹² Esta conceptualización fue utilizada para la elaboración del diagnóstico organizacional de donde proviene el presente artículo.

¹³ La BUAP presentó un hándicap que se relaciona con el deterioro económico iniciado desde la crisis de 2008 (Reyno, 2019). Es decir, van doce años de esta situación, y en 2019 se reflejó en la economía mexicana como crecimiento muy escaso o nulo. Esto ha afectado a la BUAP y sus actores (como los docentes). Por ejemplo, en 2019, los subsidios por parte del Gobierno disminuyeron 109,579,000 pesos, en contraste con el año anterior (Domínguez, 2020). Para 2022 no mejoraron los números de la universidad.

CONCLUSIONES

Resultados de la conceptualización

En suma, y basado en la experiencia del diagnóstico del STD de la BUAP, conceptualizar a una organización como sistema adaptativo complejo permitió considerar a la organización como una red holística de estrategias que propicia la toma de decisiones apegadas a la realidad del STD, lo que posibilita un análisis organizacional multinivel: macro-*mezzo*-micro. Es decir, las diversas interacciones que tuvo el STD con otros subsistemas, sistemas y el entorno durante el periodo de pandemia.

Por ejemplo, en el nivel macro, el STD interactuaba con el sistema de salud y el Gobierno estatal para conocer las medidas, restricciones, cifras y otros datos relacionados con la pandemia, a fin de tomar decisiones informadas.

En el nivel *mezzo*, el STD interactuaba con otros subsistemas: facultades, Dirección de Administración Escolar, Rectoría y otras instancias para coordinarse respecto al discurso, valores y estrategias a implementar.

Finalmente, en el nivel micro, el STD interactuaba con los docentes que ejecutaban la operación fundamental. Además, se consideraron sus valores, preocupaciones, habilidades, *back-ground* y otros motivos para elaborar estrategias.

Por otra parte, permitió esbozar el funcionamiento del subsistema diagnosticado. En términos sistémicos, visibilizar la operación del STD y cuáles actividades la conforman. En el diagnóstico, la operación «docencia» propiciaba el funcionamiento y estaba integrada por enseñanza, trabajo administrativo, investigación, asesorías, participación en academia y adaptación (la más relevante). Conocer la operación y cómo está conformada permitió tomar decisiones y realizar estrategias centradas en estas.

Una vez visibilizada la operación, se resalta cómo se ha adaptado el STD, es decir, cómo se ha generado aprendizaje organizacional (autoorganización en términos de complejidad). De esta forma, las estrategias y prácticas implementadas se perfeccionaron progresivamente

y se difundieron dentro del STD, lo que permitió consolidar su adaptación y generar memoria en el subsistema.

A diferencia de otras propuestas sistémicas, esta conceptualización toma en cuenta a las personas. Es decir, al generar estrategias, en el STD se consideraron las subjetividades de los docentes. Por tal motivo, los aspectos emotivos, simbólicos y domésticos fueron cruciales para la adaptación.

Usar como amalgama el pensamiento complejo permitió revelar las áreas de oportunidad del STD, a través de las facetas *en concepto* y *en contexto* —anteriormente expuestas—. El diagnóstico del STD abordó los discursos oficiales de Rectoría, los objetivos de las facultades, los reglamentos y lineamientos establecidos por la BUAP, la cultura gerencial y los métodos de enseñanza aprobados y/o recomendados durante ese periodo. *En contexto*, consideró también las prácticas no oficiales e informales del STD, las subjetividades, la cotidianidad del trabajo docente en aulas virtuales y presenciales, los errores en la implementación de estrategias, el currículo oculto, entre otros aspectos. En conjunto, se evidenció la alta complejidad del STD y la manera en que este se autoorganizaba frente a dicha complejidad.

Por último, a través de esta propuesta de conceptualización, se abren futuras líneas de investigación:

- Aplicar esta conceptualización en otras organizaciones educativas y no educativas, con el objetivo de desarrollar herramientas de diagnósticos más avanzadas desde situaciones dinámicas o en entornos complejos y adversos.
- Con base en esta propuesta de organización, crear modelos de complejidad enfocados en adaptarse a organizaciones complejas, en favor de identificar áreas de oportunidad, crear aprendizaje organizacional y teórico, y abonar a la TO desde la mirada de la complejidad.



José de Jesús Bravo Amador

Profesional con experiencia docente en inglés en academias y universidades del Estado de México y Puebla, así como en

capacitación empresarial en la región Puebla-Tlaxcala. Actualmente coordina acreditaciones internacionales y posgrados en la UDLAP. Es licenciado en Lenguas Modernas y Sociología, y cuenta con una Maestría en Estudios Sociales por la BUAP. Ha desarrollado proyectos institucionales, realizado publicaciones académicas y participado como ponente en congresos nacionales e internacionales. Sus principales intereses giran en torno a las organizaciones, la adaptación, la complejidad y los fenómenos emergentes.

jjbram@live.com.mx



REFERENCIAS

- Arnold-Cathalifaud, M. (2008). Las organizaciones desde la teoría de los sistemas sociopoiéticos. *Cinta de Moebio* (33), 90-108. <https://doi.org/10.4067/S0717-554X2008000200002>
- Ávila Vidal, A. (2022). Las organizaciones como sistemas complejos. *Revista Integración Académica en Psicología*, 10(28), 1-10. <https://integracion-academica.org/index.php/integra/article/view/274>
- Axelrod, R. (2004). *La complejidad de la cooperación: Modelos de cooperación y la colaboración basada en los agentes* (1.ª ed.). Fondo de Cultura Económica.
- Baecker, D. (2006). *Wirtschaftssoziologie*. Transcript Verlag.
- Beltrán, B. (2012). El mundo de las ciencias de la complejidad. *Innovar*, 22(45), 31-44.
- Bertalanffy, L. von. (1989). *Teoría general de los sistemas: Fundamentos, desarrollo y aplicaciones*. Fondo de Cultura Económica.
- Bravo, J. (2023). *Diagnóstico del Subsistema Trabajo Docente nivel superior de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla*. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Domínguez, E. (21 de septiembre de 2020). Disminuyen subsidios a la BUAP en 109 mdp. *El Sol de Puebla*. <https://www.elsoldepuebla.com.mx>
- Esposito, R. (2009). *Immunitas: Protección y negación de la vida*. Amorrortu Editores.
- Facultad de Medicina, UNAM. (2023). *Homeostasis*. <https://fisiologia.facmed.unam.mx/index.php/homeostasis/>
- Fajardo-Ortiz, G. et al. (2015). *La dimensión del paradigma de la complejidad en los sistemas de salud*. Universidad Nacional Autónoma de México. <https://www.elsevier.es/es-revista-cirugia-cirujanos-139-articulo-la-dimension-del-paradigma-complejidad-S000974111500033>
- Fierro, E. et al. (2021). Estrategias de respuesta de empresas mexicanas ante los impactos de la crisis por COVID-19. *RECAI. Revista de Estudios en Contaduría, Administración e Informática*, 10(29), 1-20. Universidad Autónoma del Estado de México.
- Gardey, A. y Pérez Porto, J. (2022). Autopoiesis: Qué es, definición y concepto. *Definición.de*. <https://definicion.de/autopoiesis/>
- Holland, J. H. (2004). *El orden oculto. De cómo la adaptación crea complejidad* (M. Navarro, trad.). Fondo de Cultura Económica. (Obra original publicada en 1995).
- Holland, J. H. (1998). *Emergence. From chaos to order*. Addison-Wesley.
- Ibarra, E. (1998). *Universidad en México hoy: Gubernamentalidad y modernización*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ibarra, E. (2000). Teoría de la organización, mapa conceptual de un territorio en disputa. En T. Latin American (ed.). *Tratado latinoamericano de sociología del trabajo*. Fondo de Cultura Económica.
- Katz, D. y Kahn, R. L. (1986). *Psicología social de las organizaciones*. Trillas.
- Luhmann, N. (2000). *La realidad de los medios de masas*. Anthropos – Universidad Iberoamericana.
- Luhmann, N. (2014). *Introducción a la teoría de sistemas* (J. Torres Nafarrate, trad.). Universidad Iberoamericana.
- Maldonado, C. (2012). *Derivas de la complejidad: Fundamentos científicos y filosóficos*. Universidad del Rosario.
- Martínez, J. y Giraldo, M. (2012). La organización y su adaptación a las tecnologías de la información y la comunicación en procesos de gestión del conocimiento. *Semestre Económico*, 15(32), 97-112.
- Montaña, H. (2004). *El estudio de las organizaciones en México: Una perspectiva social*. Universidad Autónoma Metropolitana.
- Morgan, G. (1997). *Images of organization*. Sage.
- Morin, E. (1980). *El método II: La vida de la vida*. Cátedra.
- Morin, E. (1990). *Introducción al pensamiento complejo*. Gedisa.
- Morin, E. (1994). La noción de sujeto. En E. Morin, *Nuevos paradigmas, cultura y subjetividad* (pp. 145-163). Paidós.
- MSMK. (2024). ¿Qué es la caja negra? *The University of Science of Technology*. <https://msmk.university/que-es-la-caja-negra-msmk-university/>
- Navarro, J. (2001). *Las organizaciones como sistemas abiertos alejados del equilibrio*. Departamento de Psicología Social, Universidad de Barcelona, (146), 1-25.
- Prigogine, I. (2001). *El fin de las certidumbres*. Taurus.
- Solana, J. (2019). El pensamiento complejo de Edgar Morin en acción: Algunos ejemplos. *Gazeta de Antropología*. <http://www.gazeta-anthropologia.es/?p=5396>
- Udocz. (2025). *Fenómenos emergentes*. <https://www.udocz.com/apuntes/1055587/fenomenos-emergentes-fisica>
- Varela, F. J., Maturana, H. R. y Uribe, R. (1974). Autopoiesis: The organization of living systems, its characterization, and a model. *Biosystems*, 5(4), 187-196.



► Implementation of prebiotics and probiotics in individuals with anxiety or stress: a systematic review

IMPLEMENTACIÓN DE

prebióticos y probióticos

EN INDIVIDUOS CON

ansiedad o estrés: revisión sistemática

Por:  Daniel Armando Villarreal Portillo · Miriam Chavarría Suárez · Edgar Farias Cano · David Gustavo Rodríguez Ramos · Erika Palacios Rosas



Villarreal Portillo, D., Chavarría Suárez, M., Farias Cano, E., Rodríguez Ramos, D. y Palacios Rosas, E. (2025). Implementación de prebióticos y probióticos en individuos con ansiedad o estrés: revisión sistemática. *Entorno UDLAP*, 24

↻ Recibido: 13 de junio de 2024 ✓ Aceptado: 29 de noviembre de 2024

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo es ofrecer una recopilación actualizada de la evidencia científica más reciente sobre las vías de comunicación entre el sistema nervioso y el sistema digestivo, así como la influencia de la microbiota intestinal en el trastorno de ansiedad generalizada.

Se recopiló información sobre ensayos preclínicos y clínicos que evalúan el uso de probióticos para el tratamiento de la ansiedad, analizando su eficacia y seguridad. Asimismo, se discuten las ventajas de la administración de probióticos mediante presentaciones farmacéuticas en comparación con la suplementación por vía alimentaria. Para ello, se llevó a cabo una búsqueda en bases de datos científicas, considerando únicamente artículos publicados en revistas de prestigio internacional, con especial atención en aquellos difundidos en los últimos años.

Cabe destacar que los pacientes suelen mostrar resistencia a cambiar sus hábitos alimentarios; por ello, la administración de probióticos mediante presentaciones farmacéuticas puede facilitar dicho proceso.

PALABRAS CLAVE

Ansiedad · *Bifidobacterium* · *Lactobacillus* · Microbiota · Probiótico

ABSTRACT

The aim of this paper is to provide an updated compilation of the most recent scientific evidence on the communication pathways between the nervous system and the digestive system, as well as the influence of gut microbiota on generalized anxiety disorder.

Information was gathered from preclinical and clinical trials evaluating the use of probiotics

for the treatment of anxiety, analyzing their efficacy and safety. In addition, the advantages of administering probiotics through pharmaceutical formulations, as opposed to dietary supplementation, are discussed.

To this end, a literature search was conducted in scientific databases, including only articles published in internationally recognized journals, with a particular focus on studies from recent years.

It is worth noting that patients are often reluctant to change their eating habits; therefore, the use of probiotics in pharmaceutical forms may help facilitate this process.

KEYWORDS

Anxiety · *Bifidobacterium* · *Lactobacillus* · Microbiota · Probiotic

INTRODUCCIÓN

Hasta hace unos veinte años, la influencia de la microbiota intestinal (MI) en la salud humana había sido subestimada, en parte debido a la imposibilidad de detectar muchas especies bacterianas con las metodologías microbiológicas disponibles hasta entonces (Roca *et al.*, 2018). En el año 2010, gracias a la investigación de Filippo y colaboradores, se demostraron las diferencias entre la microbiota intestinal de niñas y niños de Europa y la de África rural, en un momento en que los estudios en este campo aumentaron exponencialmente (Filippo *et al.*, 2010). De la gran variedad de microorganismos que habitan en el cuerpo humano, solo una pequeña cantidad de bacterias podían ser cultivadas mediante ciertos métodos, por lo que existía un gran vacío en el conocimiento sobre la actividad, cantidad y

calidad de las bacterias que habitan en el organismo (Cryan y Dinan, 2012).

Tanto la MI como las modificaciones en su composición desempeñan un papel relevante en diversas patologías, como la enteritis, el cáncer, la diabetes, la obesidad, los trastornos digestivos, entre otras (Schippa y Conte, 2014; Garcia-Mantrana *et al.*, 2018). Entre sus múltiples funciones, se ha identificado que ciertos componentes de la MI tienen capacidad para influir en el estado del ánimo y cambiar el comportamiento del ser humano en algunos aspectos, como la respuesta ante la ansiedad (Macedo *et al.*, 2017; Merkouris *et al.*, 2024).

El concepto de prebiótico es más reciente que el de probiótico. Los aspectos clave de un prebiótico son su resistencia a la digestión por parte del huésped y su capacidad para generar beneficios en la salud del consumidor, al favorecer el desarrollo de microorganismos beneficiosos residentes. El consumo de prebióticos o probióticos busca modificar el entorno intestinal, habitado por billones de microbios, en favor de la salud humana. Si bien se ha demostrado que tanto los probióticos como los prebióticos tienen efectos benéficos que se extienden más allá del intestino, estas directrices se centran exclusivamente en los efectos intestinales (Sanders *et al.*, 2023).

Por otra parte, la ansiedad se define como una reacción del organismo a una situación persistente de estrés (Jian *et al.*, 2018). Por ello, los acontecimientos de estrés recurrentes generan un estado de ansiedad prolongado que, si no se trata adecuadamente, puede derivar en trastornos mentales, como la depresión (Akyol *et al.*, 2018). Una de las consecuencias de la ansiedad a largo plazo, así como de las patologías mentales asociadas, es el aumento en los niveles de glucocorticoides. Si estos niveles se mantienen elevados durante un tiempo prolongado, pueden activar de forma sostenida una activación del eje hipotálamo-hipófisis-suprarrenal y generar alteraciones en la estructura del hipocampo. Esto provoca, en última instancia, aberraciones en la neurogénesis, cambios en la configuración neuronal e incluso la muerte celular de las neuronas (Pirbaglou *et al.*,

2016; Fort *et al.*, 2023). Desde el punto de vista neuroanatómico, la ansiedad se explica como la percepción de un estímulo condicionado de amenaza, procesado inicialmente por el tálamo anterior. Esta señal se dirige luego al núcleo lateral de la amígdala y, posteriormente, al núcleo central, responsable de coordinar la respuesta autonómica y conductual, al diseminar la información recibida de la siguiente manera:

1. Núcleo hipotalámico: activación del sistema nervioso simpático.
2. Núcleo parabraquial: aumento de la frecuencia respiratoria.
3. Región gris periacueductal: comportamiento defensivo y posturas de congelamiento.
4. Locus cerúleo: liberación aumentada de noradrenalina.
5. Núcleo dorsal del vago (también recibe señales del locus cerúleo y del hipotálamo): incrementa el tono del sistema parasimpático, que da lugar al aumento de la frecuencia defecatoria y miccional, úlceras gastrointestinales y bradicardia.
6. Núcleos trigémino y facial motor: se genera la expresión facial característica de miedo y ansiedad.

Por lo tanto, en la ansiedad tenemos hiperactividad adrenérgica, disfunción serotoninérgica, disfunción dopaminérgica, hiperactividad del factor liberador de corticotropinas e hipersensibilidad de los receptores de colecistoquinina (Vázquez, 2023).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que aproximadamente el 3.6 % de la población mundial experimenta trastorno de ansiedad generalizada en un año específico, mientras que el 6.6 % presenta algún tipo de trastorno de ansiedad (Domínguez *et al.*, 2024). Asimismo, algunos autores estipulan que los tratamientos medicamentosos actuales no son totalmente efectivos para tratar enfermedades mentales como la ansiedad y la depresión (Pirbaglou *et al.*, 2016; Jian *et al.*, 2018). En este sentido, la mayoría de las medicaciones se basan en antidepresivos, como los inhibidores selectivos de la recaptación de serotonina (Jian *et al.*, 2018; Heruc *et al.*, 2018). Sin embargo, este grupo de medicamentos tienen efectos y reacciones adversas, como la reducción del apetito sexual, el aumento de peso e incluso trastornos en el sueño (Pirbaglou *et al.*, 2016). De esta manera, entre el 30 % y el 60 % de los pacientes que se tratan con ansiolíticos y antidepresivos experimentan síntomas residuales, y



LOS ASPECTOS CLAVE DE UN PREBIÓTICO SON SU RESISTENCIA A LA DIGESTIÓN POR PARTE DEL HUÉSPED Y SU CAPACIDAD PARA GENERAR BENEFICIOS EN LA SALUD DEL CONSUMIDOR, AL FAVORECER EL DESARROLLO DE MICROORGANISMOS BENEFICIOSOS RESIDENTES. EL CONSUMO DE PREBIÓTICOS O PROBIÓTICOS BUSCA MODIFICAR EL ENTORNO INTESTINAL, HABITADO POR BILLONES DE MICROBIOS, EN FAVOR DE LA SALUD HUMANA.



entre el 10 % y el 20 % experimentan recaídas frecuentes (Jian *et al.*, 2018) que pueden derivar en el abandono prematuro del tratamiento (Pirbaglou *et al.*, 2016). Además, otro resultado de la ansiedad es que frecuentemente se manifiesta con una activación persistente del apetito (Heruc *et al.*, 2018).

Una de las estrategias terapéuticas desarrolladas en los últimos años consiste en abordar los síntomas de la ansiedad a través de la modificación de los factores ambientales que inciden en ella (Foster y McVey, 2013). En este sentido, la MI se ha propuesto como una vía relevante de intervención (Wang y Kasper, 2014; Bibbò *et al.*, 2022).

METODOLOGÍA

Material y métodos

Se realizó una revisión sistemática siguiendo la metodología PRISMA. Se incluyeron ensayos clínicos que evaluaron la respuesta de individuos, tanto humanos como animales, con ansiedad o expuestos a situaciones de estrés, a quienes se les administraron prebióticos y probióticos.

P (Población): individuos humanos y animales con ansiedad o sometidos a situaciones de estrés.

I (Intervención): administración de prebióticos y probióticos.

C (Comparación): no administración de prebióticos y probióticos.

O (Resultado): evaluación de la mejoría o no de los estados de ansiedad y estrés.

La búsqueda incluyó los siguientes términos MeSH: *Anxiety OR stress AND Bifidobacterium AND Lactobacillus AND microbiota AND probiotic*.

Se seleccionaron artículos publicados desde 2015 hasta junio de 2024, tanto en inglés como en español, en las siguientes bases de datos: Scielo, Medigraphic, Pubmed, Google Scholar y Embase. En dicha búsqueda, se obtuvo un resultado inicial de 207 artículos, los cuales fueron revisados por dos lectores de manera independiente, seleccionando veintisiete artículos.

Los artículos seleccionados debían mencionar una condición de ansiedad o una situación de estrés en los sujetos de estudio, quienes debían haber recibido prebióticos o probióticos. Se conformó una base de datos para verificar si cumplían con los criterios de inclusión.

Resultados: en los artículos analizados se encontró una asociación entre la microbiota y la actividad del sistema nervioso central (SNC).

Conclusión: la evidencia sugiere que la microbiota podría influir en el SNC de individuos expuestos a situaciones de estrés o ansiedad.

Regulación del trastorno de ansiedad generalizada

Los síntomas clínicos de la ansiedad responden a un estímulo del sistema nervioso autónomo (SNA), particularmente el sistema simpático. Como resultado, este estímulo genera diversos síntomas cardiorrespiratorios y gastrointestinales, entre otros. En pacientes con trastornos de ansiedad, la respuesta del SNA es anormal y desproporcionada frente a diferentes estímulos, incluso en situaciones de reposo, en comparación con los sujetos de control (Zvolensky *et al.*, 2018). La regulación de la ansiedad es compleja y en ella intervienen múltiples sistemas, como el sistema noradrenérgico, el sistema serotoninérgico, el ácido gaminobutírico (GABA), el eje hipotalámico-hipofisario-adrenal y un gran número de neurotransmisores como el neuropeptido Y (NPY) y la colecistoquinina (CCK) (Sherwinet *et al.*, 2018).

De igual manera, se ha demostrado que la MI puede influir en múltiples funciones cerebrales, entre ellas la regulación de la ansiedad (Cryan y Dinan, 2012). Existen diversas vías de comunicación entre el intestino y el cerebro, tales como los aferentes vagales, las hormonas intestinales, las citoquinas y la comunicación mediada por exosomas. Estos últimos son membranas lipopolisacáridas que no necesariamente circulan solo por las rutas anteriormente mencionadas; sin embargo, son capaces de alcanzar cualquier localización dentro del organismo (Kim y de La Serre, 2018; Lew *et al.*, 2019).

Actualmente, se ha observado que las lesiones cerebrales también son capaces de alterar la composición de la MI y provocar un estado de disbiosis, es decir, un estado de la MI que se aleje del equilibrio que se considera saludable (Roca *et al.*, 2018).

Además, se ha demostrado que la MI desempeña un papel clave en la activación de la microglía (Westfall *et al.*, 2017). Por ello, su manipulación —especialmente mediante bacterias capaces de fermentar sustratos y producir ácidos grasos de cadena corta (AGCC) en el intestino grueso— puede modular la activación neuroinmune (Sampson *et al.*, 2016; Fort *et al.*, 2023).

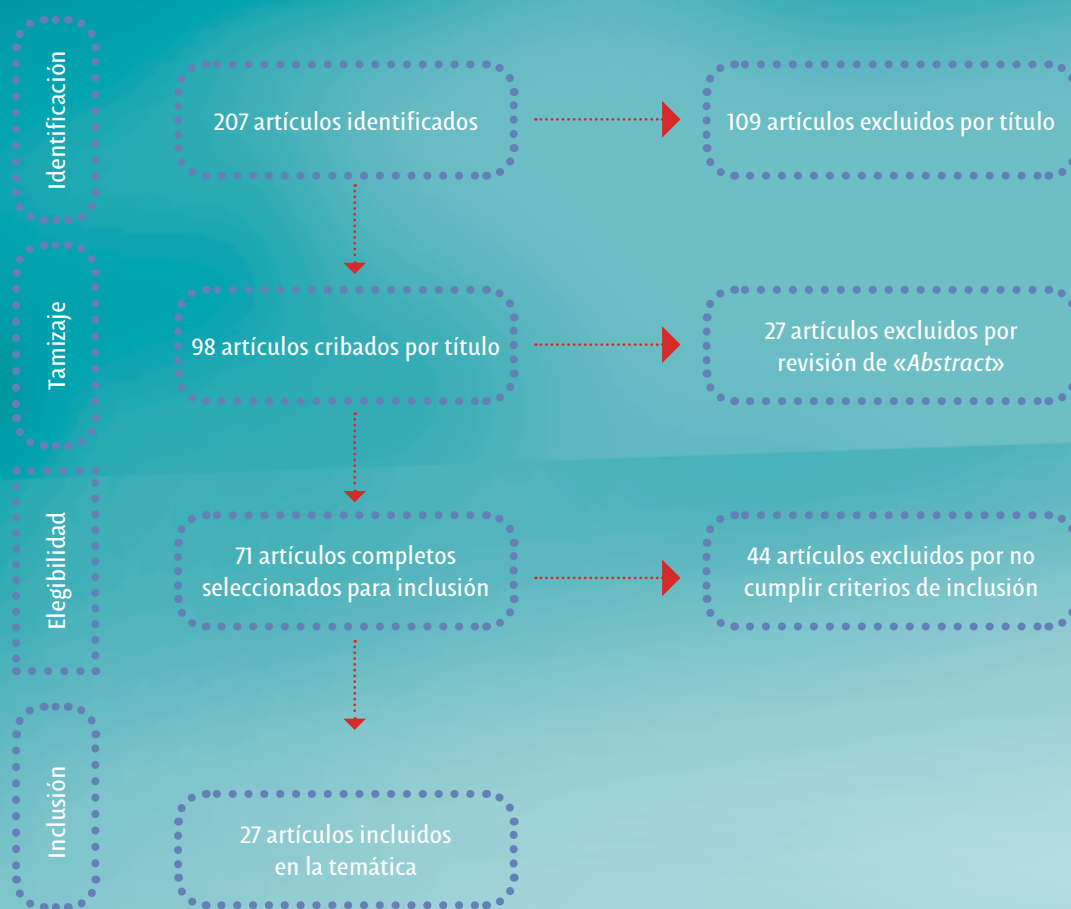


Figura 1. Flujograma de proceso de la revisión sistemática.

Fuente: elaboración propia.

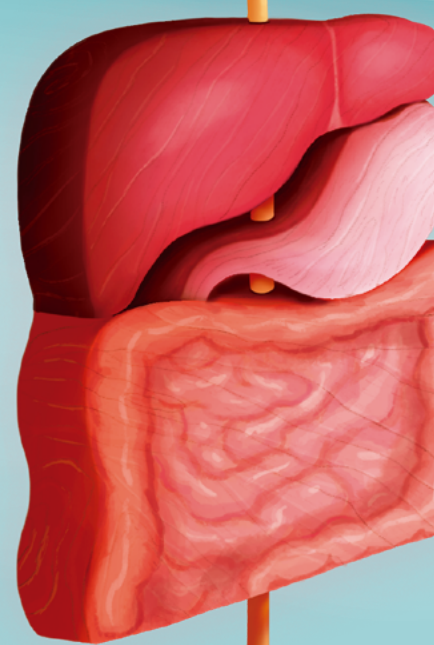
¿Por qué es importante la microbiota intestinal?

La constitución de la MI en un ser humano adulto depende de múltiples factores que influyen a lo largo de la vida (Conlon y Bird, 2014). Entre ellos, destaca el tipo de nacimiento —ya sea parto natural o cesárea—, la alimentación durante la lactancia, las condiciones higiénicas del entorno, el uso de antibióticos, la actividad física, la edad, entre otros (Roca *et al.*, 2018). Sin embargo, el principal agente modulador es la dieta, la cual puede variar su composición de manera rápida (de La Serre *et al.*, 2015).

Una dieta rica en grasas, típica de los países occidentales, contribuye a la obesidad, en parte por la modificación de la MI y el deterioro de la conducta, lo que incrementa el comportamiento ansioso (Bruce-Keller *et al.*, 2015; Tae *et al.*, 2024). Por el contrario, una alimentación abundante en fibra ayuda a disminuir el índice de masa corporal y, además, puede modular el desarrollo de la MI, favoreciendo la colonización de bacterias beneficiosas como *Bifidobac-*

terium spp. (Conlon y Bird, 2014; Cani y Everard, 2016). Adicionalmente, una dieta rica en proteínas y baja en fibra aumenta la producción de ácidos grasos de cadena larga y otros metabolitos tóxicos como el amonio, indol, fenol y derivados (Roca *et al.*, 2018).

La disbiosis intestinal inducida por una dieta con alto contenido en grasas también puede generar una MI proinflamatoria, lo que conduce a una mayor creación de mediadores proinflamatorios, como el lipopolisacárido (LPS) (Sen *et al.*, 2017). Los metabolitos asociados a esta MI proinflamatoria pueden alterar tanto la integridad como la permeabilidad de los enterocitos, lo que favorece la liberación de citoquinas proinflamatorias como factor de necrosis tumoral α y la interleukina-1 β (Kim y De la Serre, 2018). Estas citoquinas, a su vez, son capaces de comprometer la integridad de las uniones entre las células epiteliales, lo que incrementa la permeabilidad del epitelio colónico (Sen *et al.*, 2017). Por lo tanto, uno de los factores clave para la prevención de los trastornos metabóli-



cos es evitar el aumento de la permeabilidad del intestino grueso.

Eje intestino-cerebro

La MI y el SNC se comunican a través de un conjunto de vías diferentes de señalización, llamadas de manera colectiva como «eje intestino-cerebro» (Dinan *et al.*, 2018). Se trata de un sistema bidireccional, donde las señales neurológicas directas, señales endocrinas y factores inmunológicos tienen participación (Dryman y Heimberg, 2018). Así, la MI transmite al SNC información específica, según los alimentos y nutrientes que atraviesan el tracto gastrointestinal. Cuando el SNC recibe esta información, se crea una respuesta sistémica (Foster y McVey, 2013). De esta forma, al existir un estado de disbiosis, la información que viaja desde el intestino hasta el cerebro transmite señales de estrés proinflamatorio, un aumento del estrés oxidativo, un desequilibrio en la homeostasis energética y una mayor degeneración celular (Westfall *et al.*, 2017).

Hay autores que afirman que la disbiosis conduce al desarrollo de enfermedades neurológicas como la depresión, la ansiedad y la neurodegeneración (Westfall *et al.*, 2017; Dinan *et al.*, 2018). Con esto, se llegó a la conclusión de que la MI y el cerebro se comunican en cuatro formas de conexión: autónoma, neuroendocrina, entérica e inmunológica (Dinan *et al.*, 2018; Merkouris *et al.*, 2024).

Aun cuando se plantean diversos mecanismos de comunicación en los que podrían interrelacionarse el intestino y el SNC, en los últimos años se ha postulado que la vía más importante de comunicación entre ambos es el nervio vago (Dinan *et al.*, 2018). Gracias a este nervio, la información sobre la cantidad y calidad de los nutrientes es transmitida a los centros encargados de regular el comportamiento alimentario, los cuales se encuentran principalmente en el núcleo del tracto solitario, ubicado en el tronco encefálico (Hamilton *et al.*, 2015; O'Loughlin *et al.*, 2017). Uno de los mediadores más relevantes que actúa a través de este nervio es el LPS, el cual incluso puede modificar la sensibilidad de las neuronas vagales (O'Loughlin *et al.*, 2017).

Ciertas bacterias comensales del sistema digestivo pueden transformar múltiples nutrientes en neurotransmisores como la serotonina, el GABA, la dopamina y la noradrenalina, los cuales pueden activar posteriormente las terminales vagales (Mayer *et al.*, 2014; Merkouris *et al.*, 2024).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Bacterias con efectos negativos en la ansiedad

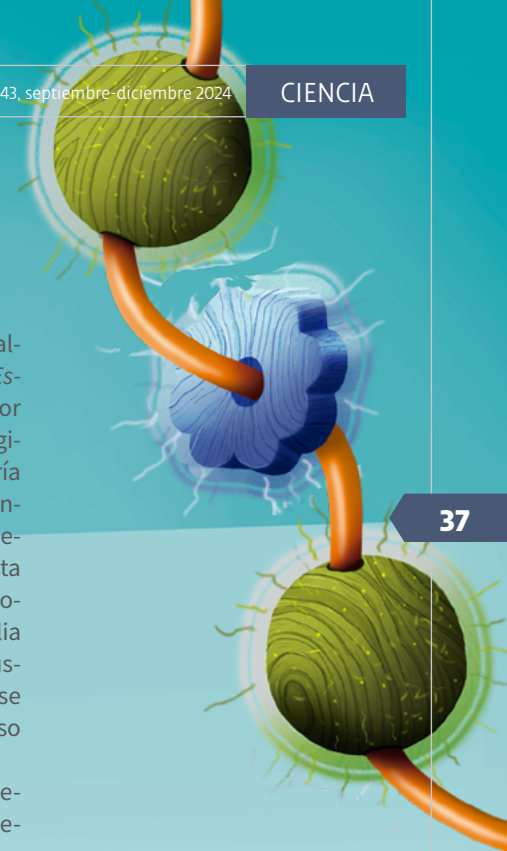
En la última década, se ha evidenciado que algunos microorganismos negativos, como *Escherichia* spp. o *Shigella* spp., tienen una mayor presencia en personas con trastornos psicológicos (Jian *et al.*, 2018). Por lo general, la mayoría de las exotoxinas se encuentra en mayor concentración cuando, además de haber una menor diversidad en la microbiota intestinal, esta se halla dominada por bacterias del filo proteobacteria, en especial por miembros de la familia Gammaproteobacteria (Kriss *et al.*, 2018). Justamente esta familia es la que comúnmente se ve más favorecida como consecuencia del uso de antibióticos de amplio espectro.

A pesar de que las proteobacterias representan en un individuo adulto sano alrededor del 15 % de la MI (Hu *et al.*, 2013), estas poseen aproximadamente el 35 % de los genes y transposones codificantes de resistencia a los distintos tipos de antibióticos que están incluidos en el microbioma (Roca *et al.*, 2018). De forma contraria, el filo bacteroides (que debería ser el predominante en la MI de los adultos sanos), solo acumula el 6 % de los elementos genéticos que codifican mecanismos de resistencia a los antibióticos (Russell *et al.*, 2012; Hu *et al.*, 2013). Precisamente, esta familia es la que suele verse más favorecida como consecuencia del uso de antibióticos de amplio espectro.

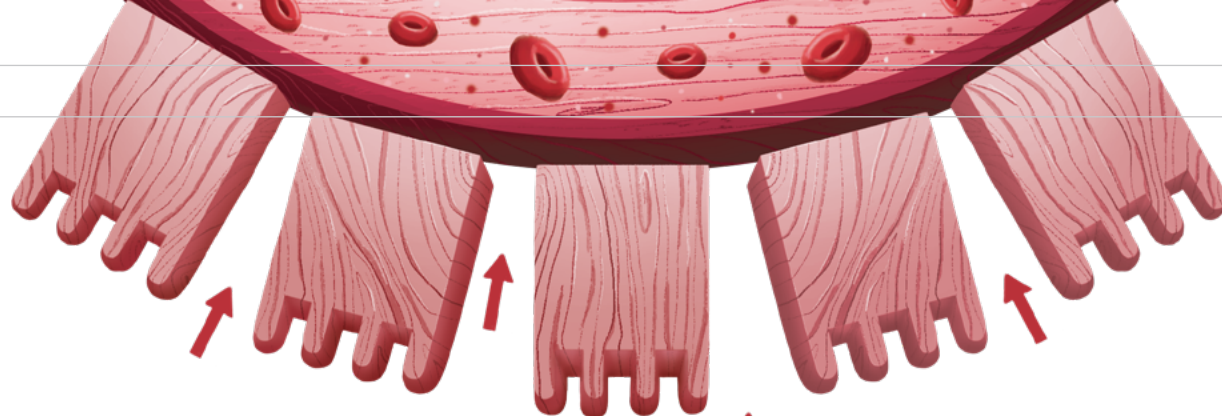
Dentro de los grupos bacterianos más estudiados como agentes disbióticos por su capacidad para alterar la mucosa intestinal, destacan algunas especies del género *Clostridium*, en concreto las especies *difficile*, *histolyticum*, *bolteae* y *tetani* (Ma *et al.*, 2023).

Bacterias con efectos positivos en la ansiedad

Basándonos en los ya mencionados mecanismos de comunicación entre la MI y el SNC, se puede deducir que tendrán un efecto positivo todas aquellas especies que estimulen la síntesis de ácidos grasos de cadena corta (AGCC), esenciales en el mantenimiento de la barrera intestinal. Por otro lado, se ha encontrado una disminución significativa de la abundancia de cinco géneros productores de AGCC (*Faecalibacterium*, *Eubacterium rectale*, *Lachnospira*, *Butyricoccus* y *Sutterella*) en pacientes con trastorno de ansiedad generalizada (Stilling *et al.*, 2016).



LA ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (OMS) ESTIMA QUE APROXIMADAMENTE EL 3.6 % DE LA POBLACIÓN MUNDIAL EXPERIMENTA TRASTORNO DE ANSIEDAD GENERALIZADA EN UN AÑO ESPECÍFICO, MIENTRAS QUE EL 6.6 % PRESENTA ALGÚN TIPO DE TRASTORNO DE ANSIEDAD.



En el SNC, los AGCC tienen un destacado efecto neuroprotector. El ácido butírico, en forma de butirato de sodio, aumenta la expresión del factor neurotrófico derivado del cerebro, mejorando así las actividades relacionadas con la memoria (Kim y de La Serre, 2018; Fort *et al.*, 2023).

Por esta razón, el consumo de probióticos que estimulan la fermentación bacteriana de los alimentos tiene efectos beneficiosos en la salud mental del paciente. En conjunto con los AGCC, existen numerosos neurometabolitos producidos directamente por la MI y generados por la acción estimulante de la MI sobre las células epiteliales secretoras (Bach Knudsen *et al.*, 2018).

Efectos positivos de los probióticos en el tratamiento de la ansiedad

Entre las características más importantes que deben tener los probióticos se encuentran la seguridad, la resistencia a los ácidos y sales biliares, así como la capacidad de colonizar el tracto digestivo. Las bacterias ácido-lácticas (LAB) son los probióticos más estudiados por sus efectos positivos, y entre ellas se incluyen especies de los géneros *Lactobacillus*, *Enterococcus*, *Streptococcus* y *Bifidobacterium* (Belguesmia *et al.*, 2016).

La razón principal por la que las LAB se consideran como probióticos es por su capacidad para adherirse a las paredes intestinales, colonizarlas y generar la liberación de ciertas hormonas que participan en la regulación del apetito, como la colecistoquinina (cck) y el péptido similar al glucagón tipo 1 (GLP-1). Algunos estudios han señalado que las cepas de *Lactobacillus* spp. son las que mejor resisten las condiciones del sistema digestivo, destacándose la especie *L. gasseri* (Belguesmia *et al.*, 2016). De este modo, las cepas probióticas que muestran mayor capacidad de adherencia a las paredes intestinales son *L. casei* y *L. fermentum* (Holder y Chassaing, 2018).

Podemos ver un resumen de los resultados de los estudios específicos del uso de probióticos para el control de la ansiedad en la tabla 1.

Uno de los probióticos que ha demostrado tener efectos ansiolíticos es *L. rhamnosus*, el

cual actúa través de un mecanismo de inhibición de la activación vagal (Bravo *et al.*, 2011; Tae *et al.*, 2024). Asimismo, se han observado efectos reguladores del estrés y la ansiedad, mediante cambios neuroquímicos en animales, tras la suplementación con bacterias probióticas del grupo de las bifidobacterias, como el *Bifidobacterium longum* 1714 y el *Bifidobacterium breve* 1205 (Savignac *et al.*, 2014).

Estudios en animales

La mayoría de las investigaciones publicadas sobre el uso de probióticos en el manejo y control de la ansiedad se han realizado en modelos animales, como ratones, y son escasos los estudios en seres humanos. Esto se debe al principio de prudencia que rige los ensayos clínicos, ya que, por razones éticas, es necesario demostrar primero la ausencia de efectos adversos en modelos animales antes de llevar a cabo pruebas en personas (Belguesmia *et al.*, 2016). No obstante, los mecanismos fisiológicos difieren entre animales y humanos, por lo que los resultados no son siempre extrapolables (Messaoudi *et al.*, 2012).

El uso de un probiótico a base de *Lactobacillus rhamnosus* JB-1 mostró una mejora en las crisis de ansiedad y el comportamiento antisocial en ratones (Dinan *et al.*, 2018). Este probiótico también demostró la capacidad de reducir la secreción de cortisol inducida por el estrés. Sin embargo, se ha observado que la administración de leche fermentada con diferentes probióticos alteró la actividad cerebral de las regiones asociadas con la emoción en voluntarias sanas, lo que sugiere una posible acción potencial psicobiótica (Dinan *et al.*, 2018).

De igual manera, en otro estudio realizado en ratones sometidos a estrés crónico durante cuatro semanas, se observó que la administración de *Lactobacillus plantarum* WLPL04 puede mejorar las conductas ansiosas, revertir el cambio anormal en la microbiota intestinal y modificar los niveles reducidos de 5-HT, BDNF y TrkB inducidos por el estrés crónico. Estos hallazgos proporcionan una base para la aplicación terapéutica de *L. plantarum* en el tratamiento de la ansiedad (Sun *et al.*, 2021).

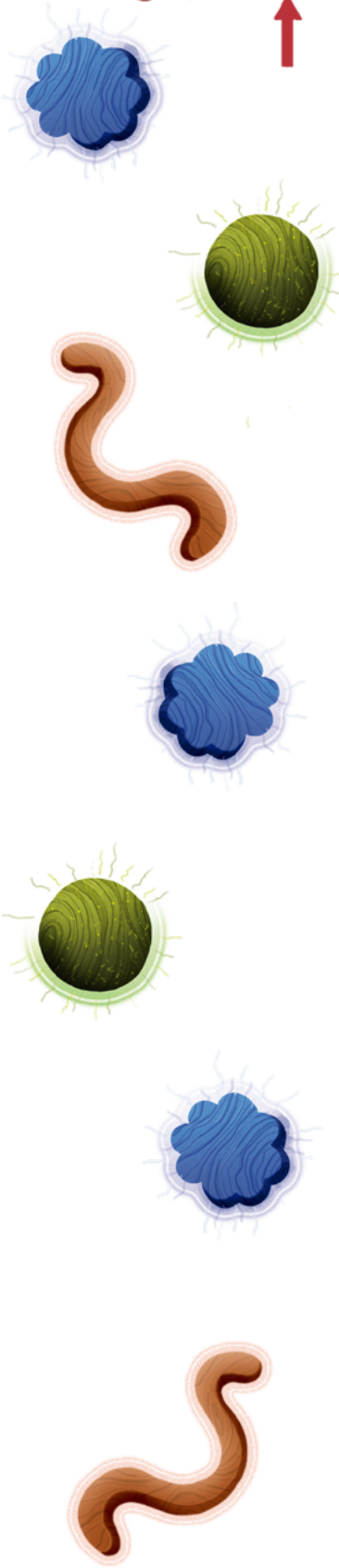


Tabla 1. Resultados de estudios sobre probióticos para tratamiento de ansiedad que registraron efectos positivos.

Autor	Año	Cepa probiótica	Tipo de ensayo	Efecto observado
Dinan <i>et al.</i>	2018	<i>L. rhamnosus</i> JB-1	Ensayo en animales	Mejoría en crisis de ansiedad y comportamiento antisocial, así como reducción de la secreción de cortisol inducida por estrés.
Belguesmia <i>et al.</i>	2016	<i>L. gasseri</i> CMUL34 y <i>L. acidophilus</i> CMUL67	Ensayo experimental <i>in vitro</i>	Capacidad de modular <i>in vitro</i> la expresión de los GLP y de la CCK.
Messaoudi <i>et al.</i>	2012	<i>L. helveticus</i> R0052 y <i>B. longum</i> R0175	Ensayo en animales y experimentación en humanos	Disminución del estrés y la ansiedad en animales de experimentación y adultos hospitalizados, mediante diversas escalas.
Bravo <i>et al.</i>	2011	<i>L. rhamnosus</i>	Ensayo en animales	Efectos ansiolíticos a través de la inhibición del reflejo vagal.
Savignac <i>et al.</i>	2014	<i>B. longum</i> 1714 y <i>B. brevis</i> 1205	Ensayo en animales	Disminución de la ansiedad en ratones con ansiedad inducida mediante la inhibición de vías neuronales específicas.
Mohammadi <i>et al.</i>	2015	Combinación de cepas aisladas de yogur	Ensayo en setenta adultos sanos	Mejoría de los síntomas de ansiedad mediante el eje hipotalámico-hipófisis-adrenal.
Akkasheh <i>et al.</i>	2016	Mezcla de <i>L. acidophilus</i> , <i>L. casei</i> y <i>B. Bifidum</i>	Ensayo en setenta adultos sanos	Mejora de los síntomas de ansiedad, depresión y estado de ánimo en general.
Yang <i>et al.</i>	2016	<i>Cl. butyricum</i>	Ensayo en treinta pacientes recién operados de cáncer	Disminución estadísticamente significativa en los niveles de ansiedad en el grupo tratado con probióticos, comparado con el grupo de control.
Steenbergen <i>et al.</i>	2015	Combinación de probióticos (<i>B. bifidum</i> W23, <i>B. lactis</i> W52, <i>L. acidophilus</i> W37, <i>L. brevis</i> W63, <i>L. casei</i> W56, <i>L. salivarius</i> W24 y <i>L. lactis</i> W19 y W58)	Ensayo en cuarenta personas adultas sanas	Mejoría de los síntomas de ansiedad, depresión y estado de ánimo en general.

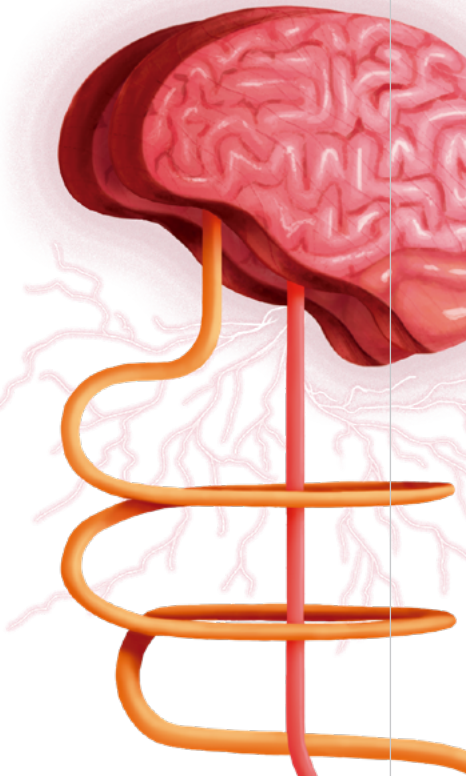
Estudios en humanos

En cuanto a los ensayos clínicos en humanos, algunos estudios han demostrado que la suplementación probiótica mejoró significativamente los síntomas de ansiedad. Por ejemplo, en un ensayo se utilizaron cápsulas que contenían un grupo de agentes bacterianos aislados a partir de yogur, las cuales contribuyeron a reducir la sintomatología ansiosa mediante la modulación del eje hipotalámico-hipófisis-adrenal (Mohammadi *et al.*, 2016).

Otro trabajo reportó mejoras en los niveles de ansiedad y estrés a través de la suplementación de *Lactobacillus helveticus* R0052 y *Bifidobacterium longum* R0175 durante seis semanas (Messaoudi *et al.*, 2012). Asimismo, se ha evidenciado una mejora significativa en pacientes que recibieron, durante cuatro semanas, una combinación de probióticos que contenía *B.*

bifidum W23, *B. lactis* W52, *L. acidophilus* W37, *L. brevis* W63, *L. casei* W56, *L. salivarius* W24 y *L. lactis* (W19 y W58) (Steenbergen *et al.*, 2015). En un ensayo clínico donde participaron cuarenta pacientes con depresión, la administración por ocho semanas de una mezcla probiótica a base de *L. acidophilus*, *L. casei*, y *B. bifidum* mejoró los síntomas relacionados con la depresión, en comparación con los sujetos que actuaron como controles (Akkasheh *et al.*, 2016).

Por otro lado, se evaluó el efecto de dos semanas de suplementación con *Cl. butyricum* en pacientes con ansiedad prequirúrgica. También se observó una disminución estadísticamente significativa en los niveles de ansiedad en comparación con los sujetos que no recibieron suplementación probiótica. Cabe destacar que los pacientes que recibieron placebo no solo mantuvieron intactos sus niveles de ansie-



dad, sino que los incrementaron de manera significativa (Yang *et al.*, 2016).

Un estudio con cincuenta y cinco participantes evaluó durante treinta días el efecto de un probiótico combinado (*Lactobacillus helveticus* R0052 y *Bifidobacterium longum* R0175) frente a placebos, asignados aleatoriamente. Los resultados mostraron que quienes recibieron el probiótico experimentaron una mejoría significativa en los síntomas de ansiedad (Messaudi *et al.*, 2012).

Diversos ensayos con prebióticos y probióticos han evidenciado beneficios para la salud mental en personas con síntomas de depresión y ansiedad, medidos a través de herramientas clínicas y comparados con placebo (Merkouris *et al.*, 2024). Sin embargo, otros estudios advierten que aún no hay consenso sobre la dosis, la cepa ni la duración del tratamiento (Zhao *et al.*, 2023).

Por otro lado, investigaciones tempranas de la década del dos mil no hallaron efectos positivos de los probióticos en la ansiedad, aunque tampoco reportaron daños, lo que sugiere que su administración es segura, pese a que la tecnología de cultivo y las técnicas de análisis de la microbiota intestinal eran entonces menos precisas (Pirbaglou *et al.*, 2016).

Más recientemente, se ha explorado el uso concomitante de probióticos o simbióticos con inhibidores selectivos de la recaptura de serotonina (ISRS). Estos estudios indican una reducción de los síntomas de depresión mayor y de trastorno de ansiedad generalizada, probablemente por el efecto antimicrobiano variable de cada fármaco ISRS (Fort *et al.*, 2023).

Ventajas de la administración de los prebióticos y probióticos a través de presentaciones farmacéuticas

Dado que la dieta es el principal factor modulador de la MI, debido a su capacidad de variar su composición de una manera rápida, existe la tendencia a considerar que la mejor manera de corregir los estados de disbiosis es mediante cambios en la dieta o incluyendo probióticos a través de los alimentos (de La Serre *et al.*, 2015; Tae *et al.*, 2024). Sin embargo, los consumidores pueden mostrarse reticentes a modificar sus hábitos alimentarios cuando se les solicita que dichos cambios sean mantenidos durante periodos prolongados (Miranda *et al.*, 2015). Por ello, en lugar de tratar de modificar totalmente la MI, se pueden conseguir efectos beneficiosos estimulando el crecimiento de especies bacterianas favorables al inocular especies probióticas. Los alimentos más comúnmente utilizados como vehículos para la administración de probióticos son los productos lácteos fermentados y las bebidas a base de frutas (Sanders y Marco, 2010). No obstante, es-

tos productos tienen la desventaja de requerir una refrigeración constante y, debido a su elevada actividad de agua, la supervivencia de los probióticos se limita (Sanders y Marco, 2010).

Para ejercer un efecto beneficioso sobre el organismo, los probióticos se deben administrar en dosis adecuadas, y resulta fundamental conservar su viabilidad hasta el momento de su consumo (Sanders y Marco, 2010). Por ello, una alternativa para su administración son las presentaciones farmacéuticas, donde el agente se mantiene generalmente de forma deshidratada. De este modo, los microorganismos probióticos conservan mejor su viabilidad y por más tiempo que cuando se encuentran en matrices con mayor actividad de agua, como los alimentos (El Enshasy *et al.*, 2016).

Por lo tanto, cada probiótico se debe ingerir en dosis específicas para aprovechar su efecto beneficioso de forma efectiva, lo cual resulta difícil de controlar mediante los alimentos, ya que cada consumidor los ingiere en diferente cantidad (Miranda *et al.*, 2015). Esta efectividad también depende de su supervivencia durante el camino por la parte anterior del sistema digestivo humano (Sanders y Marco, 2010).

La acidez del estómago humano representa un ambiente hostil para la mayoría de los microorganismos probióticos. Por esta razón, si se ingieren mediante alimentos, el pH gástrico, que varía según el volumen de ingesta, puede destruir una gran cantidad (Sanders y Marco, 2010). En cambio, al ser administrados mediante presentaciones farmacéuticas, es posible asegurar una ingesta más eficaz, lo que permite que los probióticos mantengan su actividad.

Algunos agentes probióticos relacionados con el tratamiento de la ansiedad precisan una atmósfera especial, como los *Bifidobacterium* o los *Clostridium*, que son anaerobios estrictos (El Enshasy *et al.*, 2016). Por tal motivo, su administración a través de los alimentos presenta mayores dificultades en comparación con las presentaciones farmacéuticas.

Por otro parte, dado que los tratamientos farmacológicos para la ansiedad deben suspenderse de forma gradual y pautada cuando los síntomas remiten (Jian *et al.*, 2018), resulta útil recomendar al paciente la suplementación probiótica al iniciar el proceso de retirada del medicamento, con el fin de reducir los efectos adversos asociados a la disminución de la dosis.

CONCLUSIONES

En vista de que la MI tiene influencia en la actividad del SNC a través de múltiples mecanismos, se ha demostrado que también tiene efectos sobre la ansiedad. Los cambios de la MI pueden abordarse mediante probióticos administrados en presentaciones farmacéuticas, las cuales tienen ventajas en comparación con la suplementación de alimentos,



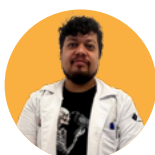
Daniel Armando Villarreal Portillo

Licenciado en Médico Cirujano por la Universidad de las Américas Puebla. Egresó con mención *cum laude*, siendo el mejor promedio de su generación. Galardonado con el premio a la Excelencia Académica por el Instituto Científico Pfizer y la Asociación Mexicana de Facultades y Escuelas de Medicina. Residente de tercer año en la especialidad en Psiquiatría del Hospital Psiquiátrico Dr. Rafael Serrano. daniel.villarrealpo@udlap.mx



Miriam Chavarría Suárez

Médica cirujana por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Residente de tercer año en la especialidad en Psiquiatría del Hospital Psiquiátrico Dr. Rafael Serrano. miriamchavarriasuarez@gmail.com



Edgar Farias Cano

Médico cirujano homeópata por el Instituto Politécnico Nacional. Médico residente de tercer año en la especialidad en Psiquiatría del Hospital Psiquiátrico Dr. Rafael Serrano. drfce_5@hotmail.com



David Gustavo Rodríguez Ramos

Médico cirujano por la Universidad Autónoma de Guadalajara. Médico psiquiatra con alta especialidad en Sexualidad y Género por la Universidad Nacional Autónoma de México. Médico adscrito al Hospital Psiquiátrico Fray Bernardino Álvarez. davidgrramos@gmail.com



Erika Palacios Rosas

Doctora en Farmacología y Fisiología por la Universidad Autónoma de Madrid. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores, nivel I. Además, es personal investigador en el Department of Biomedical Sciences, University of Copenhagen y en el ECCPS, Justus-Liebig Universität Giessen, Alemania. Desde 2013 se desempeña como profesora de tiempo completo en el Departamento de Ciencias de la Salud de la Universidad de las Américas Puebla. erika.palacios@udlap.mx

como un mejor control de las dosis, un menor rechazo por parte del paciente y una menor probabilidad de abandono precoz de los tratamientos.

Adicionalmente, en algunas especies de probióticos como los *Bifidobacterium*, su uso es más sencillo, ya que, al ser anaerobios estrictos, su supervivencia en alimentos es más compleja. Si bien no todos los ensayos presentados han mostrado efectos positivos, en ninguno de ellos se encontró algún efecto negativo, por lo que puede concluirse que su administración es segura. Los probióticos más comunes con efectos sobre la ansiedad pertenecen a los géneros *Lactobacillus* y *Bifidobacterium*, aunque también algunas especies de *Clostridium* demuestran efectos positivos. Existen especies con efectos negativos, como *Escherichia coli*, *Fusobacterium nucleatum* o *Ruminococcus gnavus* que se deben evitar.

REFERENCIAS

- Akkasheh, G., Kashani-Poor, Z., Tajabadi-Ebrahimi, M., Jafari, P., Akbari, H., Taghizadeh, M., Memarzadeh, M. R., Asemi, Z. y Esmailzadeh, A. (2016). Clinical and metabolic response to probiotic administration in patients with major depressive disorder: A randomized, double-blind, placebo-controlled trial. *Nutrition (Burbank, Los Angeles County, Calif.)*, 32(3), 315-320. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2015.09.0031>
- Akyol, A., Ayaz, A., Inan-Eroglu, E., Cetin, C. y Samur, G. (2018). Impact of three different plate colours on short-term satiety and energy intake: a randomized controlled trial. *Nutrition journal*, 17(1), 46. <https://doi.org/10.1186/s12937-018-0350-1>
- Bach Knudsen, K. E., Lærke, H. N., Hedemann, M. S., Nielsen, T. S., Ingerslev, A. K., Gundelund Nielsen, D. S., Theil, P. K., Purup, S., Hald, S., Schioldan, A. G., Marco, M. L., Gregersen, S. y Hermansen, K. (2018). Impact of Diet-Modulated Butyrate Production on Intestinal Barrier Function and Inflammation. *Nutrients*, 10(10), 1499. <https://doi.org/10.3390/nu10101499>
- Belguesmia, Y., Domenger, D., Caron, J., Dhulster, P., Ravallec, R. y Drider, D. (2016). Novel probiotic evidence of lactobacilli on immunomodulation and regulation of satiety hormones release in intestinal cells. *Journal of Functional Foods*, 24, 276-86. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2016.04.014>
- Bibbò S., Fusco S., Ianiro G., Settanni C., Ferrarese D., Grassi C., Cammarota, G. y Gasbarrini, A. (2022) Gut microbiota in anxiety and depression: Pathogenesis and therapeutics. *Front. Gastroenterol.* <https://doi.org/10.3389/fgstr.2022.1019578>
- Bravo, J., Forsythe, P., Chew, M., Escaravage, E., Savignac, H., Dinan, T., Bienenstock, J. y Cryan, J. (2011). Ingestion of Lactobacillus strain regulates emotional behavior and central GABA receptor expression in a mouse via the vagus nerve. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108(38), 16050-16055. <https://doi.org/10.1073/pnas.1102999108>
- Bruce-Keller, A., Salbaum, J., Luo, M., Blanchard, E., Taylor, C., Welsh, D. y Berthoud, H. (2015). Obese-type gut microbiota induce neurobehavioral changes in the absence of obesity. *Biological Psychiatry*, 77(7), 607-615. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2014.07.012>
- Cani, P. y Everard, A. (2016). Talking microbes: When gut bacteria interact with diet and host organs. *Molecular Nutrition & Food Research*, 60(1), 58-66. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201500406>
- Conlon, M. y Bird, A. (2014). The impact of diet and lifestyle on gut microbiota and human health. *Nutrients*, 7(1), 17-44. <https://doi.org/10.3390/nu7010017>
- Cryan, J. y Dinan, T. (2012). Mind-altering microorganisms: the impact of the gut microbiota on brain and behaviour. *Nature Reviews. Neuroscience*, 13(10), 701-712. <https://doi.org/10.1038/nrn3346>
- De Filippo, C., Cavalieri, D., Di Paola, M., Ramazzotti, M., Poullet, J., Massart, S., Collini, S., Pieraccini, G. y Lionetti, P. (2010). Impact of diet in shaping gut microbiota revealed by a comparative study in children from Europe and rural Africa. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107(33), 14691-14696. <https://doi.org/10.1073/pnas.1005963107>
- De La Serre, C., de Lartigue, G. y Raybould, H. (2015). Chronic exposure to low dose bacterial lipopolysaccharide inhibits leptin signaling in vagal afferent neurons. *Physiology & Behavior*, 139, 188-194. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2014.10.032>
- Dinan, T., Cryan, J. y Stanton, C. (2018). Gut Microbes and Brain Development Have Black Box Connectivity. *Biological Psychiatry*, 83(2), 97-99. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2017.11.005>

- Domínguez, J. et. al. (2024). Epidemiología de la ansiedad y su contexto en atención primaria. *Atención Primaria Clásica*, (6) <https://www.elsevier.es/index.php?p%3Drevista%026pRevista%03Dpdf-sim-p%026pii%03DS260507302400004X%026r%03D24>
- Dryman, M. y Heimberg, R. (2018). Emotion regulation in social anxiety and depression: a systematic review of expressive suppression and cognitive reappraisal. *Clinical Psychology Review*, 65, 17-42. <https://doi.org/10.1016/j.cpr.2018.07.004>
- El Enshasy, H., Malik, K., Malek, R., Othman, N., Elsayed, E. y Wadaan, M. (2016). Anaerobic Probiotics: The Key Microbes for Human Health. *Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology*, 156, 397-431. https://doi.org/10.1007/10_2015_5008
- Forth, E., Buehner, B., Storer, A., Sgarbossa, C., Milev, R. y Chinnna Meyyappan, A. (2023). Systematic review of probiotics as an adjuvant treatment for psychiatric disorders. *Front Behav Neurosci*, 17:111349. doi: 10.3389/fnbeh.2023.111349
- Foster, J. y McVey, K. (2013). Gut-brain axis: how the microbiome influences anxiety and depression. *Trends in Neurosciences*, 36(5), 305-312. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2013.01.005>
- García-Mantrana, I., Selma-Royo, M., Alcantara, C. y Collado, M. (2018). Shifts on Gut Microbiota Associated to Mediterranean Diet Adherence and Specific Dietary Intakes on General Adult Population. *Frontiers in Microbiology*, 9, 890. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.00890>
- Guarner, F., Sanders, M. y Szajewska, H. (2023). Prebióticos y probióticos. *Organización Mundial de Gastroenterología*. <https://www.world-gastroenterology.org/UserFiles/file/guidelines/probiotics-and-prebiotics-spanish-2023.pdf>
- Hamilton, M., Boudry, G., Lemay, D. y Raybould, H. (2015). Changes in intestinal barrier function and gut microbiota in high-fat diet-fed rats are dynamic and region dependent. *American Journal of Physiology. Gastrointestinal and Liver Physiology*, 308(10), G840-G851. <https://doi.org/10.1152/ajpgi.00029.2015>
- Heruc, G., Little, T., Kohn, M., Madden, S., Clarke, S., Horowitz, M. y Feinle-Bisset, C. (2018). Appetite Perceptions, Gastrointestinal Symptoms, Ghrelin, Peptide YY and State Anxiety Are Disturbed in Adolescent Females with Anorexia Nervosa and Only Partially Restored with Short-Term Refeeding. *Nutrients*, 11(1), 59. <https://doi.org/10.3390/nu11010059>
- Holder, M. y Chassaing, B. (2018). Impact of food additives on the gut-brain axis. *Physiology & Behavior*, 192, 173-176. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2018.02.025>
- Hu, Y., Yang, X., Qin, J., Lu, N., Cheng, G., Wu, N., Pan, Y., Li, J., Zhu, L., Wang, X., Meng, Z., Zhao, F., Liu, D., Ma, J., Qin, N., Xiang, C., Xiao, Y., Li, L., Yang, H., Wang, J. y Zhu, B. (2013). Metagenome-wide analysis of antibiotic resistance genes in a large cohort of human gut microbiota. *Nature Communications*, 4, 2151. <https://doi.org/10.1038/ncomms3151>
- Jiang, H., Zhang, X., Yu, Z., Zhang, Z., Deng, M., Zhao, J. y Ruan, B. (2018). Altered gut microbiota profile in patients with generalized anxiety disorder. *Journal of Psychiatric Research*, 104, 130-136. <https://doi.org/10.1016/j.jpsychires.2018.07.007>
- Kim, J. y de La Serre, C. (2018). Diet, gut microbiota composition and feeding behavior. *Physiology & Behavior*, 192, 177-181. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2018.03.026>
- Kriss, M., Hazleton, K., Nusbacher, N., Martin, C. y Lozupone, C. (2018). Low diversity gut microbiota dysbiosis: drivers, functional implications and recovery. *Current Opinion in Microbiology*, 44, 34-40. <https://doi.org/10.1016/j.mib.2018.07.003>
- Lew, L., Hor, Y., Yusoff, N., Choi, S., Yusoff, M., Roslan, N., Ahmad, A., Mohammad, J., Abdullah, M., Zakaria, N., Wahid, N., Sun, Z., Kwok, L., Zhang, H. y Liong, M. (2019). Probiotic *Lactobacillus plantarum* P8 alleviated stress and anxiety while enhancing memory and cognition in stressed adults: A randomized, double-blind, placebo-controlled study. *Clinical Nutrition (Edinburgh, Scotland)*, 38(5), 2053-2064. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2018.09.010>
- Liu, R., Walsh, R. y Sheehan, A. (2019). Prebiotics and probiotics for depression and anxiety: A systematic review and meta-analysis of controlled clinical trials. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 102, 13-23. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2019.03.023>
- Ma, Y., Ci, C., Zhou, Y., Zhang, Z., Gu, Q., Yang, X., An, F., An, Y., Lan, Y. y Zhao, J. (2023). Analysis of gut microbiota diversity in healthy young adults in Sunan County, Gansu Province, China. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 13, 1007505. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2023.1007505>
- Macedo, D., Filho, A., Soares de Sousa, C., Quevedo, J., Barichello, T., Júnior, H. y Freitas de Lucena, D. (2017). Antidepressants, antimicrobials or both? Gut microbiota dysbiosis in depression and possible implications of the antimicrobial effects of antidepressant drugs for antidepressant effectiveness. *Journal of Affective Disorders*, 208, 22-32. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2016.09.012>
- Mayer, E., Knight, R., Mazmanian, S., Cryan, J. y Tillisch, K. (2014). Gut microbes and the brain: paradigm shift in neuroscience. *The Journal of Neuroscience: the Official Journal of the Society for Neuroscience*, 34(46), 15490-15496. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.3299-14.2014>
- Merkouris, E., Mavroudi, T., Miliotis, D., Tsiptsios, D., Serdari, A., Christidi, F., Doskas, T. K., Mueller, C. y Tsamakis, K. (2024). Probiotics' Effects in the Treatment of Anxiety and Depression: A Comprehensive Review of 2014-2023 Clinical Trials. *Microorganisms*, 12(2), 411. <https://doi.org/10.3390/microorganisms12020411>
- Messaoudi, S., Madi, A., Prévost, H., Feuilloley, M., Manai, M., Dousset, X. y Connil, N. (2012). In vitro evaluation of the probiotic potential of *Lactobacillus salivarius* SMXD51. *Anaerobe*, 18(6), 584-589. <https://doi.org/10.1016/j.anaerobe.2012.10.004>
- Miranda, J., Anton, X., Redondo-Valbuena, C., Roca-Saavedra, P., Rodríguez, J., Lamas, A., Franco, C. y Cepeda, A. (2015). Egg and egg-derived foods: effects on human health and use as functional foods. *Nutrients*, 7(1), 706-729. <https://doi.org/10.3390/nu7010706>

- Mohammadi, A., Jazayeri, S., Khosravi-Darani, K., Solati, Z., Mohammadpour, N., Asemi, Z., Adab, Z., Djalali, M., Tehrani-Doost, M., Hosseini, M. y Eghtesadi, S. (2016). The effects of probiotics on mental health and hypothalamic-pituitary-adrenal axis: A randomized, double-blind, placebo-controlled trial in petrochemical workers. *Nutritional Neuroscience*, 19(9), 387-395. <https://doi.org/10.1179/1476830515Y.0000000023>
- O'Loughlin, E., Pakan, J., Yilmazer-Hanke, D. y McDermott, K. (2017). Acute in utero exposure to lipopolysaccharide induces inflammation in the pre- and postnatal brain and alters the glial cytoarchitecture in the developing amygdala. *Journal of Neuroinflammation*, 14(1), 212. <https://doi.org/10.1186/s12974-017-0981-8>
- Pirbaglou, M., Katz, J., de Souza, R., Stearns, J., Motamed, M. y Ritvo, P. (2016). Probiotic supplementation can positively affect anxiety and depressive symptoms: a systematic review of randomized controlled trials. *Nutrition Research (New York, N.Y.)*, 36(9), 889-898. <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2016.06.009>
- Roca, S., Méndez, V., Miranda, J. M., Nebot, C., Cardelle, C., Franco, C. y Cepeda, A. (2018). Food additives, contaminants and other minor components: Effects on human gut microbiota- a review. *Journal of Physiology and Biochemistry*, 74(1), 69-83. <https://link.springer.com/article/10.1007/s13105-017-0564-2>
- Russell, S., Gold, M., Hartmann, M., Willing, B., Thorson, L., Wlodarska, M., Gill, N., Blanchet, M., Mohn, W., McNaghy, K. y Finlay, B. (2012). Early life antibiotic-driven changes in microbiota enhance susceptibility to allergic asthma. *EMBO Reports*, 13(5), 440-447. <https://doi.org/10.1038/embor.2012.32>
- Sampson, T., Debelius, J., Thron, T., Janssen, S., Shastri, G., Ilhan, Z., Challis, C., Schretter, C., Rocha, S., Gradinaru, V., Chesselet, M., Kes-havarzian, A., Shannon, K., Krajmalnik-Brown, R., Wittung-Stafshede, P., Knight, R. y Mazmanian, S. (2016). Gut Microbiota Regulate Motor Deficits and Neuroinflammation in a Model of Parkinson's Disease. *Cell*, 167(6), 1469-1480. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2016.11.018>
- Sanders, M. y Marco, M. (2010). Food formats for effective delivery of probiotics. *Annual Review of Food Science and Technology*, 1, 65-85. <https://doi.org/10.1146/annurev.food.080708.100743>
- Savignac, H., Kiely, B., Dinan, T. y Cryan, J. (2014). Bifidobacteria exert strain-specific effects on stress-related behavior and physiology in BALB/c mice. *Neurogastroenterology and Motility*, 26(11), 1615-1627. <https://doi.org/10.1111/nmo.12427>
- Schippa, S. y Conte, M. (2014). Dysbiotic events in gut microbiota: impact on human health. *Nutrients*, 6(12), 5786-5805. <https://doi.org/10.3390/nu6125786>
- Sen, T., Cawthon, C., Ihde, B., Hajnal, A., DiLorenzo, P., de La Serre, C. y Czaja, K. (2017). Diet-driven microbiota dysbiosis is associated with vagal remodeling and obesity. *Physiology & Behavior*, 173, 305-317. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2017.02.027>
- Sherwin, E., Dinan, T. y Cryan, J. (2018). Recent developments in understanding the role of the gut microbiota in brain health and

disease. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1420(1), 5-25. <https://doi.org/10.1111/nyas.13416>

- Steenbergen, L., Sellaro, R., van Hemert, S., Bosch, J. y Colzato, L. (2015). A randomized controlled trial to test the effect of multispecies probiotics on cognitive reactivity to sad mood. *Brain, Behavior, and Immunity*, 48, 258-264. <https://doi.org/10.1016/j.bbi.2015.04.003>
- Stilling, R., van de Wouw, M., Clarke, G., Stanton, C., Dinan, T. y Cryan, J. (2016). The neuropharmacology of butyrate: The bread and butter of the microbiota-gut-brain axis? *Neurochemistry International*, 99, 110-132. <https://doi.org/10.1016/j.neuint.2016.06.011>
- Sun, X., Zhang, H., Ma, C., Wei, H., Li, B. y Luo, J. (2021). Alleviation of Anxiety/Depressive-Like Behaviors and Improvement of Cognitive Functions by Lactobacillus plantarum WLPL04 in Chronically Stressed Mice. *The Canadian Journal of Infectious Diseases y Medical Microbiology/ Canadian Journal Of Infectious Diseases y Medical Microbiology*, 2021, 1-11. <https://doi.org/10.1155/2021/6613903>
- Tae, H. y Kim, T-S. (2024). The effect of prebiotic and probiotic food consumption on anxiety severity: a nationwide study in Korea. *Frontiers in Nutrition* 11. <https://doi.org/10.3389/fnut.2024.1385518>
- Vázquez, M. (2024). Trastorno de ansiedad generalizada: fisiopatología, presentación clínica, diagnóstico y tratamiento. Revisión sistemática. *Revista Electrónica de Portales Medicos.com*. <https://www.revista-portalesmedicos.com/revista-medica/trastorno-de-ansiedad-generalizada-fisiopatologia-presentacion-clinica-diagnostico-y-tratamiento-revision-sistemica>
- Wang, Y. y Kasper, L. (2014). The role of microbiome in central nervous system disorders. *Brain, Behavior, and Immunity*, 38, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.bbi.2013.12.015>
- Westfall, S., Lomis, N., Kahouli, I., Dia, S., Singh, S. y Prakash, S. (2017). Microbiome, probiotics and neurodegenerative diseases: deciphering the gut brain axis. *Cellular and Molecular Life Sciences: CMLS*, 74(20), 3769-3787. <https://doi.org/10.1007/s00018-017-2550-9>
- Yang, H., Zhao, X., Tang, S., Huang, H., Zhao, X., Ning, Z., Fu, X. y Zhang, C. (2016). Probiotics reduce psychological stress in patients before laryngeal cancer surgery. *Asia-Pacific Journal of Clinical Oncology*, 12(1), e92-e96. <https://doi.org/10.1111/ajco.12120>
- Zhao, Z., Gui, X., Jieqiong, X., Honghua, G., Xiaoli, Y., Qian, J., Hu, W., Jiayi, H. y Caihong Z. (2018). Effectiveness of probiotic/prebiotic/synbiotic treatments on anxiety: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Journal of Affective Disorders*. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2023.09.018>
- Zvolensky, M., Jardin, C., Farris, S., Kauffman, B., Bakhshaie, J., Kara, L., Rogers, A. y Mayorga, N. (2018) Gut interpretations: how difficulties in emotion regulation may help explain the relation of visceral sensitivity with depression and anxiety among young adults with gastrointestinal symptoms. *Psychology, Health and Medicine*, 23(7), 840-845. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/13548506.2018.1455984?journalCode=cphm20>

- Review of the regulatory framework for distributed generation and smart grids in Mexico

REVISIÓN DEL MARCO REGULATORIO DE LA generación distribuida Y LAS REDES ELÉCTRICAS INTELIGENTES EN MÉXICO

Por:  Ian Paul Lopez Tort · Pedro Bañuelos Sánchez

Lopez Tort, I. P. y Bañuelos Sánchez, P. (2025). Revisión de marco regulatorio de la generación distribuida y las redes eléctricas inteligentes en México. *Entorno UDLAP*, 24
➡ **Recibido:** 27 de noviembre de 2024 ✓ **Aceptado:** 3 de junio de 2025

RESUMEN

En los últimos años, México ha presentado diversas propuestas para alcanzar sus objetivos de generación de energía limpia; en este sentido, la generación distribuida (GD) es una forma innovadora de producir energía renovable, barata y personal. A pesar del incremento exponencial en los contratos de interconexión, persiste un desconocimiento generalizado sobre las responsabilidades y derechos de los consumidores para participar en esta estrategia. Por tal razón, en este artículo se presenta una revisión del marco regulatorio de la GD y los *smart grids* en México, con el objetivo de ofrecer un compendio de los artículos constitucionales, manuales y disposiciones generales que faciliten su consulta rápida y efectiva. Asimismo, se analizan las políticas actuales y se discuten los desafíos y oportunidades para la adopción de estas tecnologías, destacando la importancia de un marco regulatorio robusto alineado con

estándares internacionales, con el propósito de impulsar la transición hacia un sistema eléctrico más sostenible y moderno.

PALABRAS CLAVE

Generación distribuida · Marco regulatorio
· Redes inteligentes · Legislación energética

ABSTRACT

In recent years, Mexico has introduced various proposals to achieve its clean energy generation goals. In this context, distributed generation (DG) has emerged as an innovative way to produce renewable, affordable, and personalized energy. Despite the exponential increase in interconnection contracts, there remains widespread lack of awareness regarding the responsibilities and rights of consumers to participate in this strategy. For this reason, this article presents a review of the regulatory framework for DG and smart grids in Mexico, aiming to provide a comprehen-



sive summary of constitutional articles, manuals, and general provisions to facilitate quick and effective consultation. Additionally, current policies are analyzed, and the challenges and opportunities for the adoption of these technologies are discussed, emphasizing the importance of a robust regulatory framework aligned with international standards to drive the transition towards a more sustainable and modern electrical system.

KEYWORDS

Distributed generation • Regulatory framework • Smart grid
• Energy legislation

INTRODUCCIÓN

La historia de la generación distribuida (GD) se remonta hasta la Revolución Industrial, cuando la producción de energía se centraba únicamente en proveer de electricidad a la ciudad que lo necesitaba. En este contexto, se priorizaba tener una red eléctrica propia —por lo tanto, pequeña— para evitar el sobrecosto de transmitir energía desde una ciudad alejada, puesto que no se conocían métodos más eficientes para este cometido. Posteriormente, ante el gran crecimiento demográfico dentro de las ciudades, impulsado por la necesidad de mano de obra en las industrias, se optó por cambiar a un sistema de generación centralizada, mediante el cual la energía se distribuía a las zonas urbanas que lo requerían. Esto trajo consigo una mejora en la infraestructura de caminos y líneas eléctricas de transmisión (Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía, 2014).

Durante la década de los noventa, como resultado de la expansión del neoliberalismo, los países desarrollados comenzaron a implementar diversas reformas orientadas a descentralizar la producción estatal y abrirla al mercado global. Estas medidas buscaban fomentar la competencia, la innovación y la inversión en varios sectores clave, entre ellos, la generación de energía. Esto permitió mejorar en gran medida el desempeño del mercado energético, puesto que se redujeron los monopolios y

el costo por kilowatt generado (Gallegos y Rodríguez, 2015).

En los últimos años, distintos factores energéticos, como la demanda y la sustentabilidad, plantearon nuevas alternativas para tener un suministro amigable con el medio ambiente y confiable para su escalabilidad dentro de las necesidades futuras de orden energético. En este contexto, surge la generación distribuida, la cual consiste en generar energía eléctrica lo más cerca posible del lugar de consumo, lo que reduce de manera considerable los costos y pérdidas de electricidad. A ello se suma la posibilidad de comprar o vender energía, según sea necesario.

El Environmental and Energy Study Institute (2024) define la generación distribuida —también llamada generación *in situ* o generación descentralizada— como la generación de electricidad para utilizarse en un sitio específico, en vez de transmitirla a través de una red eléctrica desde una gran central de producción. Este concepto ofrece diversos beneficios que lo convierten en una opción muy atractiva para los particulares. Dado que el desarrollo económico sobrepasa la expansión del suministro energético en distintas zonas, estas pueden abastecer de energía a aquellas de menor tamaño, lo que incrementa la eficiencia en la transmisión. Además, los costos en infraestructura y mantenimiento son bajos y resultan rentables a largo plazo.

Las razones por las cuales la generación distribuida se ha popularizado en los últimos años se agrupa en tres grandes categorías. La primera está relacionada con las ventajas económicas, siendo las más representativas el bajo costo de inversión de un sistema de GD para uso particular o comunitario, considerando el costo de instalación y el tiempo de implementación. La segunda categoría abarca diversos beneficios operacionales que hacen de los sistemas de GD una opción altamente confiable, ya que pueden funcionar como fuente principal de suministro o como respaldo en situaciones de emergencia. La tercera se vincula con el impacto ambiental de la GD, especialmente en los sistemas que operan con fuentes de energía renovable, significativamente menor en comparación de las grandes plantas generadoras de energía tra-

dicionales. A esto se suma la reducción de las pérdidas asociadas con la transmisión de energía (Lai y Chan, 2007).

La generación distribuida, como nos indican Liu *et al.* (2012), ha sido ampliamente instalada en varias redes mundiales debido al desarrollo acelerado de tecnologías en ese campo. Un ejemplo de esto es la emergente combinación de la GD con fuentes de energía renovable. La última innovación y desarrollo de la tecnología *smart grid* provee la base tecnológica para integrar una gran cantidad de GD a las redes eléctricas. Por este motivo, la generación distribuida renovable es impulsada firmemente para aplicarse en países desarrollados y con grandes emisores de carbono, mediante la implementación de nuevas políticas energéticas y de reducción de carbono.

METODOLOGÍA

Legislación y marco regulatorio

Para abordar el tema de la generación distribuida, es fundamental conocer las leyes que regulan este tipo de producción eléctrica. Las más importantes son la Ley de la Industria Eléctrica (LIE), Ley de Transición Energética (LTE), el *Manual de interconexión para centrales de generación con Capacidad menor a 0.5 MW* (megavatio) y las disposiciones administrativas para la GD.

Al referirnos al contexto mexicano y su marco legal constitucional, el 11 de agosto de 2014 se publicaron en el *Diario Oficial de la Federación* (DOF) varias reformas a la Ley de la Industria Eléctrica (LIE), incluyendo la relativa a la generación distribuida. El artículo 3º, fracción XXIII, define a la generación distribuida como:

Generación de energía eléctrica que cumple con las siguientes características:

- Es producida por un generador exento en los términos de esta ley.
- Se genera en una central eléctrica que se encuentra interconectada a un circuito de distribución que contenga una alta concentración de centros de carga, en los términos de las reglas del mercado (Ley de la Industria Eléctrica, 2014).

En la actualidad, uno de los conceptos que suelen vincularse con la GD son las redes eléctricas inteligentes (*smart grid*). Estas redes optimizan la eficiencia de la generación energética y

LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA TIENE COMO BASE TRES CATEGORÍAS:

LA PRIMERA, RELACIONADA CON LAS VENTAJAS ECONÓMICAS (BAJO COSTO DE INVERSIÓN).

LA SEGUNDA, CON LOS BENEFICIOS OPERACIONALES, YA QUE FUNCIONAN COMO FUENTE PRINCIPAL DE SUMINISTRO ENERGÉTICO.

LA TERCERA, VINCULADA CON EL IMPACTO AMBIENTAL, ESPECIALMENTE EN SISTEMAS QUE OPERAN CON FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE.



LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN MÉXICO PODRÍA SER UNA ALTERNATIVA EFECTIVA PARA DISMINUIR EL CONSUMO ENERGÉTICO EN LOS SECTORES RESIDENCIALES, COMERCIALES E INDUSTRIALES, CREANDO UNA RED INTERCONECTADA MIXTA, MENOS VULNERABLE A PROBLEMAS CON LA DISTRIBUCIÓN Y TRANSMISIÓN, Y APROVECHANDO LOS BENEFICIOS QUE ESTE MODELO PRESENTA.

aportan un plus en materia de seguridad, eficacia y adaptabilidad a los sistemas conectados a estas redes. La LIE también define este concepto para México en la fracción xxxiv del artículo 3°:

Red Eléctrica que integra tecnologías avanzadas de medición, monitoreo, comunicación y operación, entre otros, a fin de mejorar la eficiencia, confiabilidad, calidad o seguridad del Sistema Eléctrico Nacional. (Ley de la Industria Eléctrica, 2014)

De igual manera, en el capítulo 7, artículo 68° de la misma ley, se describen las generalidades para la existencia de la GD. En dicho apartado también se enuncia la facultad de la Comisión Reguladora de Energía (CRE) para elaborar las bases normativas que autorizan la expedición de la regulación necesaria en materia de eficiencia, calidad, confiabilidad, continuidad y seguridad de la GD (Ley de la Industria Eléctrica, 2014).

Aunado a esto, dentro de la Ley de Transición Energética, publicada en el DOF el 24 de diciembre de 2015, se propone a la Secretaría de Hacienda y Crédito Público para proveer de mecanismos de apoyo, estímulos fiscales o financieros, con la finalidad de impulsar la inversión en medida técnica y económicamente viable hacia la integración de sistemas de generación distribuida cuando estos impliquen economías para el Estado, ahorros en el pago por electricidad de usuarios que tengan generadores exentos o reducciones de la huella de carbono en el sector de energía. Lo anterior con el objetivo de alcanzar las metas de energías limpias estipu-

ladas en esta ley, con el propósito de regular el aprovechamiento sustentable de la energía, así como las obligaciones en materia de energías limpias y de reducción de emisiones contaminantes de la industria eléctrica (2015).

De igual manera, el 15 de noviembre de 2016 se emitió el acuerdo donde se presenta el *Manual de interconexión de centrales de generación con capacidad menor a 0.5 MW*. Dicho documento tiene el objetivo de establecer los lineamientos generales en materia administrativa y de infraestructura que deberán cumplir los distribuidores, generadores exentos y generadores que representen centrales eléctricas con capacidad menor a 0.5 MW para realizar la interconexión de sus centrales eléctricas a las redes generales de distribución (2016).

Para instalar, vender y comprar energía a través de sistemas de GD, la RES/142/2017 emitida en el DOF presenta las disposiciones administrativas de carácter general en materia de generación distribuida. De acuerdo con este documento, los generadores exentos podrán vender los excedentes o el total de su energía eléctrica a través de un suministrador de servicios básicos, siendo indicada una metodología de contraprestación y especificaciones técnicas. Es así como se presentan dos tipos de contratos: el de interconexión y el de contraprestación (Comisión Reguladora de Energía, 2017).

El primero (interconexión) tiene como objetivo establecer los derechos y obligaciones que tendrán el solicitante y el distribuidor al llevar

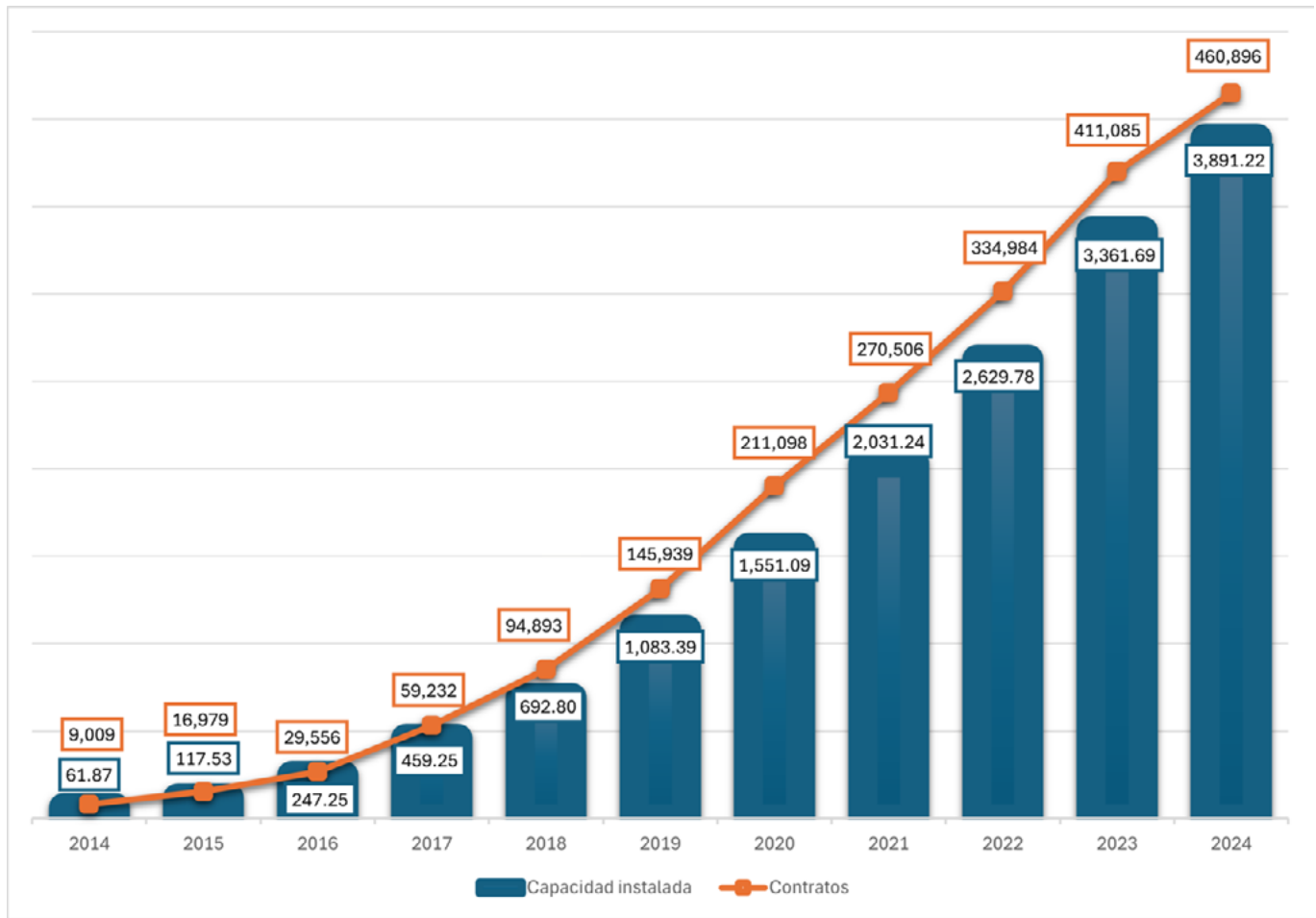


Figura 1. Solicitudes de interconexión de centrales eléctricas con capacidad menor a 0.5 MW, evolución acumulada.

Nota. Datos extraídos de *Estadísticas de generación distribuida, primer semestre 2024*, Comisión Reguladora de Energía (2024).

https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/934907/Estad_sticas_GD_2024_Primer_Semestre.pdf

a cabo la interconexión de cualquier central eléctrica con capacidad menor a 0.5 MW. Este contrato debe ser acompañado por las especificaciones técnicas requeridas. El segundo (contraprestación) se lleva a cabo entre el suministrador de servicios básicos y el generador exento, en relación con la contraprestación asociada a la interconexión de la central eléctrica con capacidad menor a 0.5 MW, por la energía eléctrica generada y entregada a las redes generales de distribución (Secretaría Reguladora de Energía, 2017).

El 6 de noviembre de 2024, la presidenta de México, Claudia Sheinbaum Pardo, presentó su Plan Nacional de Energía, donde subraya que para la generación privada se contempla un aumento de 3,150 MW para 2030, aunado a inversiones de entre seis y nueve millones de dólares. Para cumplir con esta meta, se plantea elevar la capacidad de la generación distribui-

da de 0.5 a 0.7 MW, teniendo como autoconsumo sin venta de excedentes hasta 20 MW, lo que supera por mucho los 0.7 MW que estipulaba la ley desde 2017 (Instituto Mexicano para la Competitividad, 2024). En este sentido, hay un gran mercado emergente para la generación distribuida, esperando un crecimiento exponencial debido a la publicación de este plan.

El reciente acuerdo A/108/2024, publicado en el DOF el 10 de septiembre de 2024, tiene puntos muy importantes en materia de vehículos eléctricos, así como en GD. En las principales disposiciones establecidas se encuentra un marco regulatorio para electromovilidad, aunado a uno para las electrolineras y estaciones de carga. En dicho marco, se establece la integración de la infraestructura de carga de vehículos eléctricos e híbridos conectables al Sistema Eléctrico Nacional (SEN), donde se podrán instalar centrales eléctricas de generación limpia

distribuida como fuente de energía. Es así como México se compromete a tener una red eléctrica inteligente haciendo uso de la infraestructura de carga de vehículos eléctricos y vehículos eléctricos híbridos conectables al SEN (Comisión Reguladora de Energía, 2024).

◆ RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estadísticas de la GD

Con el propósito de destacar la importancia del desarrollo de la GD en México, en la figura 1 se presentan distintas estadísticas que nos dan una idea de cómo se encuentra el estado de la generación distribuida en el país. Aquí se pueden observar las solicitudes de interconexión, el crecimiento de los contratos y la capacidad total instalada en MW de 2014 a 2024.

Con base en lo anterior, se observa que la capacidad instalada de GD para el primer semestre de 2024 fue de 3,361.69 MW. Si bien este valor es inferior al de otros mercados, se percibe una tendencia creciente en el uso de este tipo de energía. Según el Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional 2024-2038, elaborado por la Secretaría de Energía (2024), se estima que en un escenario de planeación base, la capacidad instalada podría alcanzar los 13,071 MW para 2038. No obstante, también se contempla un escenario ampliado, en el cual la capacidad ascendería a 18,913 MW en ese mismo año.

Con lo expuesto, se puede inferir que la generación distribuida en México podría ser una alternativa efectiva para disminuir el consumo energético en los sectores residenciales, comerciales e industriales, a través de una

red interconectada mixta, menos vulnerable a problemas con la distribución y transmisión, que aproveche los beneficios que este modelo presenta. Asimismo, la inclusión de un *smart grid* en estos nuevos sistemas interconectados permitiría mejorar su fiabilidad y brindar un mayor control en el flujo energético, optimizando la toma de decisiones en el ámbito energético-administrativo.

En comparación con otros países, como Alemania o Estados Unidos, donde la GD ha alcanzado niveles significativos de adopción, México aún tiene un largo camino por recorrer. No obstante, las proyecciones anticipan un crecimiento exponencial en los próximos años, lo que podría posicionar al país como un líder en la región en términos de generación distribuida y redes inteligentes, gracias a su elevado potencial fotovoltaico.

◆ CONCLUSIÓN

La generación distribuida está consolidándose como una solución clave en la transición hacia un sistema energético más sostenible y eficiente. A lo largo de la historia, hemos observado cómo la evolución de los modelos de generación eléctrica ha respondido a las necesidades cambiantes de la sociedad, específicamente en el debate de la centralización de la generación energética impulsada por factores económicos, tecnológicos y ambientales.

En el contexto actual, la GD no solo ofrece beneficios económicos significativos (como la reducción de costos de instalación y operación), sino que también mejora la resiliencia del siste-

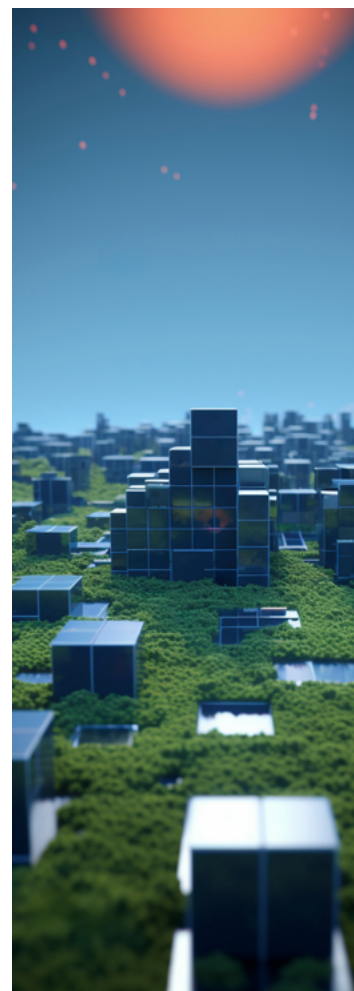


EN LOS ÚLTIMOS AÑOS, DISTINTOS FACTORES ENERGÉTICOS, COMO LA DEMANDA Y LA SUSTENTABILIDAD, PLANTEARON NUEVAS ALTERNATIVAS PARA TENER UN SUMINISTRO AMIGABLE CON EL MEDIO AMBIENTE Y CONFIABLE PARA SU ESCALABILIDAD DENTRO DE LAS NECESIDADES FUTURAS DE ORDEN ENERGÉTICO.

ma eléctrico al proporcionar fuentes de energía locales y confiables. Además, su integración con tecnologías de energía renovable contribuye a mitigar el cambio climático al disminuir las emisiones de carbono asociadas con la generación energética tradicional.

La legislación y el marco regulatorio en México han progresado para facilitar la adopción de la GD. Estas políticas no solo promueven la participación de los consumidores en el mercado energético, sino que también establecen estándares técnicos que garantizan la seguridad y confiabilidad del sistema eléctrico. Sin embargo, para maximizar su potencial es necesario fortalecer el marco regulatorio actual, simplificar los trámites de interconexión y promover incentivos fiscales que atraigan a más consumidores.

A medida que avanzamos hacia un futuro energético más sostenible, es crucial impulsar políticas que fomenten la inversión en generación distribuida y energías renovables. Esto no solo beneficiará a los consumidores individuales, sino que también contribuirá a un sistema eléctrico más sólido y menos dependiente de fuentes fósiles. La GD representa una oportunidad para construir comunidades energéticamente autosuficientes y resilientes, alineadas con los objetivos globales de sostenibilidad y reducción de emisiones. Con políticas públicas adecuadas y una mayor inversión en infraestructura, México podría posicionarse como un líder regional en la transición hacia un sistema energético más limpio y eficiente.



LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA HA SIDO AMPLIAMENTE INSTALADA EN VARIAS REDES MUNDIALES DEBIDO AL DESARROLLO ACELERADO DE TECNOLOGÍAS EN ESE CAMPO. UN EJEMPLO DE ESTO ES LA EMERGENTE COMBINACIÓN DE LA GD CON FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE.

REFERENCIAS

- Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía. (2014, 6 de junio). ¿Qué es la generación distribuida? <https://www.gob.mx/conuee/acciones-y-programas/que-es-la-generacion-distribuida-estados-y-municipios>
- Comisión Reguladora de Energía. (2017, 7 de marzo). Disposiciones administrativas de carácter general, los modelos de contrato, la metodología de cálculo de contraprestación y las especificaciones técnicas generales, aplicables a las centrales eléctricas de generación distribuida y generación limpia distribuida. *Diario Oficial de la Federación*. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5474790&fecha=07/03/2017#gsc.tab=0
- Comisión Reguladora de Energía. (2024, 10 de septiembre). Disposiciones administrativas de carácter general en materia de electromovilidad para la integración de infraestructura de carga de vehículos eléctricos y vehículos eléctricos híbridos conectables al Sistema Eléctrico Nacional como parte de una Red Eléctrica Inteligente. *Diario Oficial de la Federación*. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5474790&fecha=07/03/2017#gsc.tab=0
- Environmental and Energy Study Institute. (2024). Distributed Generation. <https://www.eesi.org/topics/distributed-generation/description>
- Gallegos, R. y Rodríguez, S. (2015, 6 de abril). *Hacia la transformación del mercado eléctrico mexicano: Generación distribuida*. https://imco.org.mx/wp-content/uploads/2019/11/2015_Generacion%0C3%B3nDistribuida_DocumentoCompleto.pdf
- Instituto Mexicano para la Competitividad. (2024, 6 de noviembre). Plan Nacional de Energía: implicaciones para la competitividad. <https://imco.org.mx/plan-nacional-de-energia-implicaciones-para-la-competitividad/>
- Lai, L. L. y Chan, T. F. (2007). *Distributed generation: Induction and Permanent Magnet Generators*. Wiley-IEEE Press.
- Ley de la Industria Eléctrica. (2014, 1 de agosto). *Diario Oficial de la Federación* (8). https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5355986&fecha=11/08/2014#gsc.tab=0
- Ley de Transición Energética. (2015, 24 de diciembre). *Diario Oficial de la Federación* (20). https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5421295&fecha=24/12/2015#gsc.tab=0
- Liu, J., Zhang, W., Zhou, R. y Zhong, J. (2012). Impacts of distributed renewable energy generations on smart grid operation and dispatch. *2012 IEEE Power and Energy Society General Meeting*, 1-5. <https://doi.org/10.1109/PESGM.2012.6344997>
- Secretaría de Energía. (2016, 15 de diciembre). *Manual de Interconexión de Centrales de Generación con Capacidad menor a 0.5 MW*. *Diario Oficial de la Federación* (11). https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5465576&fecha=15/12/2016#gsc.tab=0
- Secretaría de Energía. (2024). *Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional 2024-2038*. <https://base.energia.gob.mx/PRO-DESEN2024/prodesen24-38cap3.PDF>



Ian Paul Lopez Tort

Estudiante de Ingeniería en Energía en la UDLAP. Ha desarrollado proyectos de impacto social, como un tablero de ajedrez para personas con discapacidad visual y un desalinizador portátil, recibiendo

reconocimientos nacionales por su liderazgo. Su investigación en energías limpias incluye un análisis costo-beneficio del reactor API000 para México, publicado en el Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). Combina innovación técnica con soluciones energéticas sostenibles y viables para el país. ian.lopezt@udlap.mx



Pedro Bañuelos Sánchez

Doctor en Ingeniería Eléctrica por la Université Pierre et Marie Curie en Francia, y profesor de tiempo completo desde 2002 en la Universidad de las Américas

Puebla. Su investigación se centra en la corrección del factor de potencia, calidad de energía eléctrica y energías renovables. Ha publicado más de 65 artículos y ha obtenido dos patentes. Es miembro del Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). Además, ha escrito dos libros sobre convertidores de potencia y energías renovables. pedro.banuelos@udlap.mx

► Legal challenges on the digital era:
development of AI and data protection

DESAFÍOS NORMATIVOS EN LA ERA DIGITAL: DESARROLLO DE IA Y PROTECCIÓN DE DATOS

Por:  Juan Manuel Rivera Vélez

Rivera Vélez, J. M. (2025). Desafíos normativos en la era digital: desarrollo de IA y protección de datos. *Entorno UDLAP*, 24
↩ **Recibido:** 10 de septiembre de 2024 ✓ **Aceptado:** 18 de julio de 2025

◆ RESUMEN

Este estudio se centra en la relación entre la protección de datos personales y el desarrollo de la inteligencia artificial (IA), dentro del marco jurídico mexicano e internacional. Se analiza cómo las regulaciones actuales pueden ser aplicadas a la IA para priorizar la protección de los derechos individuales, sin obstaculizar el avance tecnológico y social que la IA representa. El análisis proporciona una evaluación de la aplicación actual de las normativas en el campo de la IA y emite recomendaciones para futuras leyes especializadas.

Este equilibrio es crucial para garantizar que la tecnología avance de manera ética y responsable, respetando al mismo tiempo los derechos fundamentales de las personas. Las conclusiones obtenidas mediante este análisis son de gran importancia: no solo proporcionan una evaluación de la aplicación actual de las normativas, sino que ofrecen una visión prospectiva. De esta manera, se espera que este estudio sirva como un recurso para los legisladores, los desarrolladores de IA y todas las

partes interesadas en este campo en constante evolución.

◆ PALABRAS CLAVE

Privacidad · Regulación · Seguridad · Ética · Desarrollo tecnológico · Inteligencia artificial · Derechos humanos · GDPR · Datos personales

◆ ABSTRACT

This study focuses on the relationship between personal data protection and the development of artificial intelligence (AI), within the framework of both Mexican and international law. It analyzes how current regulations can be applied to AI in order to prioritize the protection of individual rights without hindering the technological and social progress that AI represents. The analysis provides an assessment of the current implementation of legal frameworks in the AI field and offers recommendations for future specific legislation.

Striking this balance is crucial to ensure that technological advancement proceeds in





an ethical and responsible manner while upholding the fundamental rights of individuals. The findings from this analysis are highly significant: they not only provide an evaluation of the current application of regulations, but also offer a forward-looking perspective. In this way, the study aims to serve as a resource for lawmakers, AI developers, and all stakeholders involved in this ever-evolving field.

◆ KEYWORDS

**Privacy • Regulation • Security • Ethics
• Technological development • Artificial
intelligence • Human rights • GDPR
• Personal data**

◆ INTRODUCCIÓN

Durante la última década, la inteligencia artificial ha irrumpido en el escenario mundial, y ha transformado radicalmente nuestra percepción sobre lo que somos capaces de crear como humanidad. El hito de haber innovado mediante una tecnología capaz de replicar la creación más impresionante de la naturaleza (el cerebro humano) es prueba irrefutable de la evolución tecnológica del ser humano. Hace poco menos de un siglo esta tecnología parecía inalcanzable; propia de cuentos y pesadillas reflejadas en diversas expresiones literarias, plásticas y multimedia. Hoy, es una realidad palpable en nuestra sociedad. Debido a este avance tecnológico que parece desafiar leyes preexistentes como la Ley de Moore, es inevitable cuestionarse si aún existe la posibilidad de construir un marco jurídico eficiente para regular la IA en el corto plazo, o si este desafío resulta demasiado complejo para abordarlo en tan poco tiempo. Por lo tanto, tras la publicación de una ley especializada en materia de IA realizada por la Unión Europea (UE) y los esfuerzos recientes planteados por el Poder Legislativo mexicano, este análisis tendrá como objetivo estudiar el marco jurídico existente y su desempeño en la protección de derechos ante la revolución tecnológica actual. Asimismo, concluir sobre qué deben contener las próximas actualizaciones del marco jurídico, de manera que estén completamente preparadas para afrontar estos desafíos.

Dado que el concepto de marco jurídico se refiere a todo el conjunto de leyes que rigen la

sociedad y engloba prácticamente todos los aspectos de esta, resulta complicado enfocar este trabajo en el desafío de adaptar todo el marco jurídico al avance de la IA. Lo que sí resulta viable como parte del objetivo de este trabajo es realizar un análisis centrado en un aspecto del marco jurídico: el derecho a la autodeterminación informativa de la persona en el contexto de su utilización por la IA. El propósito es establecer soluciones y recomendaciones tangibles que garanticen el cumplimiento de estos derechos por parte de los desarrolladores, sin perder de vista la importancia del desarrollo y la competitividad a través del análisis de la regulación existente. El primer paso en este proceso debe ser la definición del sujeto principal del estudio.

Es imposible comprender el concepto del derecho a la autodeterminación informativa de la persona —estrechamente vinculado con el régimen de la protección de datos personales— sin haber definido previamente el derecho a la privacidad. Este derecho se encuentra reconocido en múltiples tratados internacionales vinculantes para la legislación mexicana y debe comprenderse como el derecho personal para controlar todo lo relacionado con la propia información personal (Estrada, s. f.), lo cual incluye toda la información vinculada con una persona física, así como la capacidad de decidir quiénes pueden acceder a dicho conocimiento, incluidos el Gobierno y las empresas. Esta información corresponde a los datos personales, términos que, en esencia, son intercambiables. El concepto de datos personales se divide en dos categorías: datos personales sensibles y no sensibles. La diferencia radica en que el primer tipo corresponde a toda la información personal cuyo uso indebido pueda ocasionar cualquier tipo de discriminación o daño directo hacia el titular, mientras que el segundo tipo corresponde a toda la información de una persona que no puede ser calificada como sensible y pueda ser utilizada para su distinción (Sollange, 2018).

Este derecho se encuentra regulado y protegido dentro del marco jurídico mexicano interno, mediante la constitución en su artículo 16°, párrafo segundo, el cual contiene los famosos



derechos de acceso, rectificación, cancelación y oposición (ARCO), sus leyes reglamentarias correspondientes, la Ley General de Protección de Datos Personales en Posesión de Sujetos obligados (LGPDPPDSO) y la Ley Federal de Protección de Datos Personales en Posesión de Particulares (LFPDPPP). La importancia de la protección a este derecho radica en evitar que esta información sea tratada tanto por sujetos obligados como por los particulares sin autorización y de manera arbitraria, sin dejar de lado la importancia de transmitirla para el provecho de los particulares, tomando en cuenta el beneficio económico y el progreso tecnológico que los datos personales representan en la sociedad de *big data* (Solange, 2018). Las ventajas que la información personal otorga en el ámbito económico y tecnológico se pueden observar de manera directa con el desarrollo y aplicación de la IA. La inteligencia artificial, como todo sistema dinámico, se basa en gran medida en el acceso a grandes cantidades de datos personales para entrenar algoritmos y mejorar su capacidad de análisis y predicción (Visual Storytelling Team y Murgia, 2023), lo que produce de manera directa un beneficio económico y, al mismo tiempo, contribuye al desarrollo tecnológico, aspecto que se analizará posteriormente.

Regresando a la importancia de permitir el tratamiento de los datos personales en el marco de estas arquitecturas, es imperativo mencionar que debe realizarse siempre de manera leal por parte de los responsables y encargados, en beneficio de los distintos particulares. Además, debe hacerse con fines legales y de manera clara; es decir, la información no debe ser utilizada con propósitos distintos a aquellos para los que la persona otorgó su consentimiento inicialmente. Una vez realizado el tratamiento, los responsables y encargados —e incluso algunos terceros en contextos donde hay servicios de nube, por ejemplo—, ahora quedan obligados a proteger los datos mediante medidas de seguridad razonables y adecuadas, a fin de evitar cualquier acceso no autorizado por parte del titular.

En la teoría y en la práctica, es común encontrar abusos de lenguaje asociados con el uso excesivo y, en muchas ocasiones, inapropiado de términos como «uso», «empleo»,

«transmisiones», entre otros, con los cuales se busca crear o eximir el cumplimiento de ciertas obligaciones, principalmente en contextos de tratamientos automatizados que involucran diversas tecnologías, entre las que se encuentra la IA. Por definición legal, el tratamiento de datos se debe entender como cualquier tipo de operación realizada por los particulares en su posesión que genere su uso práctico, aprovechamiento, almacenamiento, transferencia o divulgación (Domínguez, 2004). En palabras más sencillas, el tratamiento de datos implica cualquier actividad que se realice con la información, desde su recopilación inicial hasta su eventual utilización o transmisión para diferentes fines, ya sean comerciales, administrativos o de otra índole.

El último paso antes de avanzar hacia la exposición del marco teórico es definir adecuadamente el concepto de la IA. Esta tecnología puede entenderse de diferentes formas debido a que se manifiesta en múltiples presentaciones y cumple con distintos propósitos: desde la capacidad de entender y ser capaces de generar textos complejos, hasta la creación de obras de arte en constante transformación, cuyo cambio ocurre cada segundo durante un periodo indefinido. En esencia, la IA tiene aplicaciones infinitas (McCarthy, 2007).

Primordialmente, la IA busca emular el pensamiento humano y la capacidad de aprendizaje para automatizar procesos y mejorar la eficiencia en diversas áreas e industrias. Los sistemas de IA pueden aprender, reconocer patrones, tomar decisiones, resolver problemas y adaptarse a nuevas situaciones, todo ello con poca o nula intervención humana directa. El desarrollo de la IA es un proceso iterativo y multifacético que comienza con la recopilación de datos relevantes. Estos registros son la base fundamental para el entrenamiento de los algoritmos de IA. Posteriormente, se selecciona y entrena el modelo de IA más adecuado para la tarea específica que se desea realizar, ajustando sus parámetros y optimizando su rendimiento mediante el uso de los datos recopilados (Boucher, 2020).

Una vez entrenado el modelo, se evalúa y valida su rendimiento, recurriendo a grupos de datos de prueba separados que pueden incluir



PRIMORDIALMENTE, LA IA BUSCA EMULAR EL PENSAMIENTO HUMANO Y LA CAPACIDAD DE APRENDIZAJE PARA AUTOMATIZAR PROCESOS Y MEJORAR LA EFICIENCIA EN DIVERSAS ÁREAS E INDUSTRIAS. LOS SISTEMAS DE IA PUEDEN APRENDER, RECONOCER PATRONES, TOMAR DECISIONES, RESOLVER PROBLEMAS Y ADAPTARSE A NUEVAS SITUACIONES, TODO ELLO CON POCA O NULA INTERVENCIÓN HUMANA DIRECTA.

registros sintéticos. Esto asegura que el modelo pueda generalizar bien los datos nuevos y no vistos. Finalmente, una vez validado, el modelo se despliega en un entorno de producción donde puede realizar la tarea necesaria en tiempo real. Un monitoreo continuo garantiza la eficacia del modelo y permite realizar ajustes y actualizaciones según sea necesario. Este proceso riguroso es fundamental para el desarrollo exitoso de la IA y su implementación en diversos campos y aplicaciones.

En las siguientes secciones, se expondrá el marco teórico relevante para abordar el desarrollo de la inteligencia artificial en concordancia con el marco jurídico establecido. Este enfoque teórico servirá como base de la discusión para saber cómo diseñar y aplicar sistemas de IA de manera ética y legalmente conforme.

METODOLOGÍA

Principios legales relacionados con la protección de datos personales

Para que el tratamiento de datos personales sea legítimo en cualquier operación, es necesario atender los principios que rigen su recolección y uso. Estos principios están establecidos en las regulaciones correspondientes, particularmente en el artículo 5 de nuestra LFPDPPP, el cual establece lo siguiente: «el responsable deberá observar los principios de licitud, finalidad, lealtad, consentimiento, calidad, proporcionalidad, información y responsabilidad en el tratamiento de datos personales». Estos principios, que pueden representar obstáculos para el desarrollo de la inteligencia artificial, constituyen al mismo tiempo garantías del derecho a la autodeterminación informativa de las personas. Se conforman de la manera que a continuación se describe.

Inicialmente, es fundamental considerar el consentimiento, ya que representa uno de los aspectos más importantes cuando una institución o persona desea recolectar datos personales. En la doctrina jurídica, el consentimiento es definido como el acuerdo de voluntades respecto un objeto en común (Martínez, 1991); en este caso, una persona física acuerda con otra —ya sea física o moral— el traspaso de su información personal para un uso específico.

Existen diversas formas de entender el consentimiento; sin embargo, en materia de protección de datos personales, estas transmisiones siempre deben realizarse mediante un consentimiento expreso. Es decir, debe ser otorgado de manera clara y explícita, sin ambigüedades ni coerción por parte del responsable del trata-

miento de los datos. Este principio se conecta directamente con otro: la licitud. Esta exige que el objeto de la transacción —es decir, el propósito para el cual se realizará el tratamiento de la información— sea conforme a la ley y no vulnere ninguna regulación en cualquier materia. Siguiendo con la lista, el principio de finalidad establece que deben estar explícitamente estipulados todos los posibles usos que se le dará a la información personal. Con lo anterior referido, es acertado decir que todos los usos que estén fuera del acuerdo serán completamente inválidos, debido a que la persona que accedió solo brindó su consentimiento a los fines estipulados en la transferencia, generalmente en presencia de un aviso de privacidad.

Sobre el punto antes referido, el principio de información se sitúa entre los otros dos previamente señalados, ya que implica que, en el proceso de la transferencia de datos, la persona que los proporciona debe ser informada de manera completa por la otra parte sobre qué datos serán utilizados, incluyendo los datos de contacto del responsable. Por su parte, el principio de lealtad se vincula con el de información en tanto que toda comunicación del responsable hacia el titular de los datos, en relación con la transferencia, debe realizarse de manera honesta y transparente.

Por otro lado, el principio de proporcionalidad establece que el responsable únicamente debe utilizar la información estrictamente necesaria para cumplir con el propósito de la transferencia. En resumen, este principio protege toda aquella información personal que no esté directamente relacionada con la finalidad aceptada por el titular. Asimismo, este principio establece las obligaciones del responsable respecto al tratamiento de los datos, entre los que destacan: implementar medidas de seguridad adecuadas para proteger los datos contra accesos no autorizados; garantizar su precisión y actualización, y respetar los derechos de los titulares. Cabe mencionar que, una vez concluido el uso práctico de los datos personales, tratándose de su almacenamiento, estos deben ser eliminados. Es decir, el procesamiento de este tipo de información no puede mantenerse de forma indefinida. En su defecto, se deberán aplicar técnicas de anonimización (Marques y Bernardino, 2020), como los mecanismos de privacidad diferencial propuestos por instituciones como el National Institute of Standards and Technology (NIST)¹.

1 Para conocer más sobre esta técnica, véase:

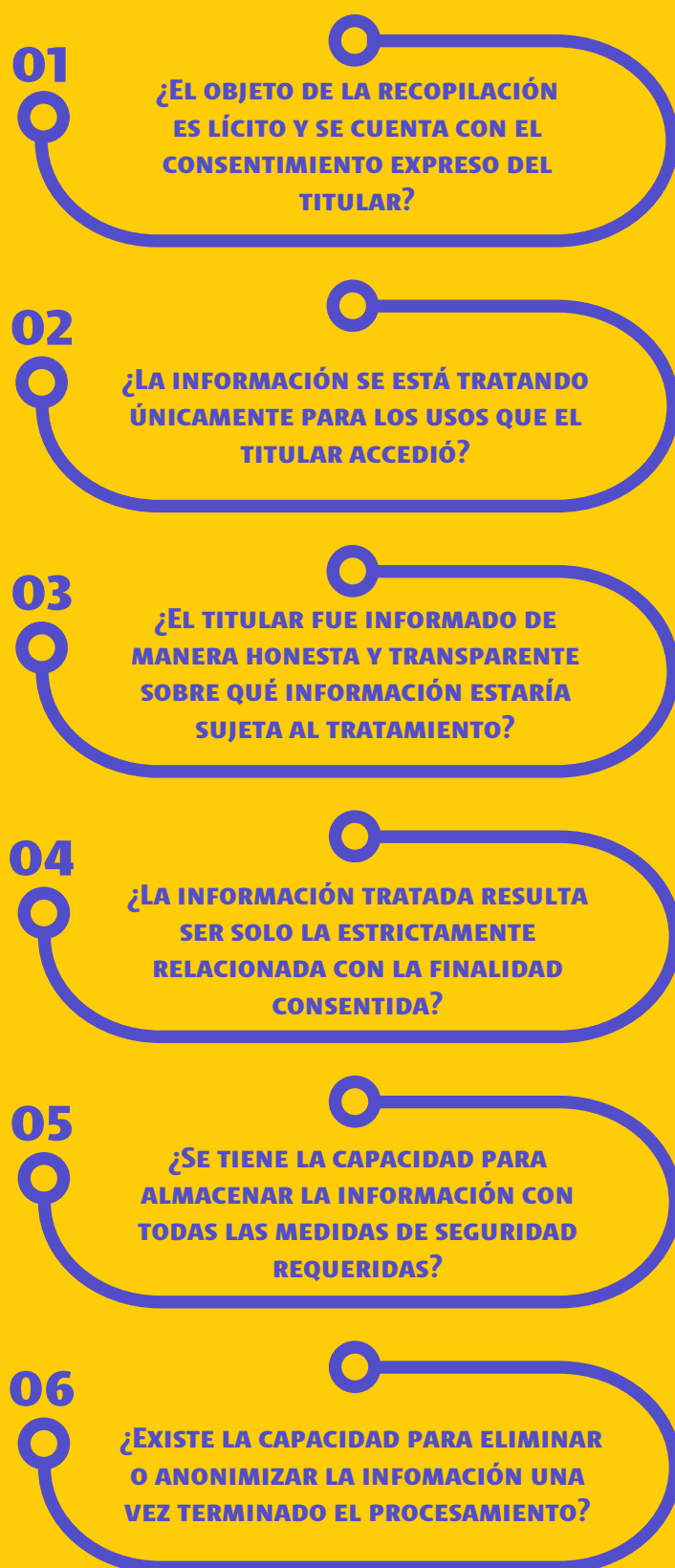


Figura 1. Pasos para implementar información que contenga datos personales.
Fuente: elaboración propia.

Con el objetivo de ilustrar la aplicación práctica de estos principios en el tratamiento de datos personales, se presenta la figura 1, la cual muestra un sistema de seis pasos a considerar para la implementación de información que incluya datos personales.

En el primer paso se encuentran los principios de legalidad y consentimiento. Antes de que cualquier persona interesada pueda establecer un objetivo para el tratamiento de datos personales, debe asegurarse de que dicho propósito sea lícito y cumpla con todas las disposiciones legales pertinentes. Una vez confirmada la licitud del objetivo, se procederá al tratamiento de la información, siempre y cuando exista un consentimiento expreso por parte del titular de los datos.

Si el primer paso ha sido respondido afirmativamente, es posible continuar con la prueba. En el segundo paso, se observa el principio de finalidad, el cual exige que el interesado revise con precisión los fines para los cuales el titular ha dado su consentimiento para el tratamiento de su información. En esta etapa, el interesado debe confirmar que el titular ha aceptado expresamente el tipo de tratamiento que se pretende realizar.

En caso de que el paso anterior se haya completado satisfactoriamente, el tercer paso incorpora los principios de información y lealtad. En esta fase el interesado debe entregar información clara y completa sobre el uso de sus datos: cuáles estarán sujetos a la transferencia y cómo se utilizarán, y proporcionar los datos de contacto del interesado en caso de que el titular requiera comunicarse. Toda esta información debe ser otorgada con total transparencia y honestidad.

Una vez que se hayan cumplido las disposiciones de este paso, la siguiente etapa implica la limitación de uso de la información recopilada. Esta fase se basa en el principio de proporcionalidad, el cual garantiza la protección de toda aquella información que no sea relevante para el propósito del tratamiento. Durante este punto, el interesado debe asegurarse de que la información recopilada se utilice únicamente para los fines correspondientes, mediante el consentimiento del titular.

Por último, el quinto y sexto paso contienen el principio de responsabilidad. El primero de los dos implica que el interesado debe contar con los medios necesarios para proteger de ma-

nera adecuada la información durante el transcurso de su tratamiento. El siguiente cubre la obligación de desechar adecuadamente los datos personales, que el interesado está sujeto a realizar una vez que termine con su objetivo.

De acuerdo con esta prueba, cualquier interesado puede garantizar el cumplimiento de los principios básicos en materia de protección de datos personales, que a la par permite una gestión más responsable y ética de la información privada. Este proceso no solo fortalece la confianza entre los individuos y las entidades que administran sus datos, sino que también contribuye al respeto de los derechos fundamentales de privacidad y seguridad de la información. En última instancia, esta iniciativa promueve un entorno digital más seguro y transparente para todos los involucrados.

◆ RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Protección de datos personales en el contexto de la IA

Una vez discutidos los principios que rigen el tratamiento de datos personales, es menester explicar la existencia de un marco teórico aplicado a su desarrollo que respeta estos preceptos. Es fundamental entender que la IA necesita acceder a cantidades masivas de información para especializarse en un área específica. Este acceso inicial para la fase de entrenamiento

se puede presentar de múltiples formas, dependiendo del objetivo de los desarrolladores (Mendoza, 2021). Durante este proceso, la protección a los datos personales tiene un primer contacto con la IA, ya que la cantidad masiva de información puede contener datos personales o inclusive el entrenamiento del modelo puede llegar a estar basado completamente en información de carácter personal.

Durante la adquisición inicial de datos personales, la problemática de legitimar su adquisición puede reducirse, en apariencia, a una transferencia de datos ordinaria sin hacer distinción alguna respecto a la naturaleza de la tecnología involucrada. Esta perspectiva se basa en el hecho de que, en el momento de recopilar los datos para el entrenamiento, aún no existe una inteligencia artificial implicada como tal. Por lo tanto, no habría una variable adicional que considerar en la correcta aplicación de las regulaciones existentes (Castellanos, 2020).

El mayor reto para los desarrolladores —quienes, en esta etapa, resultan responsables del tratamiento de la información personal—, reside en el cumplimiento del principio de finalidad. En caso de que los datos hayan sido obtenidos sin que el titular otorgara un consentimiento explícito para su uso en el desarrollo de una IA, dichos datos no deberían ser tratados, ya que ello implicaría una violación a dicho principio (Sistema Na-

Tabla 1. Principios legales relacionados con la protección de datos personales.

Principio	Descripción
1. Consentimiento	Definido como el acuerdo de voluntades respecto a un objeto en común; en este caso, una persona física acuerda con otra —ya sea física o moral— el traspaso de su información personal para un uso específico.
2. Licitud	Este principio exige que el objeto de la transacción —es decir, el propósito para el cual se realizará el tratamiento de la información— sea conforme a la ley y no vulnere ninguna regulación en cualquier materia.
3. Finalidad	Establece que deben estar explícitamente estipulados todos los posibles usos que se le dará a la información personal.
4. Información	Implica que, en el proceso de la transferencia de datos, la persona que los proporciona debe ser informada de manera completa por la otra parte sobre qué datos serán utilizados, incluyendo los datos de contacto del responsable.
5. Lealtad	Se vincula con el de información, en tanto que toda comunicación del responsable hacia el titular de los datos, en relación con la transferencia, debe realizarse de manera honesta y transparente.
6. Proporcionalidad	Establece que el responsable únicamente debe utilizar la información estrictamente necesaria para cumplir con el propósito de la transferencia.

Fuente: elaboración propia.



CUALQUIER INTERESADO PUEDE GARANTIZAR EL CUMPLIMIENTO DE LOS PRINCIPIOS BÁSICOS EN MATERIA DE PROTECCIÓN DE DATOS PERSONALES, QUE A LA PAR PERMITE UNA GESTIÓN MÁS RESPONSABLE Y ÉTICA DE LA INFORMACIÓN PRIVADA. ESTE PROCESO NO SOLO FORTALECE LA CONFIANZA ENTRE LOS INDIVIDUOS Y LAS ENTIDADES QUE ADMINISTRAN SUS DATOS, SINO QUE TAMBIÉN CONTRIBUYE AL RESPETO DE LOS DERECHOS FUNDAMENTALES DE PRIVACIDAD Y SEGURIDAD DE LA INFORMACIÓN.

cional de Transparencia, Acceso a la Información Pública y Protección de Datos Personales, s. f.).

Ante esta situación, los desarrolladores han acudido a figuras jurídicas contempladas en la legislación europea que permiten el tratamiento de datos personales sin que dicho uso respete directamente el principio de finalidad. Dado que, al momento de preparar esta contribución, la legislación mexicana aplicable no ofrece una definición igualmente clara y completa, para este análisis se utilizará como referencia el Reglamento General de Protección de Datos (o GDPR, por sus siglas en inglés) correspondiente al marco legal de la Unión Europea (General Data Protection Regulation, 2024).

Retomando los argumentos que podrían ser utilizados en favor de los desarrolladores en este uso «injusto», la legislación europea contiene la posibilidad de justificarlo en el contenido de sus artículos 6° y 89°. La fracción 6.4 establece la figura de reutilización de datos, la cual se permite siempre y cuando el nuevo tratamiento esté alineado con el consentimiento inicial del titular. Para ello, deben considerarse factores como la relación entre el responsable y el titular, así como la sensibilidad de la información. Esta condicionalidad puede observarse claramente en el siguiente ejemplo práctico: en el supuesto de que se desarrolle una IA similar al modelo de ChatGPT, con información personal proveniente de múltiples fuentes, justificar dicho tratamiento bajo la figura de reutilización se vuelve extremadamente complejo e incluso inviable, debido a la diversidad de fuentes y a la inexistente relación con los titulares de la información. En cambio, si una institución privada desarrolla un modelo basado en IA para agilizar sus operaciones a partir de datos personales de sus propios trabajadores, la posibilidad de

invocar esta figura es mucho más viable. Esto se debe, entre otros factores, a las excepciones previstas en el artículo 9, fracción IV, de nuestra LFPDPPP, a la relación directa entre los trabajadores y el desarrollador, y a que el nuevo propósito —el desarrollo de una IA— puede alinearse más fácilmente con el tratamiento inicial, bajo la justificación de un beneficio laboral.

Las disposiciones contenidas en el artículo 89° también contemplan la posibilidad de aplicar la figura de reutilización; sin embargo, en este caso la legislación se enfoca en el interés público, un aspecto llamativo para el desarrollo de IA. Esta sección permite justificar el tratamiento de datos personales considerado «injusto» cuando existe un interés público, ya sea por motivos de investigación científica o por fines relacionados con archivos históricos.

No obstante, la aplicación de esta disposición en el desarrollo de IA resulta limitada, ya que el artículo solo contempla esos dos supuestos. Además, la definición que se ofrece para considerar una actividad como investigación científica no se ajusta del todo al desarrollo de IA. En el recital 159° de la misma legislación, se restringe el concepto de investigación científica en el ámbito tecnológico únicamente a aquellas investigaciones que representen un avance tecnológico fundamental. Esta característica resulta difícil de argumentar en el caso del tratamiento de datos personales para el desarrollo de IA, ya que la utilización ilegítima de dichos datos no califica como investigación en sentido estricto. Incluso si lo hiciera, su implementación no contribuiría directamente al avance tecnológico, dado que entrenar una IA mediante métodos ordinarios y preestablecidos no implica innovación. Este criterio resulta especialmente interesante si se contrasta con el marco legal de

Estados Unidos, donde se emplea para justificar la figura del «uso transformativo», desarrollada a partir del caso *Campbell vs. Acuff-Rose Music*. Actualmente, este concepto se utiliza para defender el uso «libre» de contenidos, incluidos los datos personales verificables, en el contexto de los derechos conexos ejercibles por intérpretes y ejecutantes.

Dado que las dos posibles alternativas contenidas en el GDPR para justificar el tratamiento de datos personales con fines no consentidos por el titular no terminan de adecuarse del todo al contexto del desarrollo de IA, la mejor opción para legitimar el uso de dicha información sigue siendo el consentimiento expreso del titular.

Si bien obtener este consentimiento puede resultar más tedioso para los desarrolladores de esta tecnología, es la única manera de asegurarse de que el tratamiento de los datos se realiza sin violar el derecho a la privacidad de las personas. Cabe señalar que este paso adicional, aunque no favorezca directamente a los desarrolladores, representa una protección fundamental para los titulares de la información y justifica, en gran medida, cualquier posible retraso en el avance tecnológico con tal de salvaguardar las garantías individuales.

Como se determinó previamente, la IA no solo requiere de un flujo de información durante su entrenamiento, sino que, en su etapa de despliegue y operación, continúa recolectando datos mientras cumple con sus funciones. Esta información adicional es utilizada para aprender de forma autónoma. Sin embargo, al igual que los bloques de datos empleados en su entrenamiento, la información recolectada de manera «propia» también puede incluir datos personales.

Una solución aparentemente sencilla a esta problemática sería condicionar el uso de la IA a la aceptación de un acuerdo de privacidad,

como sucede en la mayoría de los casos. Este acuerdo debería ajustarse a los principios del tratamiento de datos personales y permitir, bajo ciertas condiciones, la transferencia de información con fines de mejora del modelo. No obstante, el debate se complejiza cuando se consideran modelos de IA que operan sin que medie una intención explícita de ser utilizados y que, en ese proceso, recaban datos personales. Tal es el caso de sistemas diseñados para monitorear el desempeño laboral o tecnologías de vigilancia potenciadas por IA.

Cualquier modelo que, por su diseño, impida obtener un consentimiento previo y directo para la recolección y tratamiento de datos personales representa una transgresión al marco jurídico y teórico desarrollado en este análisis. Esta situación se agrava si se toma en cuenta lo dispuesto en el artículo 22 del Reglamento General de Protección de Datos (GDPR), que establece: «todo interesado tendrá derecho a no ser objeto de una decisión basada únicamente en el tratamiento automatizado, incluida la elaboración de perfiles, que produzca efectos jurídicos en él o le afecte significativamente de modo similar». Para enfrentar este desafío, se contemplan dos escenarios: uno en el que existe una relación directa y posibilidad de comunicación entre el responsable y el titular de los datos, y otro en el que dichas condiciones no se cumplen.

Comenzando con el primer supuesto, la importancia de que exista una relación y comunicación entre ambas partes radica en que el responsable tiene la posibilidad de obtener directamente el consentimiento expreso del titular. De esta manera, la transferencia de datos





resultaría legítima. Respecto a este primer supuesto, existe una forma de evadir, en cierta medida, dicho requerimiento, siempre que se trate de la recolección de información personal en un contexto de relación laboral. El artículo 6.1, inciso b del GDPR, otorga la posibilidad de realizar un tratamiento de datos, siempre y cuando estos sean necesarios para el cumplimiento de un contrato al cual el titular esté sujeto. Este supuesto se puede utilizar de manera directa en la implementación de modelos de IA para cualquier forma de optimización en un contexto laboral. Es decir, si cualquier empresa incluye una cláusula que establezca la necesidad de compartir datos personales —en tanto estén relacionados con actividades laborales de manera que se evite la violación al principio de proporcionalidad—, la implementación de cualquier modelo cuya operación constante recabe datos personales resultaría legítima. Aunado a esto, la definición brindada por el recital 155° de la misma regulación permite que los acuerdos laborales establezcan reglas específicas para el tratamiento de datos personales.

Es importante aclarar que esta posible alternativa para la recolección de datos personales por parte de una IA en un entorno laboral no exime, en ningún caso, del cumplimiento de los principios y disposiciones establecidos en la normativa vigente.

En cuanto al segundo escenario —en el que no existe relación ni forma de comunicación entre las partes—, salvo que el tratamiento se encuentre expresamente contemplado en alguna excepción legal, cualquier procesamiento de datos personales sin el consentimiento del titular constituye una violación a la legislación vigente. En los casos en los que no sea posible obtener dicho consentimiento de

manera factible y no exista un contexto de relación laboral, el tratamiento de los datos se considera ilegítimo e ilegal, sin que exista justificación válida alguna.

CONCLUSIÓN

Proteger el derecho a la autodeterminación informativa de la persona no debe considerarse como un obstáculo para el desarrollo de la IA. El debate sobre si debe prevalecer la protección y el consentimiento de los titulares respecto al tratamiento de datos personales por la IA, o si la justificación del desarrollo tecnológico y el beneficio social que proporcionan los avances de los modelos basados en esta tecnología se sobrepone a las disposiciones básicas de este derecho, resulta innecesario. Ambas posturas no son contradictorias entre sí: el derecho a la privacidad no interfiere con el desarrollo de la IA, y esta última no necesita violar las regulaciones para poder implementarse.

Este análisis siguió un enfoque basado en la aplicación de los principios que rigen la protección de datos personales y sus respectivas regulaciones en la Unión Europea y en México, con el objetivo de contextualizar los conceptos relacionados dentro del ámbito de la inteligencia artificial (IA). El resultado confirmó que el marco jurídico vigente, tanto a nivel nacional como internacional, cuenta con la capacidad de regular las interacciones básicas entre la IA y la protección de la privacidad.

No obstante, es necesario un mayor refinamiento de las normas existentes y, en el caso mexicano, no resulta indispensable la creación de un nuevo cuerpo legislativo. Las transferencias de información personal y la recolección ilegítima de datos no deben abordarse de manera distinta por el solo hecho de involucrar tecnología novedosa. En materia de protección de datos personales, los lineamientos que regu-

lan la transferencia de información del titular hacia el responsable ya se encuentran claramente definidos.

Es importante destacar que estas medidas de protección no representan un obstáculo para el desarrollo de la inteligencia artificial; por el contrario, constituyen una garantía para el ejercicio de un derecho humano. Respetar el consentimiento del titular y cumplir con los principios establecidos al momento de tratar los datos personales en el desarrollo de un modelo de IA no impide su avance, ya que no limita la posibilidad de recolectar datos de forma legítima.

En este sentido, puede concluirse que la legislación vigente en materia de protección de datos personales es plenamente capaz de enfrentar los desafíos que plantea la era de la inteligencia artificial a nivel global. Dicho esto, la IA tiene únicamente dos caminos al manejar información personal: hacerlo de forma legítima o incurrir en un tratamiento ilegítimo, lo cual implica una violación a la ley. No existe excepción ni debe existir.

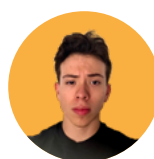
En consecuencia, es razonable afirmar que no es necesaria una legislación especializada en IA para regular la protección de datos personales, su recolección y tratamiento en el contexto de esta tecnología. No obstante, una ley específica podría aportar beneficios concretos, especialmente si incorpora regulaciones más detalladas sobre los estándares de transparencia que los modelos de IA deben cumplir.

A manera de reflexión final, el derecho a la privacidad no debe ejercerse de forma pasiva, en espera de que los particulares respeten y hagan buen uso de nuestra información solo porque existen leyes que así lo ordenan. Por el contrario, es un derecho que debe ejercerse de manera activa por parte de los titulares, otorgando un consentimiento informado y consciente para el tratamiento de sus datos personales. El primer paso para garantizar este derecho es protegerlo nosotros mismos.



REFERENCIAS

- Angulo-Molina, A., Méndez-Rojas, M. A., Palacios, T. J., Contreras, O. E., Hirata, G., Flores, J. C., Merino, S., Valenzuela, O., Hernández, J. y Reyes, J. (2014). Magnetite nanoparticles functionalized with a-tocopheryl succinate (a-TOS) promote selective cervical cancer cell death. *Journal of Nanoparticle Research*, 16(8), 2528.
- Barrio, M. (2021). Towards legal regulation of artificial intelligence. *Revista IUS*, 15(48), pp. 35-53. <https://doi.org/10.35487/rius.v15i48.2021.661>
- Boucher, P. (2020). *Artificial intelligence: How does it work, why does it matter, and what can we do about it?* European Parliamentary Research Service. [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2020/641547/EPRS_STU\(2020\)641547_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2020/641547/EPRS_STU(2020)641547_EN.pdf)
- Castellanos, J. (2020). La gestión de la información en el paradigma algorítmico: inteligencia artificial y protección de datos. *Métodos de Información*, 11(21), pp. 42-58.
- Domínguez, A. G. (2004). *Tratamiento de datos personales y derechos fundamentales*. Librería-Editorial Dykinson.
- Estrada, J. C. (s. f.). *El derecho a la intimidad y su necesaria inclusión como garantía individual*. <https://www.ordenjuridico.gob.mx/Congreso/pdf/86.pdf>
- General Data Protection Regulation. (2024, 22 de abril). *General Data Protection Regulation (GDPR)*. <https://gdpr-info.eu/>
- Marques, J. F. y Bernardino, J. (2020). Analysis of data anonymization techniques. En *KEOD*, pp. 235-241.
- Martínez, J. (1991). *Teoría de las obligaciones* (2.ª ed.). Porrúa.
- McCarthy, J. (2007). *What is artificial intelligence?* Stanford University. <https://www-formal.stanford.edu/jmc/whatisai.pdf>
- Mendoza, O. A. (2021). El derecho de protección de datos personales en los sistemas de inteligencia artificial. *Revista IUS*, 15(48), pp. 179-207. <https://doi.org/10.35487/rius.v15i48.2021.743>
- Sistema Nacional de Transparencia, Acceso a la Información Pública y Protección de Datos Personales (s. f.). Marco normativo. <https://proyectos.inai.org.mx/pronadatos/index.php/inicio/informacion/marconormativo>
- Solange, M. (Ed.). (2018). *Ley General de Protección de Datos Personales en Posesión de Sujetos Obligados, comentada*. Instituto Nacional de Transparencia, Acceso a la Información y Protección de Datos Personales. <https://idaip.org.mx/bibliotecadigital/product/ley-general-de-proteccion-de-datos-personales-en-posesion-de-sujetos-obligados-comentada/>
- Visual Storytelling Team y Murgia, M. (2023, 11 de septiembre). Generative AI exists because of the transformer. *Financial Times*. <https://ig.ft.com/generative-ai/>



Juan Manuel Rivera Vélez

Estudiante de la Licenciatura en Derecho en la Universidad de las Américas Puebla y miembro del Programa de Honores en dicha

institución educativa.

juan.riveravz@udlap.mx



expo UDLAP

18 DE OCTUBRE

8:00 h

Únete a la
excelencia
académica

REGÍSTRATE:



Maestrías UDLAP®

PRESENCIAL O EN LÍNEA

¡TÚ DECIDES!

 CONOCE MÁS:

www.udlap.mx/maestrias/



UDLAP®

CONMEMORA CON ORGULLO

♦ **85 AÑOS** ♦

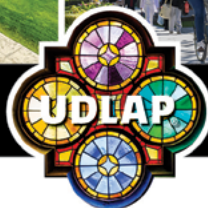
DE COMPROMISO CON LA EDUCACIÓN
Y LA EXCELENCIA ACADÉMICA

♦ **55 AÑOS** ♦

DEL CAMPUS EN SAN ANDRÉS
CHOLULA, PUEBLA



85 AÑOS DE EXCELENCIA



55 AÑOS EN PUEBLA

www.udlap.mx



Ex hacienda Sta Catarina Mártir s/n. San Andrés Cholula, Puebla. C. P. 72810. México
☎ 222 229 21 12 • 📠 222 160 66 19 • ✉ informes.nuevoingreso@udlap.mx