UASLP

UNIVERSITARIOS POTOSINOS

Revista de Difusión Científica

Una mirada al **caos** y a la **computación analógica de sistemas bio-inspirados**

Protagonista de la ciencia **OSCAR JAVIER REVIRA MONTIEL**

Uso y fabricación de **biofertilizantes** en la **Huasteca Potosina**

Sistema **CRISPR** y su aplicación en medicina regenerativa

Editorial

Queridos lectores de Universitarios Potosinos, en esta primera edición del año 2025 encontrarán un interesante artículo de la autoría del doctor Luis Javier Ontañón, quien a través de "Una mirada al caos y a la computación analógica de sistemas bio-inspirados", nos detalla el entrelazado entre el caos, la biología y la electrónica, cobrando vida y generando una interacción interdisciplinaria, que desafía paradigmas, revela misterios del mundo natural y abre la puerta a nuevos desarrollos tecnológicos.

Mientras que, desde la Facultad de Estudios Profesionales Zona Huasteca, nos detallan la importancia del "Uso y fabricación de biofertilizantes en la Huasteca Potosina. En donde el doctor Luis J. Castillo Pérez y un grupo de expertos, dan cuenta de la importancia de cambiar los fertilizantes sintéticos por el uso de los biofertilizantes, con la finalidad de disminuir los efectos perjudiciales para los cultivos y poder obtener un aumento en la disponibilidad de los nutrientes para los cultivos.

Esperamos seguir contando con su preferencia, deseando lo mejor para ustedes y sus familias.

Revista de divulgación científica. *Universitarios Potosinos* es una publicación mensual fundada en 1993, editada por la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, a través de la Dirección de Comunicación e Imagen, su objetivo es divulgar y difundir el conocimiento generado por la investigación científica y tecnológica de la UASLP y de otras instituciones nacionales y extranjeras, e informar sobre los avances y descubrimientos en las diversas áreas del conocimiento.

Reservas de Derechos al Uso Exclusivo núm. 04-2022-120714274300-102, otorgado por el Instituto Nacional del Derecho de Autor, licitud de Título núm. 8702 y licitud de contenido núm. 6141, otorgados por la Comisión Calificadora de Publicaciones y Revistas Ilustradas de la Secretaría de Gobernación.

Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal, Latindex, folio: 2429. UP

CONTENIDO

Artículos

3 **Una mirada al caos y a la computación analógica de sistemas bio-inspirados**
LUIS JAVIER ONTAÑÓN GARCÍA PIMENTEL

10 **Uso y fabricación de biofertilizantes en la Huasteca Potosina**
LUIS J. CASTILLO PÉREZ

16 **La edición génica y los inicios de la perfección;un origenbacteriano**
STEPHANIE IRAIZ NUÑEZ OLVERA

19 **Sistema CRISPR y su aplicación en medicina veterinaria**
LUIS OSCAR TOVAR GAMBOA

24 **Autómatas celulares: herramienta matemática aplicada al crecimiento de ciudades**
EDUARDO JIMÉNEZ LÓPEZ

29 **Los hongos, microorganismos que ayudan en la descontaminación de ambientes contaminados con metales pesados**
DOMINGO MARTÍNEZ SOTO

Secciones

35 **DIVULGANDO** MIRADOR DE LA CIENCIA
DANIEL ULISES CAMPOS DELGADO

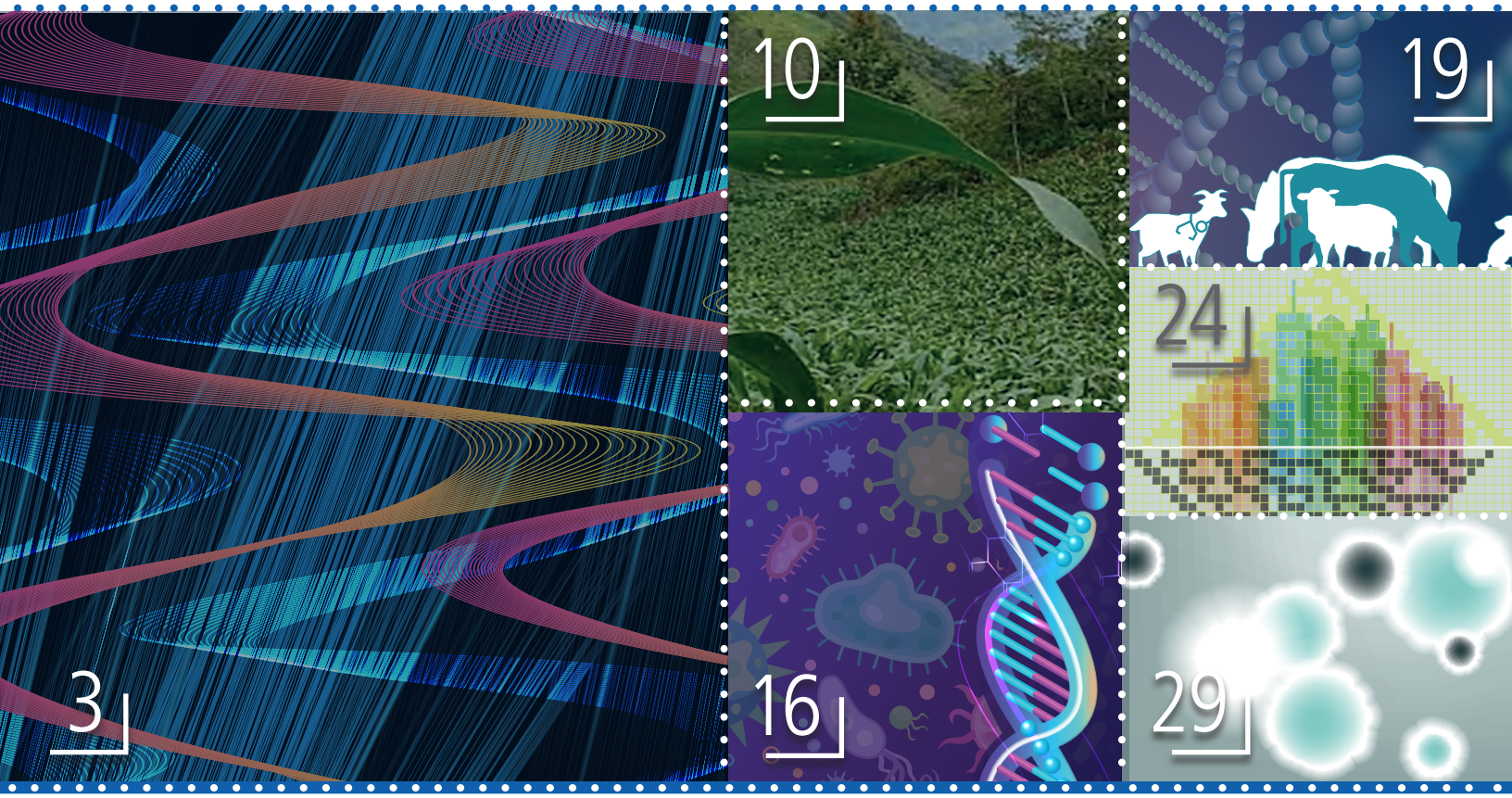
37 **PROTAGONISTA** DE LA CUÁNTICA
OSCAR JASEL BERRA MONTIEL

39 **NOTICIENCIAS**

40 **CIENCIA RANDOM**
¿QUÉ EDAD TIENE LA TIERRA?

41 **CIENTÍFICO DEL MES**
MANUEL SANDOVAL VALLARTA. Discípulo de genios

42 **OCIO CON ESTILO** MÚSICA
STRAY KIDS: MÁS ALLÁ DEL K-POP



Recibido: 02.10.2023 • **Aceptado:** 09.12.2024

Palabras clave: Teoría del caos, neurona, actividad eléctrica, atractores, electrónica analógica

Una mirada al **caos** y a la **computación analógica de sistemas bio-inspirados**

LUIS JAVIER ONTAÑÓN GARCÍA PIMENTEL
luis.ontanon@uaslp.lmx
JOSÉ LUIS ECHENAUSÍA MONROY
echenausia@cicese.mx
JONATAN PEÑA RAMÍREZ
jpena@cicese.mx
ISAAC CAMPOS CANTÓN
icampos@fciencias.uaslp.mx
COORDINACIÓN ACADÉMICA REGIÓN ALTIPLANO OESTE, UASLP.

El universo está lleno de fenómenos físicos y comportamientos fascinantes, entre ellos el caos —un comportamiento aperiódico e impredecible— que, a primera vista, puede parecer intimidante; sin embargo, al investigarlo a profundidad y comprender su importancia, resulta fácil admirarlo y perderse en su belleza. Por ello, en este trabajo ofrecemos un breve recorrido por el fascinante mundo de los sistemas caóticos y sus parajes, que incluyen formaciones exóticas conocidas como atractores, entre las cuales destaca la mariposa de Lorenz. Por otra parte, analizamos brevemente cómo la teoría del caos, combinada con la electrónica, ha permitido desentrañar el comportamiento complejo de los sistemas biológicos. Este entrelazado de caos, biología y electrónica cobra vida en la computación analógica, generando una conexión interdisciplinaria que desafía paradigmas, revela los misterios del mundo natural y abre la puerta a nuevos desarrollos tecnológicos.

En el corazón de nuestro universo, existe una sinfonía de complejidad y variabilidad que se manifiesta de maneras que desafían nuestras expectativas y despiertan un profundo interés por comprenderla. Numerosos fenómenos pueden analizarse como conjuntos de procesos o variables interconectadas, lo que permite considerarlos, de manera general, como *sistemas dinámicos*. Un sistema dinámico es aquel cuyo comportamiento cambia o evoluciona a lo largo del tiempo. Una célula, el cuerpo humano, un robot, nuestro planeta e incluso el universo mismo son ejemplos de sistemas dinámicos. Cada sistema exhibe un comportamiento propio, determinado por procesos internos y afectado por señales de entrada. Por ejemplo, en una sala de cine, los asistentes (sistemas) experimentan distintas emociones y reacciones ante la película que están viendo (entrada).

La complejidad de nuestro mundo, junto con el aumento de las interacciones humano-tecnológicas, se traduce en sistemas cada vez más interconectados. Aunque a menudo pasan desapercibidas, estas interacciones abarcan diversos campos científicos, desde la informática y la electrónica hasta la biología, la química y las ciencias sociales, por mencionar algunos. Comprender estos sistemas es esencial para el funcionamiento de dispositivos móviles, computadoras, el tráfico vehicular, la maquinaria industrial, la robótica, las comunicaciones, la aeronáutica e incluso para desvelar el intrincado funcionamiento del organismo humano.

Comencemos nuestro recorrido describiendo los sistemas caóticos. Uno de los rasgos distintivos de estos sistemas es su extrema sensibilidad a los cambios en su estado inicial. Incluso una pequeña diferencia en el estado inicial puede llevar a soluciones radicalmente diferentes a lo largo del tiempo, un fenómeno conocido como el *efecto mariposa*. Este término fue acuñado en 1963 por el matemático y meteorólogo estadounidense Edward Norton Lorenz (1917-2008) quien lo resumió con su famosa frase: *"El aleteo de una mariposa en Brasil puede provocar un tornado en Texas"*. Un ejemplo que puede resultarte familiar es el pronóstico del clima. Seguramente, más de una vez, antes de salir de casa por la mañana, has escuchado o leído en las noticias que el día estaría soleado. Sin embargo, al medio día cayó un chubasco de proporciones apocalípticas. ¿Te has preguntado alguna vez por qué el pronóstico del clima nunca es exacto? ¡Precisamente porque el clima se comporta como un sistema caótico! Para sus pronósticos, los meteorólogos utilizan modelos caóticos que se alimentan de datos obtenidos del clima actual. La más mínima variación en esos datos de entrada al modelo producirá pronósticos del clima completamente diferentes. Este ejemplo resalta la imposibilidad de predecir el comportamiento futuro de los sistemas caóticos.

Si eres aficionado a la ciencia ficción, quizás te te interese la película El efecto mariposa (título original: *The Butterfly Effect*), en la que se narra la historia de Evan Treborn (Ashton Kutcher), un joven que viaja al pasado y modifica ciertos eventos. La alteración de un pequeño acontecimiento desencadena cambios significativos en su futuro, encarnando el concepto del Efecto Mariposa.

Un aspecto fundamental de los sistemas caóticos es la generación de trayectorias únicas que no se repiten con el tiempo a diferencia de los sistemas periódicos, que siguen patrones regulares —por ejemplo, la turbina de un avión viajando a velocidad crucero— los sistemas caóticos evolucionan de manera impredecible, generando trayectorias que no se superponen. Además, al representar estas trayectorias en el plano, se forman los llamados *atractores extraños*. Estos atractores son regiones hacia las cuales las trayectorias caóticas tienden a converger de manera gradual. Dichos atractores adoptan estructuras fractales

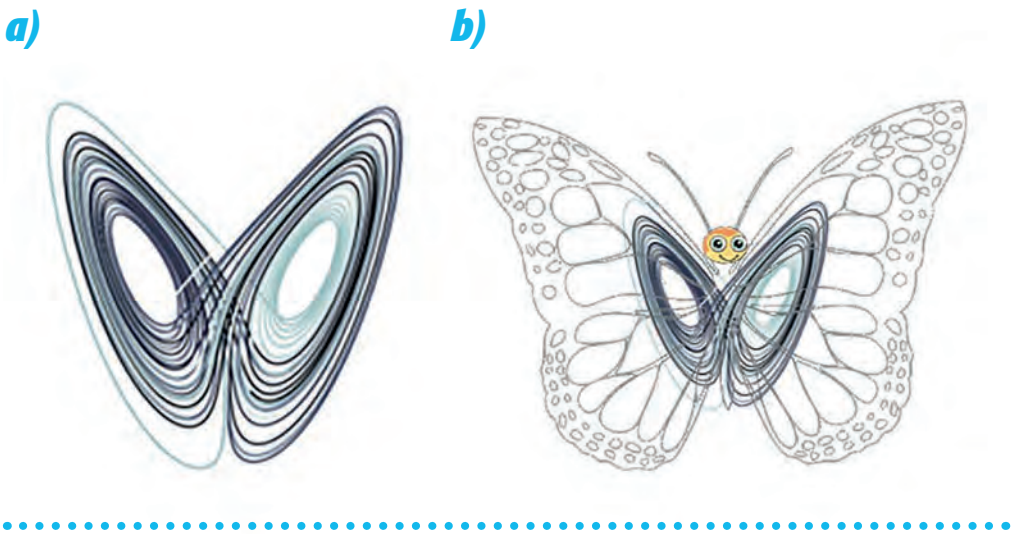


Figura 1.
a) Atractor caótico del sistema de Lorenz. *b)* Analogía de la mariposa de Lorenz.

que generan patrones complejos e impredecibles. Uno de los atractores más conocidos es el atractor de Lorenz (1963) publicado en su artículo "Deterministic nonperiodic Flow", mostrado en la Figura 1a, el cual se asemeja a las alas de una mariposa, como se ilustra en la Figura 1b.

Otro tipo de diagramas asociados al comportamiento caótico son los llamados diagramas de bifurcación, o diagramas de Feigenbaum, nombrados así en honor del físico estadounidense Mitchell Feigenbaum (1944-2019), quien realizó importantes contribuciones al estudio de los sistemas caóticos. Un ejemplo de este tipo de diagramas se muestra en la Figura 2a, el cual corresponde al sistema conocido como mapa logístico. Este tipo de diagramas ha inspirado el diseño de ¡vestidos caóticos! Por ejemplo, en 2010, el doctor Kazuyuki Aihara, profesor emérito de la Universidad de Tokio, Japón, en colaboración con la reconocida diseñadora de modas Eri Matsui, presentó un vestido inspirado en el mapa logístico mostrado en la Figura 2 a. Más recientemente, diseñamos nuestro propio vestido caótico en colaboración con la diseñadora de modas Alma Rodríguez del atelier "El señorito Gato" en Ensenada, Baja California. Este vestido se muestra en la Figura 2b.

Con el ejemplo anterior, queda claro que el comportamiento caótico no se limita a cuestiones matemáticas complejas, sino que también puede observarse en el arte. Para más ejemplos asociados con los sistemas caóticos. Te invitamos a consultar nuestro trabajo previo presentado (Echenausía-Monroy, et al. 2022).

Por otra parte, las características únicas de los sistemas caóticos guarda una estrecha relación con los sistemas biológicos, como las neuronas del cerebro y las células beta del páncreas. Estos sistemas biológicos exhiben comportamientos inusuales y no repetitivos, lo que ha motivado una intensa investigación fundamentada en la teoría del caos. De hecho, existen estudios, como el reportado en la investigación realizada por Pool (1989), que sugieren que algunos órganos del cuerpo humano, como el corazón y el cerebro, exhiben comportamientos caóticos y que, para estar saludables ¡debe haber caos en nuestro cuerpo! Por ejemplo, la Figura 3A muestra el trazo de un electrocardiograma antes y después de un ataque cardíaco. Por otra parte, la Figura 3B muestra el bosquejo de un electroencefalograma antes y después de un ataque de epilepsia. En este se observa que, antes del ataque, la señal es completamente aperiódica e irregular (caótica); sin embargo, después del ataque, la señal tiende a mostrar un mayor grado de periodicidad, es decir, se ha vuelto "menos caótica".

Para seguir explorando la relación entre el caos y los sistemas biológicos, es conveniente conocer la historia de dos científicos británicos de la década de 1950, que describimos en la siguiente sección.

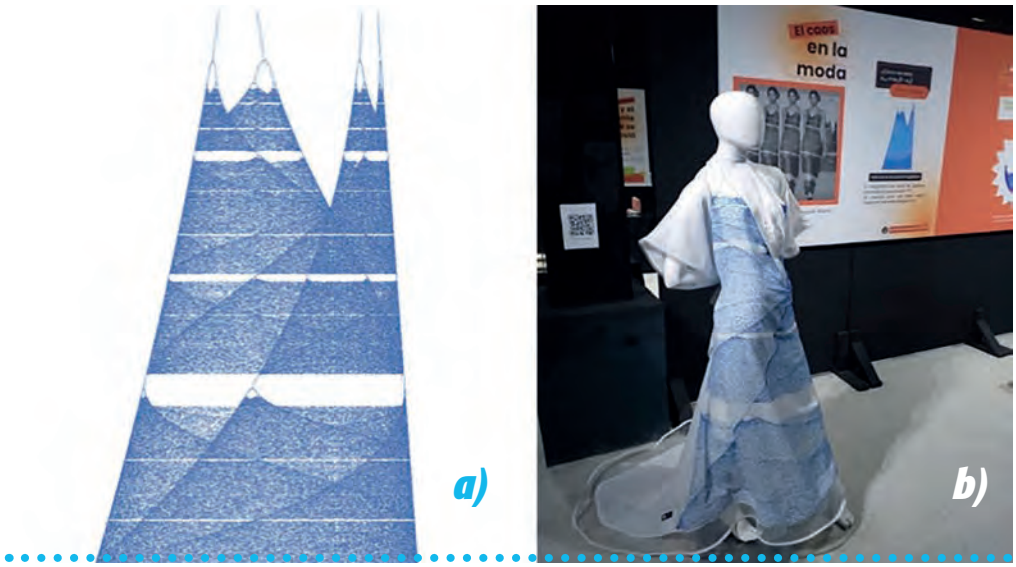


Figura 2.

a) Diagrama de bifurcación del mapa logístico. *b)* Vestido inspirado en el diagrama de bifurcación del mapa logístico.

Sistemas biológicos

Alan Lloyd Hodgkin y Andrew Fielding Huxley, investigadores del Trinity College de la Universidad de Cambridge, emprendieron un fascinante estudio sobre la transmisión de señales eléctricas a lo largo de las fibras nerviosas de ranas y, posteriormente, de los axones de calamares gigantes (Hodgkin y Huxley, 1952). Los axones son prolongaciones nerviosas que conectan las neuronas entre sí en el cerebro, como se ilustra en la Figura 4.

Su función es transmitir información, señales eléctricas y sustancias químicas entre una neurona y otra. Los

axones del calamar gigante resultaron especialmente valiosos para este estudio debido a su impresionante tamaño, que varía entre los 50 centímetros hasta los 2.3 metros. Estas criaturas marinas poseen una respuesta extremadamente rápida en el agua al enfrentarse a depredadores.

Hodgkin y Huxley implementaron técnicas innovadoras de medición de voltaje para desarrollar un modelo matemático del potencial de acción, basado en la suma de corrientes e implementado mediante componentes eléctricos. Este logro les otorgó el Premio Nobel de Fisiología y Medicina en 1963.

Para comprender mejor este fascinante descubrimiento, podemos imaginar el potencial de acción del axón como un impulso eléctrico que se desplaza a través de una línea de comunicación, como se ilustra en la Figura 4. Este impulso tiene una amplitud extremadamente pequeña, de aproximadamente 80 milivoltios, y ocurre en una fracción de segundo, alrededor de 10 milisegundos. Para ponerlo en perspectiva, si tuvieras un cargador de celular de 5 voltios, el nivel de voltaje de un potencial de acción equivaldría apenas al 1 % de ese valor, lo que demuestra lo minúsculo de este impulso. Es importante recordar que no estamos hablando de un axón cualquiera sino del axón de un calamar gigante.

Hodgkin y Huxley emplearon una técnica de medición innovadora conocida como *voltage clamp* (pinza de voltaje), que utiliza la membrana de la neurona como referencia. A través de amplificadores electrónicos analógicos, aumentaron el voltaje del potencial de acción hasta hacerlo visible en un osciloscopio. Su investigación reveló que la transmisión de información en una neurona, desencadenada por una corriente de impulso inicial, se asemeja al comportamiento de algunos elementos en circuitos electrónicos. En otras palabras, lograron formular un modelo matemático a partir de ecuaciones diferenciales no lineales, el cual se asemejaba de manera sorprendente al comportamiento natural de una neuronay que también podía ser implementado físicamente con componentes electrónicos. Este descubrimiento ha tenido un impacto enorme en la ciencia, especialmente en la fisiología y la biofísica, al proporcionar comprensión sobre el funcionamiento de nuestro cerebro y cuerpo en general.

Muchos sistemas biológicos presentan respuestas similares a las documentadas por los científicos británicos. Además, a partir de este modelo, se han realizado numerosos experimentos y simulaciones para desarrollar otros modelos matemáticos

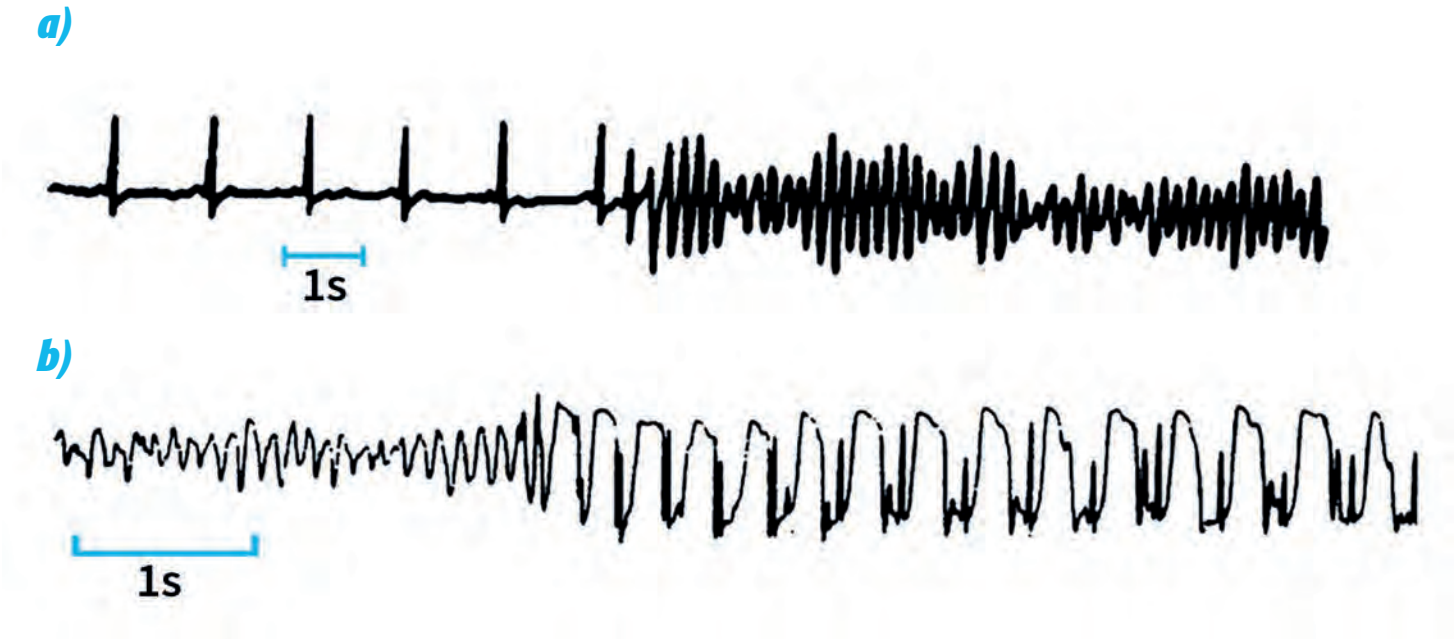


Figura 3.

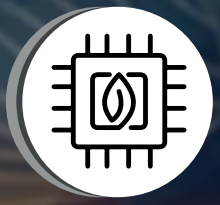
Durante un ataque cardiaco *a)* o un ataque epiléptico *b*) se puede observar un cambio en el ritmo, el cual se puede asociar con la aparición/desaparición de comportamiento caótico.

Imagen tomada de Pool (1989).

Caos y computación analógica de sistemas bio-inspirados

El caos en sistemas dinámicos: Es un comportamiento impredecible pero determinista, caracterizado por su sensibilidad a las condiciones iniciales, ejemplificado en fenómenos como el clima y los atractores extraños.

Biología y caos: Sistemas biológicos como el cerebro y el corazón presentan dinámicas caóticas esenciales para su funcionamiento saludable.



Modelos matemáticos bio-inspirados: Modelos como los de Hodgkin-Huxley y FitzHugh-Nagumo reproducen la actividad eléctrica de sistemas biológicos con comportamientos caóticos.

Computación analógica: La implementación de modelos bio-inspirados en circuitos electrónicos permite estudiar y replicar comportamientos biológicos complejos.

Innovación interdisciplinaria: La conexión entre caos, biología y electrónica impulsa avances en bioinformática, robótica y redes neuronales.

ONTAÑÓN, ECHENAUSÍA, PEÑA y CAMPOS (2024), *Universitarios Potosinos*. 280, pp. 3-9

neuronales que refleje de manera más precisa el comportamiento real.

Algunos de los más destacados son el modelo de FitzHugh Nagumo, desarrollado en 1961, y el modelo formulado por Izhikevich en 2003 (Ortega y Pena, 2020) los cuales, además de representar patrones de actividad eléctrica, exhiben un fenómeno intrigante de irregularidad impredecible similar a los sistemas caóticos. Esta singularidad es una de las razones por las cuales los sistemas biológicos y los sistemas caóticos generan un gran interés en diversos campos de estudio, ya que no pueden describirse mediante ecuaciones lineales o simplificaciones. En cambio, presentan comportamientos atípicos en los cuales los estados no se repiten a lo largo del tiempo.

Ejemplos adicionales de modelos matemáticos de sistemas biológicos, con características similares a la teoría del caos, se encuentran en ecuaciones que describen el ritmo cardíaco, como se observa en la Figura 3A, o en aquellas que representan el comportamiento de las células beta en los islotes de Langerhans del páncreas, responsables de regular la glucosa en el cuerpo. Se puede encontrar más información sobre estos modelos en las referencias citadas en Ontañón y Campos (2013).

Computación analógica

La validación de resultados y la confirmación empírica desempeñan un papel fundamental en la investigación científica, especialmente en el estudio de la neurona de Hodgkin y Huxley. Sin embargo, al tratar sistemas biológicos con comportamientos caóticos, cuya representación se fundamenta exclusivamente en modelos matemáticos y ecuaciones no lineales, surge una oportunidad sumamente intrigante: la implementación física o mediante

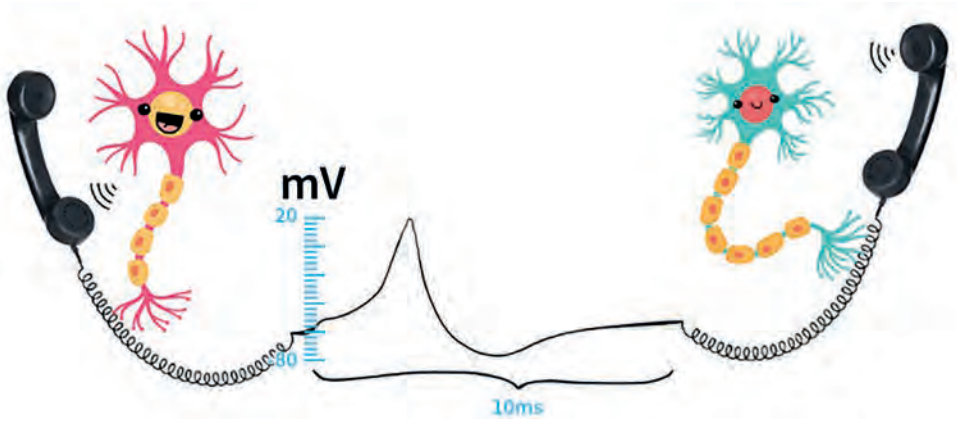


Figura 4.

Ilustración del potencial de acción de un axón representado como transmisión de información con las extensiones largas que salen del núcleo y se acercan hacia el cable telefónico.

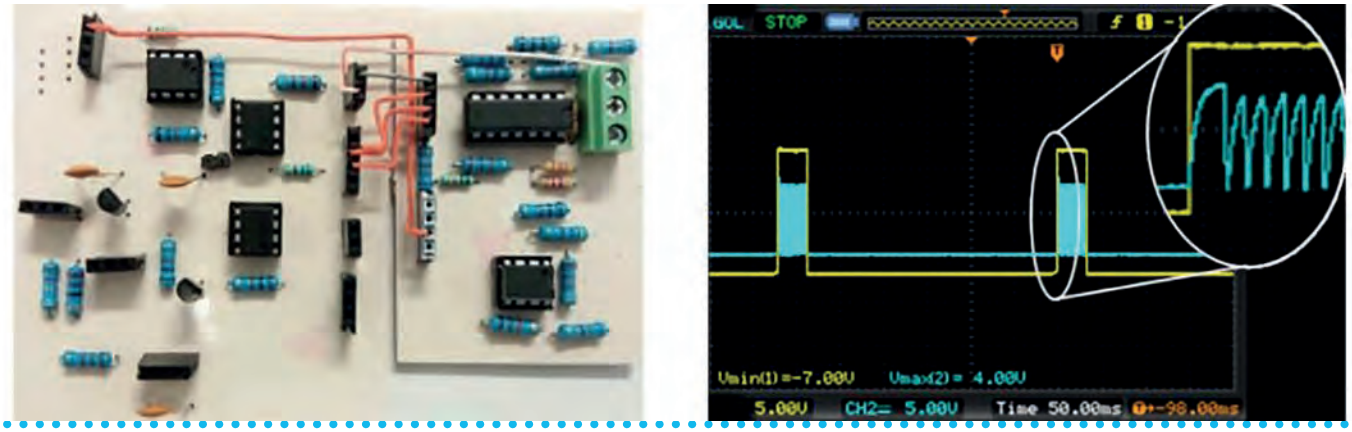


Figura 5.

Implementación electrónica y ráfagas del potencial de membrana de una célula de Hodgkin y Huxley (Ortega y Pena, 2020)

LUIS JAVIER ONTAÑÓN GARCÍA PIMENTEL

Ingeniero electrónico por la Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí; maestría en Ciencias Aplicadas en el Instituto de Investigación en Comunicación Óptica (IICO) y doctorado en Ciencias Aplicadas en el IICO. En la actualidad se desempeña como profesor investigador de tiempo completo en la Coordinación Académica Región Altiplano Oeste (CARAO) de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí y responsable técnico del Proyecto COPOCYT de Fideicomiso 23871 de la Convocatoria 2023-01. "Predicción y seguimiento de trayectorias de sistemas dinámicos mediante redes neuronales artificiales recurrentes y su aplicación en robótica". Cuenta con beca para estudiante que tengan interés en participar en la investigación en 2025.

electrónica analógica. Esta perspectiva resulta especialmente atractiva debido a la sorprendente relación que Hodgkin y Huxley establecieron entre el axón nervioso y los circuitos eléctricos analógicos. ¿Puedes imaginarlo? La recreación del comportamiento de una neurona mediante componentes electrónicos convencionales, lo que podríamos denominar una 'neurona electrónica', podría eventualmente llevar a la creación de un 'cerebro electrónico' capaz de permitir, por ejemplo, que un robot móvil se desplace de manera autónoma en un entorno desconocido.

La computación analógica ha sido explorada de manera exhaustiva, como lo demuestran los diversos artículos en los que se documentan circuitos y simulaciones que imitan comportamientos bioinspirados (Ortega y Pena, 2020), es decir, reproducen comportamientos biológicos mediante circuitos electrónicos. Un ejemplo de este tipo de circuitos se muestra en la Figura 5, donde se presenta la implementación electrónica del modelo de Hodgkin y Huxley, junto con su potencial de membrana generado.

A pesar de la amplia variedad de aplicaciones de estos diseños de circuitos, se destacan principalmente dos casos:

a) La notable similitud entre la respuesta de los circuitos electrónicos y los comportamientos observados en sistemas biológicos ha impulsado su implementación en diversas áreas de la ciencia. Este enfoque no solo tiene como objetivo comprender mejor la biología, sino también reducir la necesidad de estudios con seres vivos. Además, las implementaciones electrónicas permiten analizar comportamientos directamente en términos de voltaje y corriente, independientemente del tiempo de funcionamiento de los dispositivos, lo cual, en general, resulta ser una opción rentable y una alternativa a los estudios *in vivo e in vitro*.

b) Dada la inherente complejidad de los sistemas biológicos mencionados, estos circuitos se emplean para explorar fenómenos no necesariamente vinculados a la biología. Por ejemplo, se aplican en el análisis de sistemas y redes interconectadas, similares a aquellas que forman la base de la arquitectura de Internet. También se utilizan en el estudio de redes neuronales artificiales diseñadas para abordar problemas específicos. En el campo de la bioinformática, se aprovecha el comportamiento de los sistemas biológicos para resolver desafíos de procesamiento computacional, como el procesamiento de audio y video.

Para concluir, esperamos que, en este punto, estés de acuerdo con nosotros en que, en un universo donde la impredecibilidad y la singularidad se entrelazan, los sistemas caóticos ofrecen un lienzo intrigante que invita a la exploración. Su sensibilidad en su estado inicial, la aparición de atractores extraños y la creación de trayectorias únicas trascienden los límites del entendimiento. Al aplicar la teoría del caos en el ámbito de los sistemas biológicos, como las neuronas y las células, se revelan las enigmáticas particularidades de sus comportamientos irregulares, se trazan nuevos límites en el vasto territorio de la investigación científica. En esta travesía, la sinfonía que surge entre la biología y la electrónica cobra vida a través de la computación analógica, tejiendo una red interdisciplinaria que desafía paradigmas.

Agradecimientos

L.J. Ontañón-García y J. Pena Ramírez agradecen el apoyo de CONAHCYT a través del proyecto de ciencia básica A1-S-26123, titulado *Análisis, control y sincronización de sistemas complejos con interconexiones dinámicas y acoplamientos flexibles*. L.J.O.G, agradece al Consejo Potosino de Ciencia y Tecnología (COPOCYT) por el apoyo otorgado en proyecto Fideicomiso 23871 de la Convocatoria 2023-01.

Referencias bibliográficas:

¡Echenausía-Monroy, J. L., Cuesta-García, J. and Pena Ramirez, J. (2022). The wonder world of complex systems. Chaos Theory and Applications, 4(4), 267-273.

Pool, R. (1989). Is It Healthy to Be Chaotic? Science vol. 243, pp. 604-607.

Hodgkin, A.L. and Huxley A.F. (1952). " Quantitative description of membrane current and its application to conduction and excitation in nerve" The Journal of Physiology. 117 (4): 500–44.

Ortega, G., Nunez, R. and Pena Ramírez, J. (2020). A modified hybrid Izhikevich neuron: modeling, synchronization, and experiments. IFAC-PapersOnLine, 53(2), 5683-5688.

Ontañón-García, L.J. and Campos-Cantón, E. (2013). Discrete coupling and synchronization in the insulin release in the mathematical model of the cells, Discrete *Dynamics in Nature and Society*, vol. 2013, Article ID 427050.

Recibido: 26.06.2023 • **Aceptado:** 03.12.2024

Palabras clave: Sustentabilidad, cultivos agrícolas, huasteca potosina.

Uso y fabricación de **biofertilizantes** en la **Huasteca Potosina**

LUIS J. CASTILLO PÉREZ
jesus.perez@uaslp.mx
FACULTAD DE ESTUDIOS PROFESIONALES ZONA HUASTECA, UASLP
PAOLA LUCERO PÉREZ
paola.lucero@citrofrut.com
PROMOTORA CITRICOLA DEL GOLFO (CITROFRUT)
JUAN JOSÉ MALDONADO MIRANDA
juan.maldonado@uaslp.mx
FACULTAD DE ESTUDIOS PROFESIONALES ZONA HUASTECA, UASLP
CANDY CARRANZA ÁLVAREZ
candy.carranza@uaslp.mx
FACULTAD DE ESTUDIOS PROFESIONALES ZONA HUASTECA, UASLP

La Huasteca Potosina es una de las regiones que cuenta con mayor diversidad natural y cultural en el estado de San Luis Potosí. Los pobladores de esta región cuentan con diversos cultivos agrícolas, siendo los más destacados la caña de azúcar, el café, el maíz y los cítricos, como la naranja y el limón. En algunos cultivos de esta región aún se continúan utilizando fertilizantes sintéticos, los cuales ocasionan un alto impacto ambiental. Por ello, una alternativa que se ha propuesto para frenar estos efectos perjudiciales son los biofertilizantes.

Los biofertilizantes son productos creados con microorganismos, como hongos y bacterias, los cuales producen un aumento en la disponibilidad de los nutrientes para los cultivos.

La región de la Huasteca Potosina, localizada al este del estado de San Luis Potosí, abarca una extensión aproximada de 11,803 km2 y está conformada por 20 municipios. Cuenta con una población de 761,547 habitantes, entre los cuales se encuentran las etnias tének, náhuatl y xi'uy, quienes, junto con la población mestiza, convierten a esta región en una de las más biodiversas del estado potosino (Hernández-González *et al*., 2020).

La gran biodiversidad natural y cultural que posee la Huasteca Potosina la ha posicionado como uno de los mayores atractivos turísticos de México. Debido a ello, el turismo se ha convertido en una de las industrias más importantes para la región en los últimos años. Sin embargo, el otro motor económico de la Huasteca Potosina que ha prevalecido a lo largo del tiempo es la agricultura. En esta región se cuenta con diversos cultivos agrícolas, siendo los más destacados la caña de azúcar, el maíz, el café y los cítricos, como la naranja y el limón. En menor proporción se encuentran también los cultivos de vainilla y las hortalizas como la lechuga, las acelgas y las calabazas (Imagen 1), así como los cultivos de traspatio como frijol, yuca, cilantro y piña.

Imagen 1.
Cultivos agrícolas en la Huasteca Potosina. *a)* Caña de azúcar, *b)* Maíz, *c)* Café, *d)* Naranja, *e)* Calabaza, *f)* Frijol y *g)* Vainilla.
Créditos fotográficos: Salvador Luna

La mayoría de estos cultivos utiliza productos comerciales certificado en sus procesos de fertilización, los cuales, la mayoría de los casos son suministrados por las empresas que procesan y comercializan a gran escala estos cultivos. Por ejemplo, los ingenios azucareros o la empresa Citrofrut, en el caso de los cítricos. La producción agrícola en la Huasteca Potosina abarca no solo el cultivo, sino también el procesamiento, comercialización y distribución de los productos, lo que proporciona alimentos, materias primas útiles para la generación de otros bienes y genera oportunidades de empleo, siendo una fuente de sustento para muchas familias huastecas.

Por lo anterior, es de suma importancia que la agricultura en la región se vuelva una actividad sostenible, que no solo contribuya al desarrollo de las poblaciones, sino que también no afecte el ambiente donde se practica. En este contexto, se ha demostrado que el uso de fertilizantes sintéticos utilizados en los cultivos de forma tradicional presentan una baja eficiencia (≤50%) y ocasionan un alto impacto ambiental que se ve reflejado en procesos dañinos como la eutrofización de los cuerpos de agua (superficiales y subterráneos) y la bioacumulación de compuestos tóxicos en especies de flora y fauna. Estos compuestos, al incorporarse en las cadenas tróficas, terminan siendo transferidos a los seres humanos, causando problemas de salud Por ello, los biofertilizantes han surgido como una alternativa que se ha propuesto para frenar estos efectos perjudiciales.

Microorganismos utilizados como biofertilizantes

Los biofertilizantes son productos desarrollados a partir de microorganismos como hongos y bacterias, los cuales producen un aumento en la disponibilidad de nutrientes para los cultivos. El uso de estos productos ofrece grandes beneficios, entre los cuales destacan la disminución en costos de producción, el aumento de la fertilidad y biodiversidad de los suelos, así como un menor impacto ambiental al ecosistema (Castillo Pérez, *et al*., 2022). Aunque el uso de biofertilizantes comenzó con pequeños productores agrícolas, en la actualidad ya están siendo aplicados en cultivos intensivos, como es el caso de los cítricos en la Huasteca Potosina.

Los biofertilizantes se clasifican en cuatro grandes grupos: *a)* fijadores de nitrógeno, *b)* solubilizadores de fósforo, *c)* captadores de fósforo y *d)* reguladores del crecimiento vegetal (Chávez Díaz, *et al*., 2020). En cuanto a los organismos fijadores de nitrógeno, existen bacterias que realizan una asociación simbiótica exclusiva con plantas leguminosas, como las bacterias del género *Rhizobium* y otro grupo que incluye a las bacterias que colonizan los suelos de forma natural como *Azospirillum, Azotobacter, Beijerinckia* y *Klebsiella*, los cuales se conocen también como bacterias fijadoras de nitrógeno de vida libre. Todas estas bacterias aprovechan el nitrógeno atmosférico para sintetizar sustancias que incentivan el crecimiento de la planta.

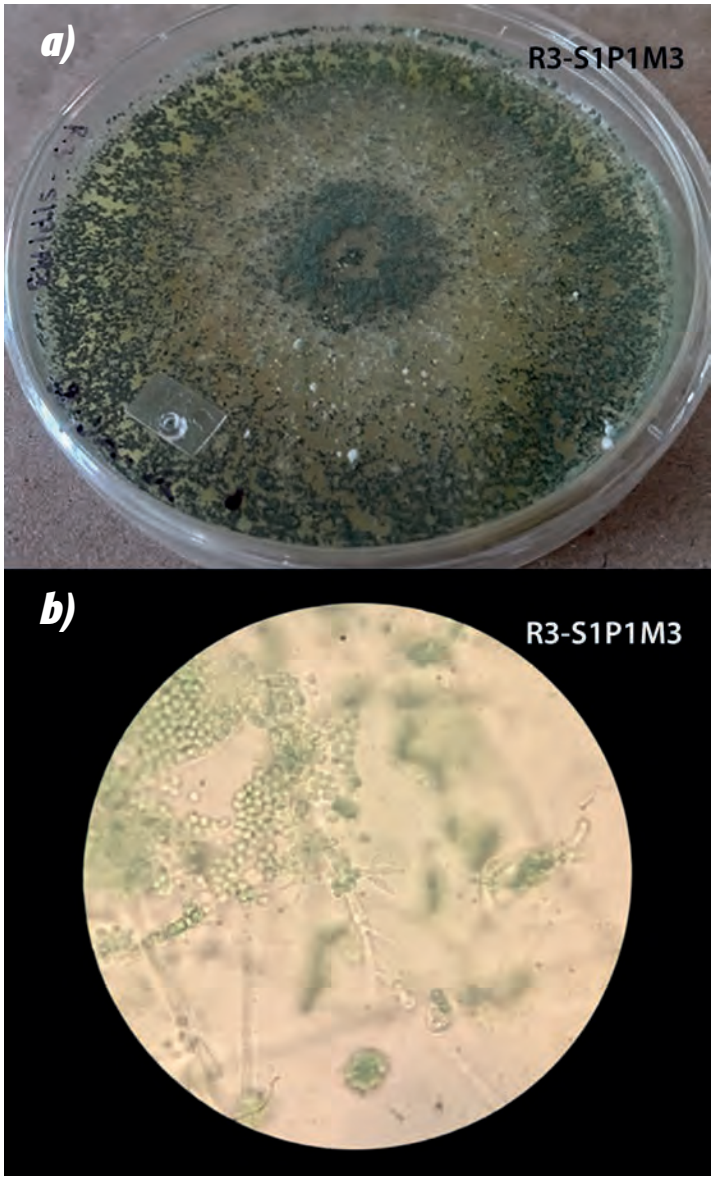


Imagen 2.
Trichoderma sp. *a)* Cultivo en placa, *b)* Observación microscópica (40x)

Para el segundo y tercer grupo de microorganismos que están relacionados con el elemento fósforo, los que crecen y se desarrollan en la rizosfera son los más comunes. Entre las bacterias se encuentran las especies *Aspergillus niger, Bacillus circulans, B. subtilis, B. polymyxa, Penicillium bilaji* y *Pseudomonas putida*. Además, destacan también un gran número de géneros de hongos micorrízicos, los cuales promueven el crecimiento del sistema radicular y con ello se lleva a cabo una mayor captación de agua y nutrientes del suelo.

Por otro lado, en lo que respecta a los microorganismos productores de sustancias del crecimiento vegetal, se encuentran algunos hongos como los del género *Trichoderma* (Imagen 2), los cuales son capaces de producir giberelinas, utilizados en cultivos de tomate, maíz y cacao. Las giberelinas, junto a las auxinas, las citocininas y el etileno conforman un grupo de moléculas químicas denominadas fitohormonas o reguladores de crecimiento vegetal. Estas sustancias son compuestos naturales que se encuentran en bajas concentraciones de forma natural y como su nombre lo indica, se encargan de regular el crecimiento y desarrollo de las plantas. Estos hongos también han sido utilizados como control biológico de otros microorganismos patógenos de plantas como el tomate (Martínez Canto, *et al*., 2022).

Otro ejemplo son las bacterias del género *Pseudomonas*, que producen compuestos de bajo peso molecular denominados sideróforos. Estos compuestos tienen afinidad por elementos químicos como el manganeso, el molibdeno y el hierro, los cuales son aprovechados por la planta en situaciones donde estos micronutrientes se encuentran deficientes. Es importante mencionar que el éxito de los cultivos agrícolas depende mucho de la riqueza de los suelos. Los suelos con un alto contenido de materia orgánica incentiva el crecimiento y desarrollo de microorganismos los cuales aportan nutrientes naturales que son captados por las plantas. Estos nutrientes, aunados a la fertilización exógena, potencian la capacidad de las plantas para obtener una mejor producción.

Fabricación de biofertilizantes: en el caso de la empresa Citrofrut, en Huasteca Potosina.

Uno de los mayores problemas en la producción agrícola asociada a grandes empresas son las enfermedades causadas por microorganismos patógenos, las cuales suelen tener como consecuencia una disminución significativa en los rendimientos. Sin embargo, también existen múltiples microorganismos benéficos asociados a la diversidad del suelo, capaces de favorecer el desarrollo y rendimiento de los cultivos, la captación del agua, la disponibilidad de nutrientes, y la erradicación de plagas y enfermedades. Con el uso de estos microorganismos benéficos, diversas empresas han comenzado a desarrollar productos biológicos que adquieren una gran importancia en el sector agrícola, como es el caso de Citrofrut.

Citrofrut es una empresa agroindustrial mexicana, considerada socialmente responsable, dedicada a la producción y procesamiento de frutas cítricas y tropicales. Cuentan con cinco plantas de procesamiento a nivel nacional y más de 7,000 hectáreas destinadas a la producción. Una de estas instalaciones de procesamiento se encuentra localizada en la delegación de Huichihuayán, perteneciente al municipio de Huehuetlán en la Huasteca Potosina.

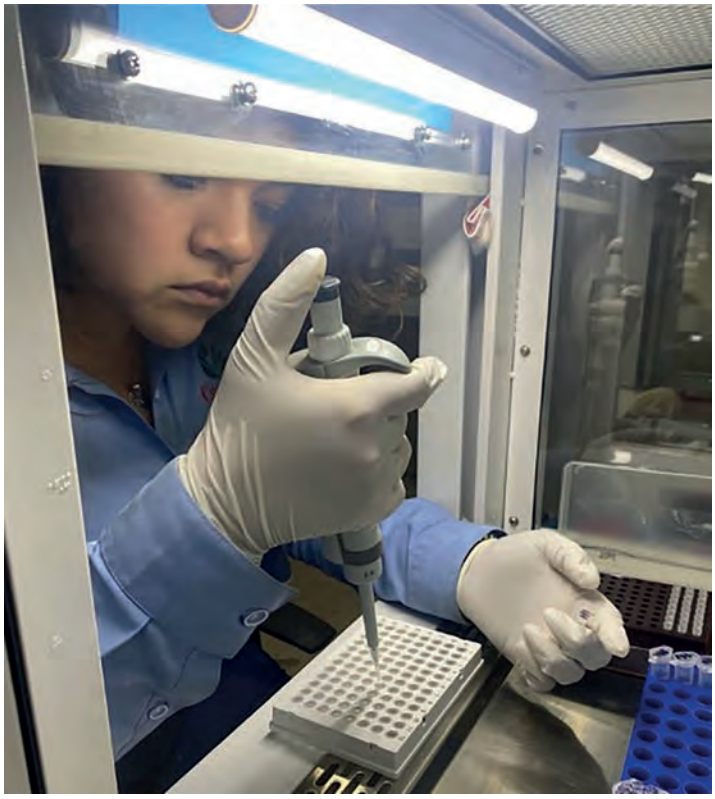


Imagen 3.
Laboratorio de Producción de Hongos para Control.

Los biofertilizantes ofrecen una alternativa sostenible al uso de fertilizantes químicos, promoviendo prácticas agrículas amigables con el medio ambiente

Citrofrut cuenta también con la empresa biotecnológica denominada PROCIGO, en la cual se desarrollan diversas aplicaciones enfocadas en el mejoramiento y la sanidad vegetal. Entre las cuales se distingue el Laboratorio de producción de hongos para control biológico (Imagen 3), que proporciona una alternativa eficiente y no contaminante al desarrollar productos fitosanitarios basados en microorganismos antagónicos competitivos, utilizados para la protección de los cultivos. Uno de los microorganismos más destacados en este laboratorio es el hongo Trichoderma spp., el cual basa su antagonismo en diferentes mecanismos bioquímicos, como la producción de metabolitos antifúngicos, la competencia por espacio y nutrientes, así como la inducción de la resistencia y el micoparasitismo.

Desde el año 2020, esta cepa de biocontrol se produce en el laboratorio y se distribuye a los proveedores, con una excelente eficacia en las huertas propias de aguacate y cítricos. Además, se ha trabajado en conjunto con el programa de sanidad vegetal del Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA) del gobierno federal mexicano, logrando formar parte de su directorio nacional de empresas encargadas de mejorar el estatus fitosanitario del país.

Para hacer llegar este producto de biocontrol a un mayor número de huertas, la empresa Citrofrut trabaja en equipo con los productores para que la aplicación del producto biológico sea eficaz, debido a que las condiciones edafoclimáticas juegan un papel primordial para su desarrollo en el suelo. En el Laboratorio PROCIGO, no se limita al desarrollo de biofertilizantes; también se producen bioinsecticidas de amplio espectro, como es el caso de cuatro cepas distintas de hongos (*Paecellomyces* spp.*, Metarrhizium* spp.*, Bauveria* spp. y *Trichoderma* spp.) las cuales se han comenzado a desarrollar para el control de enfermedades y plagas en el sector agrícola.

Comentarios finales

En los últimos años, el ambiente ha sufrido diversas transformaciones. Las altas temperaturas y las sequías son algunas de las primeras consecuencias del cambio climático. Por ello, es importante migrar a técnicas agrícolas sustentables, que mejoren la producción de los cultivos y que tengan un bajo impacto ambiental. En este contexto,

LUIS JESÚS CASTILLO PÉREZ

Licenciado en bioquímica por la Facultad de Estudios Profesionales Zona Huasteca de la UASLP; maestro y doctor en Ciencias Ambientales por el Programa Multidisciplinario de Posgrado en Ciencias Ambientales de la UASLP. Profesor investigador del programa educativo de Bioquímica de la Facultad de Estudios Profesionales Zona Huasteca de la UASLP. Actualmente se encuentro trabajando en proyectos relacionados con la conservación de recursos naturales en la Huasteca Potosina a través de la biotecnología vegetal y en el análisis de compuestos bioactivos de orquídeas medicinales.

los biofertilizantes se han convertido en productos importantes para la agricultura mexicana y mundial, pues su fabricación resulta una excelente alternativa para aumentar la producción de los cultivos en la región de la Huasteca Potosina. Por ello, es importante que otras empresas o cooperativas de agricultores y productores tomen el ejemplo de la empresa Citrofrut, y comiencen con la fabricación y distribución de biofertilizantes a los productores que colaboran con ellos.

El desarrollo de estas prácticas agrícolas de bajo impacto ambiental son importantes en una región con gran potencial turístico de nivel internacional, por lo cual es importante que se perciba una imagen de un región en pro del desarrollo sustentable. Asimismo, la disminución del impacto ambiental en los ecosistemas y las enfermedades que pudieran estar ocasionando como consecuencia, se verían disminuidas con el uso y la fabricación de biofertilizantes.

Otra alternativa es la creación de convenios de las empresas agroindustriales o de los mismos productores con la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, como el que se tiene actualmente con la cooperativa de vainilla para el desarrollo de un programa de estudio y conservación de este cultivo en la Huasteca Potosina. A través de este proyecto, se han identificado hongos benéficos que podrían, en un futuro, utilizarse como biofertilizantes para este cultivo que hasta el momento es orgánico. Además, los alumnos de la Licenciatura en Bioquímica de la Facultad de Estudios Profesionales Zona Huasteca se encuentran ampliamente capacitados para incursionar en el área de la biotecnología ambiental e incluso han trabajado ya con la creación de biofertilizantes en cantidades piloto, que han sido funcionales en ensayos a nivel de laboratorio e invernadero (Imagen 4). UP

Imagen 3.
Estudiantes de la Licenciatura en Bioquímica de la FEPZH-UASLP, exponiendo un proyecto sobre la fabricación de biofertilizantes y biopesticidas.

Referencias bibliográficas:

Castillo Pérez, L. J., Maldonado Miranda, J. J., & Carranza Álvarez, C. (2022). Use and Manufacture of Biopesticides and Biofertilizers in Latin America. *Bioresource Technology: Concept, Tools and Experiences,* 424-442.

Chávez Díaz, I. F., Zelaya Molina, L. X., Cruz Cárdenas, C. I., Rojas Anaya, E., Ruíz Ramírez, S., & de los Santos Villalobos, S. (2020). Consideraciones sobre el uso de biofertilizantes como alternativa agro-biotecnológica sostenible para la seguridad alimentaria en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(6), 1423-1436.

Hernández González, G. B., Bojórquez Vargas, A. R., & Pedraza Gómez, C. (2020). Gestión pública del turismo: un enfoque de gobernanza local en la Huasteca potosina (México). *Revista Turismo y Sociedad*, 27, 77-94.

Martínez Canto, O. J., Cristóbal Alejo, J., Tun Suárez, J. M., & Reyes Ramírez, A. (2022). *Trichoderma* spp. como agente de control biológico contra fitopatógenos en *Solanum lycopersicum* L. Avances en Investigación Agropecuaria, 26(2), 19-20.

Recibido: 31.01.2023 • **Aceptado:** 13.12.2024

Palabras clave: Inicios, edición génica, actualidad.

La edición génica y los inicios de la perfección; un origen bacteriano

STEPHANIE IRAIZ NUÑEZ OLVERA
iraiz.nunez@iibiomedicas.unam.mx
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
INSTITUTO DE CIENCIAS BIOMÉDICAS
EUCLIDES JORDAN ALEJANDRE
eucli.ja@gmail.com
CENTRO DE ESTUDIOS TECNOLÓGICOS INDUSTRIAL Y DE SERVICIOS NO.50
MACRINA BEATRIZ SILVA CÁZARES
macrina.silva@uaslp.mx
UNIDAD ACADÉMICA MULTIDISCIPLINARIA REGIÓN ALTIPLANO, UASLP

El conocimiento científico ha evolucionado significativamente a lo largo de los años, influyendo en todos los aspectos de nuestra vida. Desde acciones tan simples como encender una fogata, hasta manipular el ADN, una de las moléculas más importantes de la vida. Esta última capacidad tiene varios propósitos, como entender y tratar enfermedades causadas ya sea por el cuerpo o por agentes externos. Sin embargo, debemos preguntarnos a dónde nos llevará este conocimiento, ya que, en algunas situaciones, el uso indebido de este saber podría tener consecuencias graves para la humanidad.

Desde los tiempos remotos, la ciencia ha despertado la curiosa del público. Tanto personas sin experiencia en ciencias como científicos han evaluado los avances, como si fueran jueces, y con toda razón, pues al final de cuentas los avances científicos impactan a toda la humanidad, desde científicos consagrados hasta recién nacidos. Esta dinámica ha dado como resultado la tendencia de llamar ciertos avances como "revolucionarios", lo que puede sobrevalorar su importancia. De hecho, muchos avances que mejoran nuestra vida diaria pasan desapercibidos o con modestia.

¿Cuánta modestia deberíamos mostrar al entender una técnica que permite modificar el genoma? La metodología descrita por Yoshizumi Ishino y su equipo en 1987 ha tenido un impacto tan grande que en 2020 fue reconocida con el Premio Nobel, otorgado a Emmanuelle Charpentier y Jennifer A. Doudna (Deltcheva et al., 2011; C. Li *et al*., 2021). ¿De qué técnica hablamos? Para quienes no están familiarizados, estamos hablando de CRISPR-Cas9, o simplemente CRISPR. Este término significa "Repeticiones Palindrómicas Cortas Agrupadas y Regularmente Interespaciadas", un sistema que podría considerarse un sistema inmunológico ancestral, pues ayuda a las bacterias a defenderse de su "Azrael": los virus llamados bacteriófagos.

CRISPR funciona con dos componentes clave: un ARN guía que dirige el sistema hacia la sección específica del ADN que se desea modificar y la enzima Cas9, encargada de realizar el corte de esa parte del ADN (Redman et al., 2016). Esta herramienta ha innovado la ciencia encendiendo el faro en nuestro camino en la posibilidad de modificar organismos según nuestras necesidades. Ejemplos de ello incluyen vacas sin cuernos (Panko, 2016) o mosquitos que no transmiten enfermedades (Hammond et al., 2016). ¿Será que el azar genético quedaría relegado a la visión de algunos caprichosos solamente?

Al pensar en estas posibilidades, algunos recuerdan películas como Gattaca, de Andrew Niccol, que imagina un futuro donde las personas son diseñadas a la medida, con rasgos perfectos elegidos por sus padres. En este escenario, los embriones, cuyo genotipo es perfeccionado en los laboratorios, gozan de ventajas en cualquier ámbito imaginable. En contraste, aquellos que dejaron que el relojero ciego ensamblara a su descendencia la condenarían a las tareas más arduas, condenados a una vida más austera (Niccol, 1997).

Este thriller de anticipación fue lanzado en 1997. Ahora, varios lustros después, tenemos en nuestras manos la chispa CRISPR, una maravilla natural que se ha extendido como una maravilla natural que ha sido rápidamente adoptada y ampliamente utilizada en los laboratorios Sin embargo, aunque esto podría sonar como ciencia ficción, CRISPR ha abierto debates sobre el uso de esta tecnología para alterar genomas y las posibles consecuencias que esto tendría para la humanidad.

Si bien esta tecnología no es la única disponible para la edición genética, hace que las posibilidades sean infinitas; por ejemplo, el poder eliminar un gen enfermo y reemplazarlo con una secuencia saludable. Obviamente, esta tecnología genera muchas esperanzas en el campo de la medicina, pues promete curar múltiples enfermedades independiente a su origen (Ader et al., 2022; Kang et al., 2016; G. Li *et al*., 2022; Soblechero-Martín et al., 2021).

Por ejemplo, un equipo de la Universidad de Pensilvania, liderado por Edward A. Stadtmauer, logró modificar células T para atacar células tumorales sin causar, aparentemente, efectos secundarios (Stadtmauer et al., 2020). Aunque estos resultados son alentadores, todavía es pronto para afirmar con certeza si CRISPR podrá curar estas enfermedades.

Desde 2013, esta herramienta ha sido utilizada para modificar el ADN de células somáticas, es decir, aquellas cuyos cambios no se heredan a las generaciones futuras. Sin embargo, en 2018, se anunció el nacimiento del primer bebé genéticamente modificado, un acontecimiento que sacudió al mundo debido a que se llevó a cabo en secreto y sin validación científica. El Dr. He Jiankui modificó embriones humanos para protegerlos contra el Virus de Inmunodeficiencia Humana (VIH), un avance altamente cuestionado (Cyranoski, 2020), pues éticamente iba en contra de los derechos humanos, la Declaración de Helsinki y lo establecido en la Conferencia de Alisomar de 1975 sobre las moléculas del ADN recombinante, en donde se establecieron e hicieron recomendaciones para proteger la integridad humana de los posibles efectos nocivos de la manipulación inadecuada del ADN (Asamblea General de la Asociación Médica, 2004; Berg et al., 1975).

Aunque el Dr. He Jiankui fue el principal responsable de este controvertido procedimiento, en cual se modificaron genéticamente células germinales para suprimir un

STHEPANIE IRAIZ NUÑEZ-OLVERA

Licenciada en enfermería por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM-Iztacala). Maestra en Ciencias Genómicas en la Universidad Autónoma de la Ciudad de México (UACM). Actualmente es doctorante en bioquímica en la UNAM, becaria CONAHCYT y trabaja en el proyecto "análisis de expresión génica y análisis de interacciones tridimensionales de cromatina (4C-seq) usando como modelo de estudio los cultivos 3D de cáncer de mama".
Su publicación mas reciente: "Breast Cancer Cells Reprogram the Oncogenic IncRNAs/mRNAs Coexpression Networks in Three-Dimensional Microenvironment" (https://www.mdpi.com/2073-4409/11/21/3458)

gen que codifica un correceptor llamado CCR5 fundamental para la fusión de las membranas del VIH y los linfocitos T para proteger a estos humanos "mosaico" contra este patógeno.

Si bien existen reportes de modificaciones genómicas en células embrionarias, las cuales generaron un debate bioético (Callaway, 2016; Cyranoski & Reardon, 2015; Lanphier et al., 2015), estos experimentos nunca estuvieron pensados para nacer, pues estaban pensados en el contexto de la investigación. De igual manera, se tenía constancia de la experimentación en células somáticas, que solo afectaba al paciente. Entonces, ¿por qué el proceder del Dr.He, ha sido tan controversial? La razón radica en que estos embriones engendrados nacieron, llevando consigo una carga genética importante pues estamos frente a la creación de organismos que de seguir el ciclo natural de la vida las modificaciones generadas en el laboratorio se perpetuaran afectando a toda nuestra especie (Cyranoski, 2020).

Esta metodología no es simplemente un preludio apocalíptico, como se podría suponer, ya que la manipulación de otros organismos con fines industriales o económicos, además de contar con iniciativas y legislación, es una realidad de la cual nos servimos en la actualidad (Andrade Sánchez *et al.*, 2022).

Sin embargo, es destacable decir que este evento ha provocado un debate sobre lo que los humanos podemos hacer con nuestro genoma. Aunque algunos países, como el nuestro, tienen leyes para regular la manipulación genética, estas no consideran al ser humano como un organismo modificado, lo que deja un vacío legal, en nuestro país (Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados, 2005). Es necesario, por tanto, una regulación adecuada para manejar los avances en este campo (Chan & Medina Arellano, 2018), ya que los primeros pasos ya se han dado, y debemos decidir si queremos dirigir nuestra evolución o dejar que solo la selección natural actúe (Canac *et al.*, 2022; Nuñez-Muñoz *et al.*, 2021). Independientemente de la dirección que tomemos, debemos de estar preparados para un cambio de dirección y, sobre todo, para nuevas evidencias y reportes sobre la modificación del genoma humano, pues a fin de cuentas ya estamos modificando a nuestra conveniencia otros organismos. UP

Referencias

Hammond, A., Galizi, R., Kyrou, K., Simoni, A., Siniscalchi, C., Katsanos, D., Gribble, M., Baker, D., Marois, E., Russell, S., Burt, A., Windbichler, N., Crisanti, A., & Nolan, T. (2016). A CRISPR-Cas9 gene drive system targeting female reproduction in the malaria mosquito vector Anopheles gambiae.
Nature Biotechnology, 34(1), 78–83. https://doi.org/10.1038/nbt.3439
Li, C., Brant, E., Budak, H., & Zhang, B. (2021). CRISPR/Cas: a Nobel Prize award-winning precise genome editing technology for gene therapy and crop improvement. *Journal of Zhejiang University-SCIENCE B*, 22(4), 253–284. https://doi.org/10.1631/jzus.B2100009
Panko, B. (2016). Gene-edited cattle produce no horns. Science. https://doi.org/10.1126/science.aaf9982
Stadtmauer, E. A., Fraietta, J. A., Davis, M. M., Cohen, A. D., Weber, K. L., Lancaster, E., Mangan, P. A., Kulikovskaya, I., Gupta, M., Chen, F., Tian, L., Gonzalez, V. E., Xu, J., Jung, I., Melenhorst, J. J., Plesa, G., Shea, J., Matlawski, T., Cervini, A., . . . June, C. H. (2020). CRISPR-engineered T cells in patients with refractory cancer. *Science*, 367(6481). https://doi.org/10.1126/science.aba7365
Cyranoski, D. (2020). What CRISPR-baby prison sentences mean for research. *Nature*, 577(7789), 154–155. https://doi.org/10.1038/d41586-020-00001-y

Recibido: 28.08.2022 • **Aceptado:** 02.12.2024

Palabras clave: Investigación, Veterinaria, Genética.

Sistema **CRISPR** y su aplicación en medicina veterinaria

LUIS OSCAR TOVAR GAMBOA
A301252@alumnos.uaslp.mx
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA, UASLP
DELIA XOCHIL VEGA MANRÍQUEZ
xochitl.vega@uaslp.mx
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA, UASLP
FERNANDO ALBERTO MUÑOZ TENERÍA
fernando.munoz@uaslp.mx
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA, UASLP

Existen virus capaces de infectar a las bacterias, forzándolas a evolucionar para protegerse. Con este fin desarrollaron el sistema CRISPR- Cas, que consiste en almacenar pequeñas copias de genes virales que antes han infectado a la bacteria, para así identificarlos e inactivarlos en una infección posterior. Esta capacidad de alterar genes específicos se ha convertido en una herramienta de edición genética para los científicos, dando lugar a investigaciones que buscan combatir el cáncer, así como las enfermedades infecciosas y degenerativas en la medicina veterinaria.

La manipulación genética de los seres vivos es un tema recurrente en las ciencias biológicas. Dentro de la ciencia ficción, podemos encontrar innumerables historias que se nutren del conocimiento derivado de esta tecnología para crear narrativas. Ejemplo de ello son las jerarquías preestablecidas desde el genoma en la distopía Un mundo feliz, de Aldous Huxley, así como los clones de la saga Star Wars. Sin embargo, la manipulación genética trasciende la simple ciencia ficción, ya que forma parte de la historia de la humanidad, tanto pasada como actual.

Desde tiempos remotos, el ser humano ha modificado la genética de plantas y animales mediante la selección artificial. Un ejemplo de ello fue el caso del lobo gris donde. Según el doctor Xavier Manteca Villanova, en su libro Etología Veterinaria, al seleccionar a los individuos más dóciles gradualmente se logró su domesticación, dando origen al perro doméstico. En el caso de las plantas, los pueblos originarios de Mesoamérica llevaron a cabo la selección de semillas de teosinte, predecesor silvestre del maíz, lo que permitió desarrollar una mazorca con granos más grandes, numerosos y un mayor contenido energético. A pesar de ser algo que el ser humano ha practicado desde las primeras civilizaciones, en las últimas décadas la manipulación genética ha avanzado de manera exponencial gracias a los avances en la biología molecular, como el descubrimiento de la estructura del ADN, el desarrollo de técnicas moleculares como la secuenciación y la amplificación en cadena de la polimerasa (PCR), clonación y otros grandes avances en la genética molecular.

En los últimos tiempos ha cobrado relevancia la técnica conocida como sistema de repeticiones palindrómicas repetidas apareadas (CRISPR, por sus siglas en inglés). Este descubrimiento tiene su origen en 1987, cuando se observó que ciertas bacterias contenían en su genoma secuencias repetitivas de ADN, utilizadas para identificar y diferenciar especies y cepas bacterianas. Posteriormente, se descubrió que estas secuencias eran homologas a las de algunos virus que infectan bacterias, lo que les confería protección contra aquellos virus con secuencias similares. Su función consiste en generar una memoria inmunológica que protege a las bacterias contra futuras infecciones virales.

Sistema CRISPR-Cas9 en bacterias

El mecanismo mediante el cual las bacterias utilizan el sistema CRISPR se basa en lo que ocurre durante una primera infección. Cuando el virus inyecta su material genético en la bacteria, esto puede derivar en una replicación viral y la posterior destrucción de la célula bacteriana. Sin embargo, las bacterias pueden evitar la replicación viral utilizando el sistema CRISPR-Cas9 para identificar el material genético del virus, cortarlo e integrar fragmentos virales en regiones específicas de su genoma, conformadas por secuencias repetitivas que contienen fragmentos de ADN viral intercalados con espaciadores, denominadas CRISPR. Este mecanismo puede heredarse, generando así una "memoria inmunológica". Una vez que la bacteria es nuevamente infectada por el virus, la información guardada en el sistema CRISPR permite generar una copia de ARN homóloga a

los fragmentos del genoma viral. Esto permite la unión al material genético del virus infectante y activa las proteínas Cas, que cortan e inactivan el material viral.

Sistema CRISPR-Cas9 en la edición genética

Los investigadores, al estudiar el mecanismo descrito anteriormente, pensaron que podría tener una gran utilidad para la edición genética. Dado que el sistema CRISPR-Cas9 tiene la capacidad de reconocer y cortar genes específicos, se dedujo que puede utilizarse para eliminar, inactivar, sustituir o insertar genes específicos de interés con un grado de precisión nunca antes logrado.

Además, esta tecnología tiene la ventaja de ser relativamente económica, lo que permite llevar a cabo los experimentos con un menor presupuesto, en comparación con el requerido para otras técnicas de manipulación genética. Esto ha permitido a científicos de todo el mundo realizar investigaciones relacionadas con la genética, incluyendo en el panorama mundial a equipos de investigación de países en vías de desarrollo, los cuales, en el pasado, no podían acceder al mismo grado de tecnificación que sus homólogos de países desarrollados.

Por supuesto, esta tecnología ha tenido una gran aceptación en diferentes áreas de las ciencias médicas y biológicas y la medicina veterinaria no se ha quedado atrás.

Edición genética para combatir enfermedades infecciosas

La prevención, control y tratamiento de enfermedades representan un prometedor uso de la edición genética.

La brucelosis es una enfermedad infecciosa que afecta a diversas especies domésticas, como los bovinos y caprinos. Se trata de una enfermedad zoonótica, lo que significa que los animales puede transmitir e infectar al ser humano. Es causada por distintas especies del género Brucella, bacterias que poseen adaptaciones que les permiten vivir como patógenos intracelulares facultativos dentro de los macrófagos del sistema inmunológico. Esta enfermedad puede causar endocarditis, infertilidad, meningitis y abortos. Hasta la fecha, no existe una vacuna que prevenga de forma eficaz la brucelosis en humanos o animales; además, los tratamientos con antibióticos resultan costosos, con el riesgo de presentar reacciones adversas y, en México, la NOM-041-ZOO-1995 prohíbe dar tratamiento en animales destinados al consumo.

Investigadores de la Universidad de Thessaloniki, de Grecia, han desarrollado una técnica para combatir esta infección mediante la manipulación de los genes de la bacteria. A través de vectores lentivirales introducen el complejo CRISPR-Cas9 a las bacterias del género Brucella, de manera que las proteínas Cas se encargan de inactivar los genes de la célula que le confieren la capacidad de infectar al hospedador, permitiendo al organismo controlar la infección. Si bien, la terapia está aún en desarrollo, los investigadores sugieren que esta podría ser una alternativa para tratar no sólo la brucelosis, sino también otras infecciones bacterianas que atacan al sistema inmunológico de manera similar.

Otra enfermedad que podría ser combatida con ingeniería genética es la peste porcina africana. Se trata de una enfermedad viral con un alto grado de mortalidad y rápida propagación que afecta a más de 50 países al rededor del mundo. A pesar de ser mortal para el cerdo doméstico, los jabalíes silvestres son naturalmente inmunes a la enfermedad. Al no haber una vacuna, un equipo del instituto Roslin de Edimburgo llevan a cabo investigaciones utilizando el complejo CRISPR-Cas9 para introducir en el genoma de los cerdos domésticos los genes que posee el jabalí y le confieran resistencia a esta enfermedad, lo cual podría significar un avance sin precedentes en su erradicación.

El papel de CRISPR-Cas9 en la obtención de biomodelos para combatir el cáncer

El cáncer es una enfermedad en la que los mecanismos de regulación del ciclo celular están alterados, lo que resulta en una proliferación celular descontrolada con capacidad invasiva, lo que da como consecuencia mutaciones en el ADN en las cuales se expresan los oncogenes mientras se inactivan aquellos genes encargados de regular el ciclo celular y suprimir tumores. Estas alteraciones en el genoma pueden ser consecuencia de procesos infecciosos, factores epigenéticos o heredarse genéticamente.

Una de las aplicaciones más importantes de la tecnología CRISPR en la investigación médica se da en la obtención de biomodelos animales, generados a partir de la modificación de genes relacionados al desarrollo de patologías específicas, lo que permite estudiar la patogenia de las enfermedades in vivo. En particular, en el caso del cáncer, las técnicas de edición genética basadas en

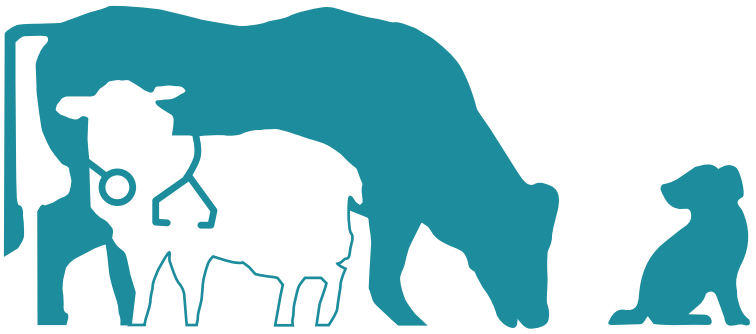
la tecnología CRISPR han ayudado a comprender a mayor profundidad, los mecanismos genéticos y moleculares in vivo.

Por lo tanto, identificar los genes relacionados al desarrollo del cáncer, así como estudiar los procesos de fisiología celular que estos genes alteran, son de vital importancia tanto para la prevención del cáncer como el desarrollo de tratamientos efectivos para combatirlo. Aunque la identificación y manipulación de estos genes ya era posible con las técnicas de biología molecular disponibles antes del desarrollo de la tecnología de edición genética CRISPR, estudiar la patogénesis del cáncer (desde la mutación inicial, la promoción y la progresión del tumor) era a base de procesos más complejos, lentos y costosos, que, además, tienen una precisión molecular mucho menor que la tecnología CRISPR.

Un ejemplo de lo anterior se dio en los laboratorios de Zhang y Sharp en una investigación que aplicó la tecnología CRISPR, en la cual participaron el MIT (Instituto Tecnológico de Massachusets) y el Instituto Broad. En este trabajo, se estudió la dinámica de los genes KRAS, p53 y LKB1, previamente identificados como genes fundamentales involucrados en el adenocarcinoma pulmonar. Por medio de la trasfección de ARN guía, específico de estos genes, en cultivos celulares y ratones, utilizando la técnica de CRISPR-Cas9, se inactivaron los tres genes en cuestión, dando como resultado el desarrollo de tumores en los tejidos estudiados, lo que permitió analizar y describir con mayor detalle la patogénesis de este tipo de cáncer. Esto es de la mayor relevancia, ya que estudiar la carcinogénesis con la participación de dos o más mutaciones había sido difícil por la limitación y baja precisión de las técnicas moleculares preexistentes que, al estudiar mutaciones de diversos genes involucrados, era común que se den mutaciones accidentales por la menor precisión, lo cual se evita al utilizar la tecnología CRISPR que posee una alta especificidad en la edición de genes.

La aplicación de esta tecnología, que ha permitido la obtención de nuevos biomodelos para la investigación oncológica, está proporcionando una comprensión cada vez mayor del cáncer, lo cual ha permitido mejorar sustancialmente los tratamientos existentes, así como el desarrollo de nuevos fármacos y enfoques terapéuticos de precisión.

La capacidad del sistema CRISPR para cortar fracmentos específicos de ADN, ha permitido que se utilice como herramienta de edición genética en microorganismos, plantas y animales



LUIS OSCAR TOVAR GAMBOA

Estudiante del 9o. semestre de la licenciatura en médico veterinario zootecnista (MVZ) de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Miembro fundador del grupo de divulgación de Ciencia Acacia, que integra a estudiantes de las diferentes carreras de la Facultad de Agronomía y Veterinaria

CRISPR como tratamiento de enfermedades degenerativas

Las enfermedades degenerativas se caracterizan por una pérdida progresiva de algunas funciones y, generalmente, están relacionadas con mutaciones genéticas. Debido a su naturaleza, se consideran incurables, pues no existen tratamientos aprobados que hayan demostrado detener y revertir definitivamente su avance. Sin embargo, existen investigaciones en desarrollo para crear terapias más precisas y efectivas para estas enfermedades. Una de estas alternativas terapéuticas en desarrollo con la tecnología CRISPR se enfoca en la distrofia de Duchenne, una enfermedad degenerativa que provoca la pérdida de la función muscular del corazón y el sistema músculo esquelético. Es relativamente frecuente en los hombres y, al no tener cura conocida, es progresiva hasta la muerte del paciente. Es causada por una mutación en el gen llamado DMD, que, al ser expresado, da lugar a la producción de una proteína llamada distrofina, la cual juega un papel esencial en la integridad de la membrana de las células musculares.

En 2015, un grupo de investigación encontró que era posible revertir parcialmente la distrofia de Duchenne en ratones de distintas edades al corregir la mutación en el gen DMD, entre el 2 % y el 100 %, dando como resultado la síntesis de distrofina funcional en organismos vivos, tanto al aplicar el tratamiento de manera local como general. Posteriormente, en 2018 esta línea de investigación dio un avance muy significativo, ya que un equipo de la universidad de Texas logró revertir la enfermedad en un grupo de cachorros al inyectar este tratamiento basado en CRISPR al torrente sanguíneo. Esto fue un gran avance médico, pues fue la primera vez que se utilizó dicha técnica en animales domésticos, lo cual podría ser la antesala para poder iniciar los ensayos clínicos en humanos y lograr así que la distrofia de Duchenne ya no sea una enfermedad mortal e incurable.

Conclusión

La utilización de la edición genética mediante la tecnología CRISPR en las ciencias médicas ofrece un amplio abanico de posibilidades. En la medicina veterinaria, esta tecnología puede aplicarse a diversos campos, tales como la salud pública, al prevenir infecciones zoonóticas de importancia para la población humana debido a la mortalidad y morbilidad que ocasionan. También puede ser utilizada para contrarrestar enfermedades de importancia en la producción animal que tienen un efecto importante en la seguridad alimentaria de la población. Asimismo, otra área de la medicina veterinaria donde adquiere importancia la aplicación de CRISPR es al generar nuevos biomodelos que permitan estudiar con mayor precisión las enfermedades crónicas degenerativas y oncológicas. Y, por último, la aplicación de herramientas de edición genética a la medicina veterinaria permitirá que los animales domésticos puedan acceder a tratamientos efectivos para enfermedades que anteriormente derivaban en eutanasia. Todos estos avances contribuyen al trabajo del gremio veterinario en cuidar del bienestar animal y velar por la salud pública, previniendo la zoonosis. UP

Referencias bibliográficas:

Karponi, G. (2019). Development of a CRISPR/Cas9 system against ruminant animal brucellosis. *BMC Veterinary Research*.

Leonela Amoasii, J. C.-O.-R.-D. (2018). Gene editing restores dystrophin expression in a canine model of Duchenne muscular dystrophy. *Science*, 86- 91.

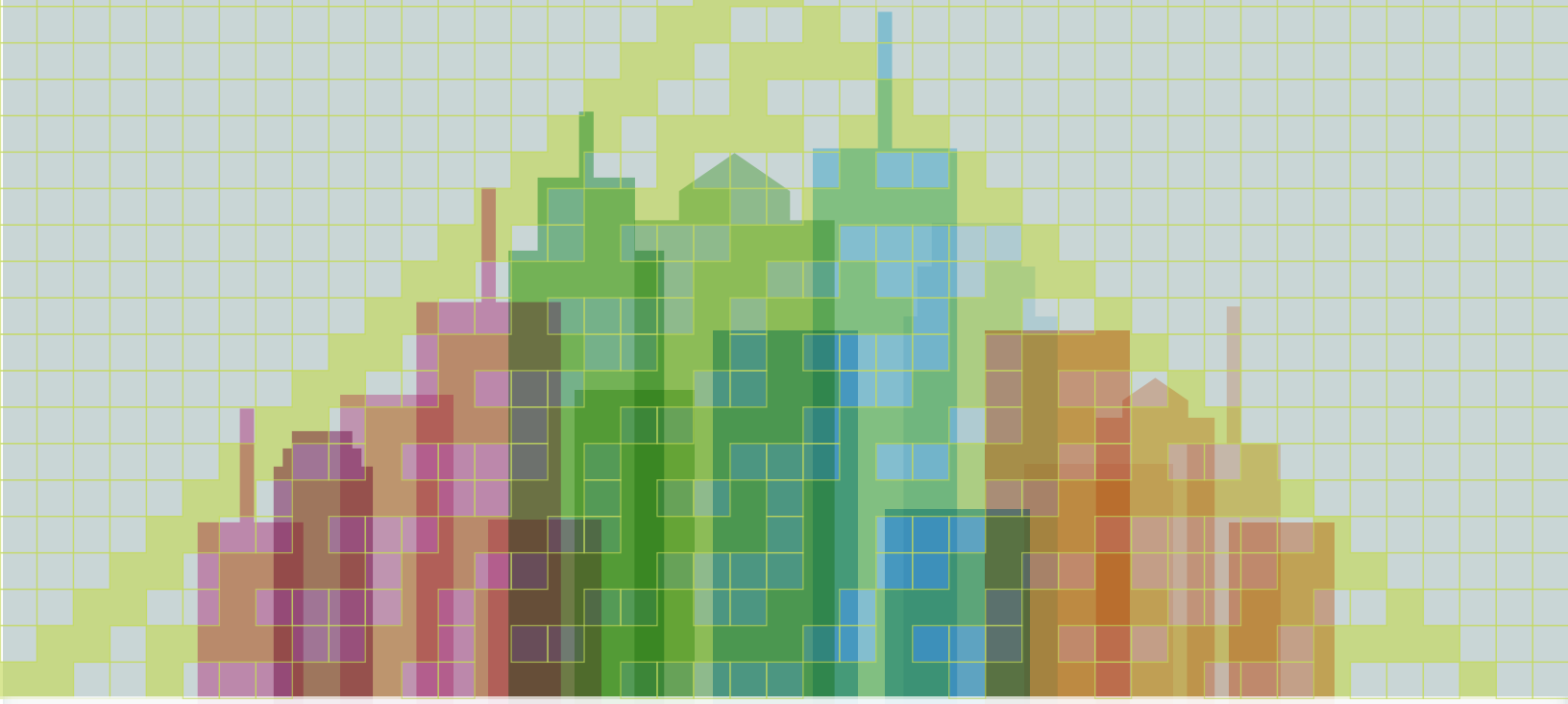
Lillico, S. G. (2016). Mammalian interspecies substitution of immune modulatory alleles by genome editing. Scientific Reports.

Montoliú, L. (2016). La revolución CRISPR también en la granja. *Profesión veterinaria*, 62-69.

Randall J. Platt, S. C. (2014). CRISPR-Cas9 Knockin Mice for Genome Editing and Cancer Modeling. Cell, 440-455.

Recibido: 27.03.2023 • **Aceptado:** 06.12.2024

Palabras clave: Autómata Celular, Modelos Matemáticos, Ciudad.



Autómatas celulares: herramienta matemática aplicada al crecimiento de ciudades

EDUARDO JIMÉNEZ LÓPEZ
ejimenezl@uaemex.mx
CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE ESTUDIOS AVANZADOS DE LA POBLACIÓN (CIEAP) DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO (UAEMex)
ERIC CAMPOS CANTÓN
Eric.campos@ipicyt.edu.mx
INSTITUTO POTOSINO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNÓLOGICA, A.C.

El crecimiento urbano ha ganado relevancia en los últimos años debido al aumento de la población y la reducción de áreas verdes. Las ciudades experimentan crecimiento en sus periferias, donde escasean los servicios básicos, esto impulsa la investigación sobre su desarrollo sostenible mediante modelos matemáticos predictivos. Los autómatas celulares son una técnica útil en la toma de decisiones sobre el crecimiento urbano, fundamentales para el desarrollo económico y social de la población. Son sistemas que interactúan en el tiempo y el espacio, capaces de simular comportamientos complejos a partir de dinámicas simples. Su aplicación en la planificación urbana permite comprender el comportamiento territorial y las necesidades de nuevos asentamientos.

El crecimiento urbano ha cobrado relevancia en las últimas décadas debido al aumento poblacional y a la reducción de zonas verdes, que son los pulmones de las ciudades. Por otro lado, en estas, se generan anillos periféricos debido a la presencia de habitantes que carecen de servicios básicos y oportunidades de desarrollo. Esto motiva el interés por estudiar las ciudades en el campo del desarrollo sostenible, buscando desarrollar modelos predictivos que indiquen hacia dónde podría extenderse (Figura 1) (Jiménez López *et al*., 2018).

Quizás la ciudad sea el descubrimiento más significativo en la historia de la humanidad. El mundo del siglo XXI es un universo de urbes, clasificadas según su importancia jerárquica, donde se decide el porvenir de las naciones y sus áreas geográficas. Las ciudades son un recurso estratégico para las comunidades, ya que funcionan como impulsores esenciales del desarrollo económico y el progreso humano. Para desempeñar de manera efectiva su papel, deben planificarse meticulosamente, asegurando su sostenibilidad y respaldándolas con un campo de investigación sólido.

Figura 1.
Crecimiento de la Ciudad de San Luis Potosí.

Las ciudades son el resultado del acuerdo social; su planificación debe fundamentarse en procesos de consulta y diseño colectivos. No obstante, es improbable que los ciudadanos puedan contribuir de manera activa e informada al diseño de la metrópoli sin acceso a avances científicos y tecnologías digitales avanzadas. En México y en numerosos países, la planificación de las ciudades se encuentra rezagada en este aspecto. Es imprescindible desarrollar nuevas técnicas y mejores herramientas para respaldar la toma de decisiones en el crecimiento de las ciudades, particularmente a escala local. En un mundo que depende de sus ciudades, resulta cada vez más necesario contar con modelos urbanos interactivos y prácticos, respaldados por conocimientos especializados, herramientas modernas y tecnologías de frontera, que faciliten procesos colectivos de consulta y asesoramiento.

En el desarrollo sostenible, la planificación urbana requiere la combinación de diversas acciones, mediante un enfoque transdisciplinario de sistemas en múltiples niveles de escala, diagnósticos amplios e instrumentos de gestión gubernamental. El término "sostenible" no implica detener el crecimiento, sino planificar formas de lograrlo en armonía con el medio ambiente y con un compromiso social que fomente un desarrollo urbano basado en la justicia y la equidad, garantizando un desarrollo integral y genuino para sus habitantes.

Definiendo el término "autómatas celulares"

Los autómatas celulares (AC) son una herramienta útil para el estudio y modelado matemático del crecimiento urbano. Los AC son sistemas dinámicos discretos, cuyos elementos interactúan constantemente entre sí, tanto en el espacio como en el tiempo. Además, poseen la capacidad de representar comportamientos complejos a partir de dinámicas sencillas; por ello, es posible utilizar los AC para simular el comportamiento global de las ciudades con base en fenómenos locales. Los comportamientos motivados por fenómenos locales pueden describirse mediante mapas de bits o mapas ráster que representan cada píxel o unidad de estudio. De este modo, es posible modelar diversos fenómenos físicos y sociales que ocurren a nivel local. El comportamiento local debe ajustarse al comportamiento global, representado por las tasas de crecimiento identificadas en pasos de tiempo determinados (Garrocho *et al*., 2021). Un AC evoluciona en una cuadrícula donde cada cuadro es una celda del sistema. Para su evolución, considera tanto a sus vecinos de la izquierda y derecha como a los de arriba y abajo (ver Figura 2).

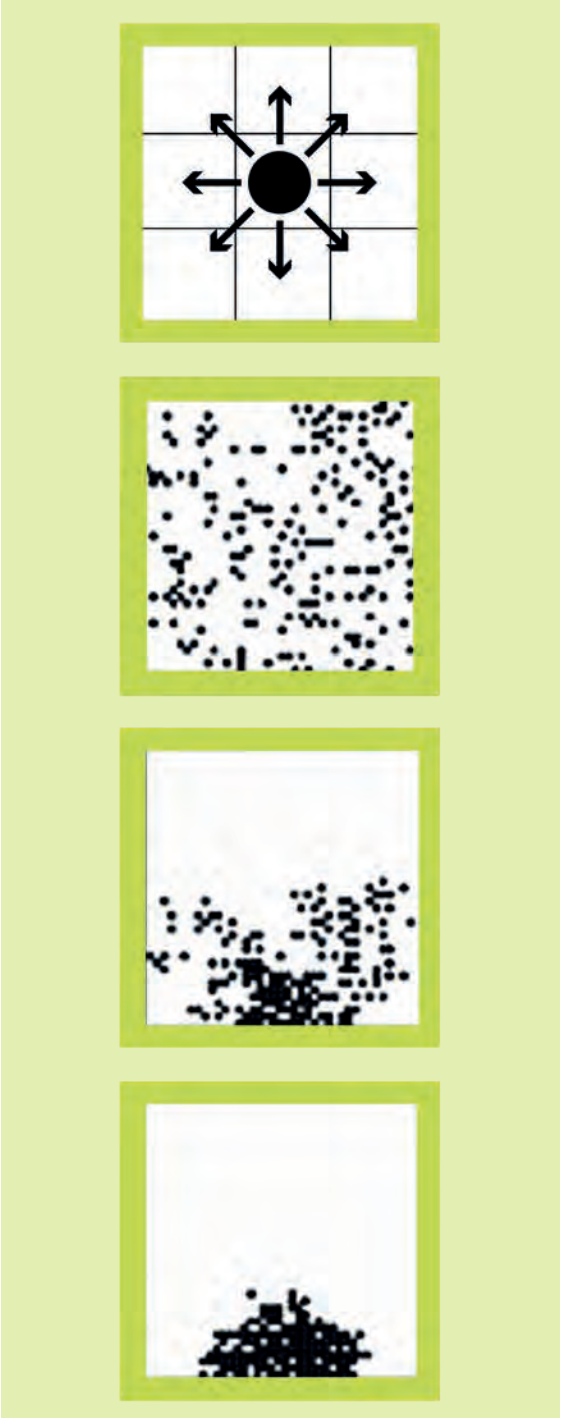


Figura 2.
Evolución de un AC en una cuadricula.

La aplicación de modelos de AC para la proyección de futuros escenarios en el crecimiento de ciudades se destaca como una magnífica herramienta de apoyo en la toma de decisiones espaciales dentro del contexto de la planificación urbana. La metodología de los AC es particularmente relevante en la fase de diagnóstico territorial, ya que permite extraer nuevos conocimientos que facilitan el avance en la formulación de propuestas destinadas a promover la planificación urbana a nivel local.

Disponer de esta información es especialmente relevante para que los responsables de tomar decisiones puedan examinar el espacio donde se ubicará el crecimiento, obteniendo una estimación de las necesidades de estos nuevos asentamientos poblacionales. De este modo, es posible promover modificaciones destinadas a impulsar la expansión urbana en zonas con características propicias para el desarrollo de dicho uso del suelo, con la finalidad de mejorar la calidad de vida de los habitantes.

La integración de los AC con los Sistemas de Información geográfica (SIG) permite realizar análisis espaciales complejos. Mediante la automatización del modelo, se determinan modificaciones en los usos del suelo, donde se analizan y vinculan factores que impulsan o restringen el cambio.

El desarrollo científico y tecnológico a partir de los autómatas celulares

En 1940, John von Neumann desarrolló la primera etapa de los autómatas celulares, basándose en las ideas de Stanislaw Ulam. Ambos investigadores exploraron la posibilidad de construir máquinas capaces de producir copias exactas de sí mismas. Posterior a la primera etapa de los AC, en 1970 John Conway creó un juego conocido como "El juego de la vida" (*Life*), utilizando AC que evolucionan en una cuadrícula (*lattice bidimensional*). El juego fue presentado por Martin Gardner en su columna *Mathematical Games* de la revista *Scientific American*. *Life* no es, estrictamente hablando, un juego, pues en él nadie decide nada ni tampoco interviene el azar. *Life* es un mundo artificial que evoluciona de acuerdo con reglas preestablecidas, considerando las ocho celdas vecinas de cada celda. Estas incluyen las cuatro celdas consideradas por Neumann y las cuatro diagonales. El proceso inicia determinando algunas casillas iniciales que contienen células con o sin "vida", para observar la evolución del lattice bidimensional.

La construcción original de von Neumann de un arreglo celular autorreproductivo requería que cada célula de un espacio celular, representado por una cuadrícula bidimensional, soportara un conjunto de 29 estados. El arreglo en sí mismo requería aproximadamente 200,000 células. Además, el estado de cada célula del arreglo, localizada en una posición (i,j), donde i es la columna y j es el renglón, en un tiempo t, está determinado por los valores de los estados de las células ubicadas en las posiciones iniciales y por el estado de la célula central en esa posición (Aguilera, 2006). Cada célula del arreglo, en algún momento, será la célula central, que, junto con las células ubicadas arriba, abajo, a la derecha y a la izquierda conforman una vecindad de von Neumann. Las interacciones locales de las vecindades, a lo largo del tiempo, determinan el estado global del arreglo, que se actualiza de manera sincrónica en cada instante (ver Figura 3).

En 1979, Waldo R. Tobler fue el primero en proponer los autómatas celulares para el modelado de procesos geográficos. Poco tiempo después, Helen Couclelis utilizó las ideas desarrolladas para explorar la naturaleza dinámica del espacio urbano y su influencia en la formación de patrones espaciales en las ciudades (Couclelis, 1997). Esto sentó las bases teóricas para la implementación de los autómatas celulares urbanos. En la década de los 80, Stephen Wolfram demostró que los autómatas celulares son capaces de reproducir dinámicas complejas a escala global o a partir de interacciones locales. Estos hallazgos se integraron para desarrollar una idea general sobre la utilidad de los autómatas celulares en los sistemas de información geográfica (SIG's) (Ver Figura 4).

Figura 3.
Juego de la vida.

EDUARDO JIMÉNEZ LÓPEZ

Doctor en Ciencias Aplicadas en la Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Es profesor-investigador en el Centro de Investigación y Estudios Avanzados de la Población (CIEAP) de la UAEMex y es miembro del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SNII), nivel I.

Los autómatas celulares y su relación con la ciudad

Las fortalezas y debilidades de los modelos de autómatas celulares urbanos se encuentran entre el realismo y la conservación de las propiedades del sistema. Estos modelos poseen una gran flexibilidad para adaptarse a nuevas configuraciones, lo que facilita la formulación de reglas de transición con un poder explicativo mayor y ajustado a la realidad. La principal debilidad radica en la disponibilidad de imágenes, ya que la gran mayoría de los datos de análisis provienen de imágenes satelitales del área urbana en estudio. Además, la oferta de software adecuado para realizar la simulación de este modelo es limitada, aunque los resultados obtenidos suelen ser precisos. Por lo tanto, una oportunidad de mejora consiste en desarrollar métodos más eficaces de calibración y validación para producir modelos más fiables y accesibles para el usuario final. En conclusión, la literatura ofrece diversas sugerencias, algunas de ellas muy sofisticadas, sobre cómo construir modelos de autómatas celulares. Las aportaciones son muy valiosas porque plantean nuevas preguntas de investigación; Sin embargo, con frecuencia generan efectos colaterales, como la complejidad y el encarecimiento de la aplicabilidad de los modelos en el mundo real. Es fundamental garantizar que los modelos de simulación sean verdaderamente útiles en la investigación, la docencia y, en general, en el mundo real, evitando estructuras metodológicas enmarañadas, pesadas y costosas que terminan siendo poco efectivas para mejorar nuestras ciudades.

El uso de modelos matemáticos y su implementación informática resulta especialmente beneficioso para anticipar el desarrollo de la ciudad. La modelación permite generar escenarios virtuales que facilitan la comprobación de hipótesis sobre la dinámica de sistemas de interés social. En ciertas situaciones, también pueden poseer validez numérica, lo que posibilita su uso como instrumentos de predicción. El software necesario para su implementación es cada vez más accesible, lo que lo convierte en un lenguaje común para expertos de diferentes campos interesados en un problema compartido. UP

Referencias bibliográficas:

Aguilera, F. (2006). Predicción del crecimiento urbano mediante sistemas de información geográfica y modelos basados en autómatas celulares. Madrid, España: *Geofocus*.

Couclelis, H. (1997), From cellular automata to urban models: new principles for model development and implementation. New York. Environment and planning B: *Planning and design*.

Garrocho, C. Jiménez López, E. Chávez Soto, T. (2021). Autómata Celular Metro-NASZ: laboratorio experimental de expansión urbana, CDMX: *La situación demográfica de México*.

Jiménez López, E. Garrocho, C. Chávez Soto, T. (2018). Modelando la expansión urbana con Autómatas Celulares: Aplicación de la Estación de Inteligencia Territorial (CHRISTALLER). *Lujan, Argentina: Geografía y Sistemas de Información Geográfica*.

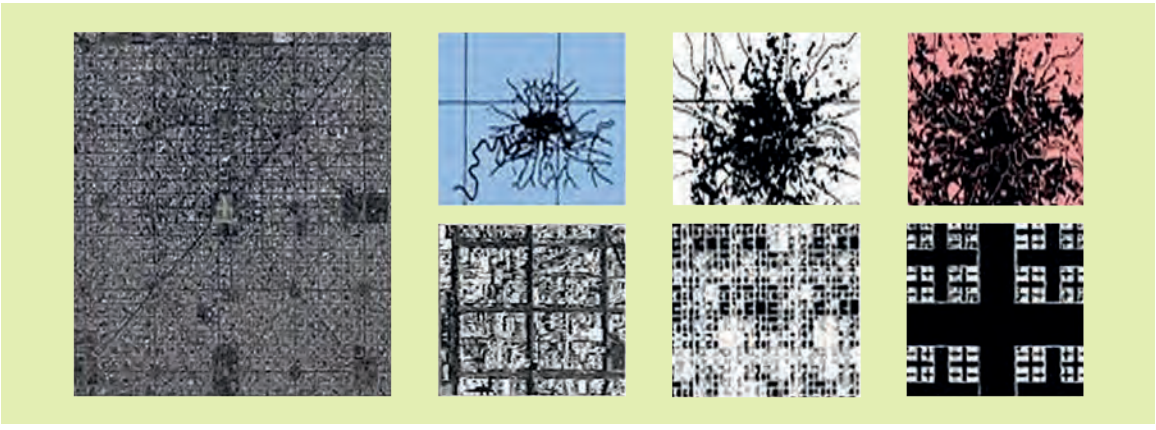


Figura 4.
Autómatas celulares urbanos.

Recibido: 08.02.2024 • **Aceptado:** 16.12.2024

Palabras clave: Hongos, metales pesados, contaminación, mecanismos de biorremediación.

Los hongos, microorganismos que ayudan en la descontaminación de ambientes contaminados con metales pesados

AMAURI PONCE HERNÁNDEZ
amauri.ponce@uaslp.mx
FACULTAD DE ESTUDIOS PROFESIONALES ZONA HUASTECA, UASLP
CANDY CARRANZA ÁLVAREZ
candy.carranza@uaslp.mx
FACULTAD DE ESTUDIOS PROFESIONALES ZONA HUASTECA, UASLP
DOMINGO MARTÍNEZ SOTO
dmartinez@cicese.edu.mx
DEPARTAMENTO DE MICROBIOLOGÍA, CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y DE EDUCACIÓN SUPERIOR DE ENSENADA

Los metales pesados se encuentran naturalmente en el ambiente. Sin embargo, el aumento de las actividades antropogénicas ha causado su acumulación en concentraciones toxicas en diversos ecosistemas, ocasionando problemas de salud pública. En México, se ha reportado la presencia de estos metales en cuerpos de agua, sedimentos, suelos y aire; principalmente en zonas urbanas, industriales, ambientes costeros y marinos. La presencia de los metales en el ambiente se debe principalmente a actividades como la minería, agricultura, industria y el uso de automóviles. Para contrarrestar este problema se ha utilizado a los hongos, organismos que tienen alta capacidad de adaptación y resistencia a diferentes tipos de estrés. Este trabajo presenta una breve pero profunda revisión, sobre como los hongos ayudan a biorremediar ambientes contaminados con metales pesados.

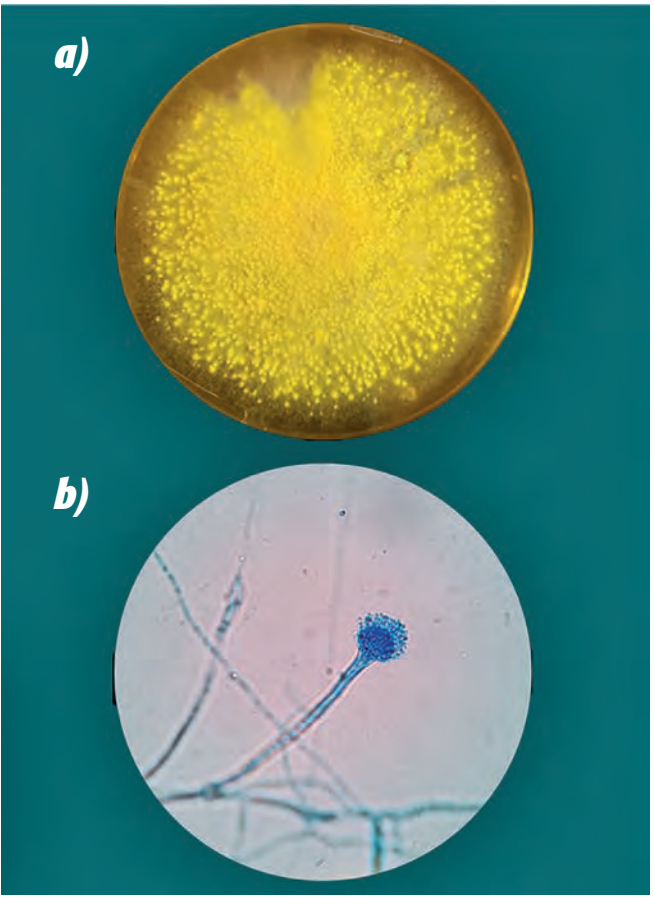


Figura 1.
Características de un hongo filamentoso creciendo en concentraciones tóxicas de cadmio (Cd). *a)* Colonia fúngica y *b)* Estructura reproductiva (conidióforo) de un hongo creciendo en medio contaminado con 8 miligramos por kilogramo de Cd.

¿Qué son los hongos?

Los hongos son organismos eucariotas, es decir, células que presentan uno o más núcleos y organelos delimitados por membranas, los cuales cumplen funciones específicas para el funcionamiento de las células fúngicas. Estos hongos son cosmopolitas, ya que se encuentran en una amplia variedad de hábitats: en el suelo, el agua, el aire, en ambientes abiertos o cerrados, en la superficie de diferentes objetos, incluso en animales y plantas. Esto se debe a su alta capacidad de adaptación, lo que les permite resistir y sobrevivir bajo diferentes tipos de estrés, tales como la presencia de metales pesados (MP) (Figura 1), temperaturas extremas, diferentes condiciones atmosféricas, altas concentraciones de salinidad, acidez, entre otros.

La biorremediación hace referencia al uso de organismos vivos (como plantas, bacterias, hongos o algas) para restaurar sitios contaminados. En este trabajo se describe el papel de los hongos como organismos biorremediadores, resaltando su uso como una estrategia eco-amigable y económica para recuperar suelos y cuerpos de agua afectados por la contaminación con MP.

Contaminación por metales pesados en México

El término "MP" se refiere a metales que poseen un número atómico superior a 20 y un peso mayor a 5 gramos por mililitro. Dentro de los metales pesados, existen aquellos denominados "esenciales", como el magnesio (Mg), cobre (Cu), hierro (Fe) y zinc (Zn), que son usados por los organismos vivos en diversas funciones celulares. Sin embargo, existen otros MP como el plomo (Pb), cadmio (Cd), plata (Ag), litio (Li) y bario (Ba), los cuales son denominados "no esenciales" debido a que no desempeñan una función biológica en los organismos vivos y que, incluso, son tóxicos a bajas concentraciones. Aunque los MP se encuentran naturalmente en el ambiente, el aumento de las actividades antropogénicas ha aumentado su acumulación en el ambiente ocasionando problemas de salud en humanos y en los ecosistemas.

Figura 2.
Principales actividades antropogénicas que generan contaminación por MP en México.

Las principales actividades antropogénicas que contribuyen al aumento de la contaminación por MP incluye la minería, agricultura, industria y el uso de automóviles (Figura 2). En México se ha reportado la presencia de MP en cuerpos de agua, sedimentos y suelos, principalmente en zonas urbanas, industriales, ambientes marinos y en el aire. Incluso se ha reportado la presencia de MP en vegetales y peces. Un estudio reciente realizado por Aguilera et al. (2021) demuestran la presencia de MP en el polvo de ciudades industrializadas como la Ciudad de México, encontrando cantidades importantes de Pb, Zn y Cu. Desafortunadamente, también se ha registrado contaminación por MP en cuerpos de agua en los estados de Baja California Sur, Guanajuato, Guerrero, Jalisco, Michoacán, Puebla, Quintana Roo, Tlaxcala y Zacatecas. La tabla 1 muestra los estados del país con reportes de concentraciones altas de MP en el medio ambiente.

Los hongos limpian ambientes contaminados con metales pesados

Actualmente, existen tecnologías físicas y químicas utilizadas para eliminar MP del agua o del suelo, aunque tienen un alto costo; sin embargo, existen alternativas biológicas amigables con el medio ambiente y económicamente rentables (Figura 3). Una tecnología emergente es la micorremediación, que aprovecha la capacidad de los hongos para absorber, acumular o metabolizar compuestos contaminantes. Por ejemplo, se ha observado que los hongos *Aspergillus terreus, Trichoderma viride, Trichoderma longibrachitum* y *Aspergillus* níger pueden absorber y eliminar Pb, Cd, cromo (Cr) y níquel (Ni) de medios líquidos (Joshi *et al.* 2011). Además, Dusengemungu *et al.* (2020) demostraron que los hongos del género *Aspergillus, Penicillium y Trichoderma* pueden absorber diversos metales. También se ha demostrado que Fusarium sp. puede biorremediar la contaminación por Pb, Cr, Ni y Ag, mientras que los hongos del género Rhizopus y Absidia pueden capturar Pb, Cd, Cu y Zn en su pared celular (Volesky, 1994).

Estados	Medio ambiental	Metal contaminante
Baja California Sur	Agua	Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn
	Sedimento	Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn
Estado de México	Sedimento	Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, Zn
	Suelo	Cr, Cu, Fe, Pb, V, Zn
Guerrero	Agua	Cd, Fe, Mn, Pb, Zn
	Sedimento	Cd, Cu, Fe, Mn, Ni, Sb, Zn
	Suelo	Cd, Cu, Mn, Pb, Zn
Jalisco	Agua	Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb, V, Zn
	Sedimento	Cd, Cu, Fe, Ni, Pb, Zn
Michoacán	Agua	Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn
	Sedimento	Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, Zn
Puebla	Agua	Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb
	Sedimento	Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Zn
Quintana Roo	Agua	Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb, Zn
	Suelo	Cr, Cu, Fe, Pb, Zn
San Luis Potosí	Sedimento	Cr, Cu, Fe, Pb, Sb, Zn
	Suelo	Cu, Fe, Pb, Zn
Zacatecas	Agua	Cr, Cu, Pb, Zn
	Suelo	Cd, Cu, Fe, Mn, Pb, V, Zn

Tabla 1.
Estados de México con mayor contaminación por MP.

Mecanismos de los hongos para la descontaminación de metales pesados

Los hongos han desarrollado mecanismos que les permiten tolerar y absorber metales, los cuales pueden ocurrir en el exterior o interior de la célula fúngica (Figura 4). En el mecanismo externo, los hongos excretar compuestos químicos, conocidos como sideróforos y/o ácidos orgánicos (por ejemplo, ácido cítrico o ácido oxálico), que inactivan a los MP y evitan su movilización en el suelo o agua. Asimismo, la estructura de la pared celular fúngica, compuesta por grupos hidroxilo (-OH), carbonilo (-C=O), amino (-NH2) y fosforilo (O=PO22-) pueden atrapar e inmovilizar MP.

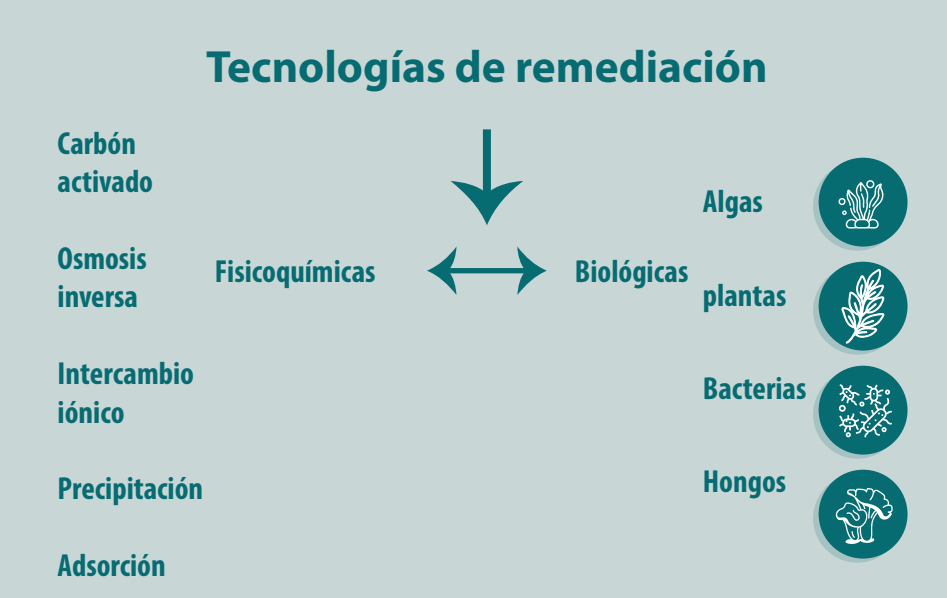


Figura 3.
Principales las tecnologías empleadas para la restauración de sitios contaminados con MP.

El mecanismo interno, por su parte, ocurre una vez que los MP son internalizados en la célula. Dentro de ésta, los MP son atrapados por proteínas, como el glutatión, fitoquelatinas y metalotioneínas, que reducen la toxicidad de los metales y protegen a la célula fúngica de posibles daños. Además, los MP pueden ser internalizados en la vacuola de los hongos mediante proteínas transportadoras presentes en la membrana vacuolar. Estos transportadores promueven el paso de los MP hacia su interior, inmovilizándolos y evitando que produzcan daño a las estructuras celulares del hongo.

Asociación hongo-planta para la biorremediación de metales

Es bien sabido que ciertas plantas, conocidas como "hiperacumuladoras", representan una buena estrategia para restaurar sitios contaminados gracias a su capacidad para tolerar y absorber MP. Además, las relaciones simbióticas, es decir, las interacciones entre las plantas con los microorganismos presentes en la rizosfera, mejoran su capacidad para la descontaminación. En particular, la interacción de plantas hiperacumuladoras de MP con hongos tolerantes a MP podría utilizarse como una estrategia mejorada y efectiva para descontaminar el medio ambiente. En las interacciones simbióticas entre hongos y plantas, ambos organismos se benefician. Por un lado, los hongos promueven un mayor crecimiento de la raíz, así como una mayor acumulación y absorción de MP en las plantas. Por otro lado, las plantas proveen un nicho y nutrientes para el desarrollo de los hongos, además de inmovilizar contaminantes en suelo, disminuyen la toxicidad, y mejoran la tolerancia de los hongos a MP. Por ejemplo, estudios realizados por Sun et al. (2017), mencionan que el hongo Mucor circinelloides mejora la remoción de Pb y el crecimiento en plantas de tomate. Además, se ha reportado que el hongo Exophiala pisciphila incrementa el

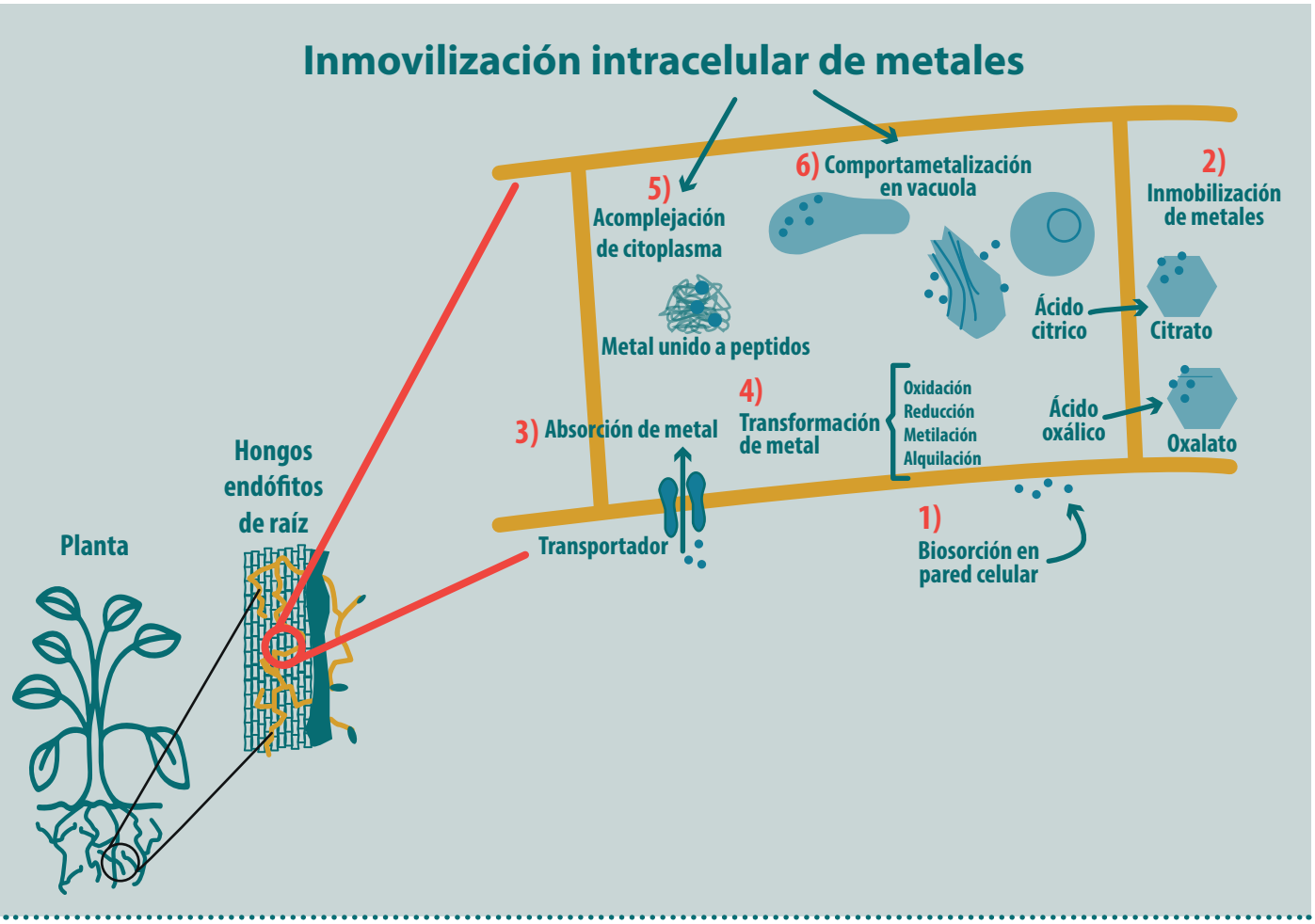


Figura 4.

Mecanismos de desintoxicación empleados por los hongos para la biorremediación de MP. 1, los MP son capturado por grupos funcionales de la pared fúngica. 2, los compuestos químicos liberados por los hongos capturan a los MP y evitan su movilización. 3, los MP son absorbidos hacia el interior de la célula fúngica a través de transportadores de membrana celular. 4, los MP sufren diversas transformaciones químicas que reducen su toxicidad. 5, los MP son inactivados por proteínas producidas por la célula fúngica. 6, los MP son internalizados en la vacuola.

AMAURI PONCE HERNÁNDEZ

Bioquímico por la Facultad de Estudios Profesionales Zona Huasteca de la UASLP. Maestría en Ciencias Químicas por la Facultad de Ciencias Químicas de la UASLP. Profesor Investigador del Programa Educativo de Bioquímica de la Facultad de Estudios Profesionales Zona Huasteca de la UASLP. Actualmente se encuentro trabajando en proyectos relacionados interacción hongo-planta para la biorremediación de ambientes contaminados con metales pesados y agroquímicos tóxicos, así como en la evaluación de compuestos bioactivos de orquídeas medicinales de la Huasteca Potosina.

crecimiento en plantas de maíz y mejora la absorción de Cd en las raíces.

Comentarios finales

La alta contaminación por MP en nuestro país, junto con los riesgos a la salud que ocasionan y las proyecciones que indican un incremento de esta problemática en los próximos años. es necesario buscar estrategias económicas y amigables con la naturaleza que permitan la remoción de MP y otros contaminantes tóxicos. La evidencia científica indica que los hongos son una opción eficiente para restaurar sitios contaminados por MP, gracias a sus de diversos mecanismos, que incluyen la adsorción y acumulación de metales. Considerando que los hongos y las plantas pueden absorber MP y que liberan sustancias que los inmovilizan, la interacción entre ambos puede considerarse como una estrategia novedosa que potencia la restauración de sitios impactados y reduce los problemas graves ocasionados por la contaminación del ambiente con MP. UP

Referencias

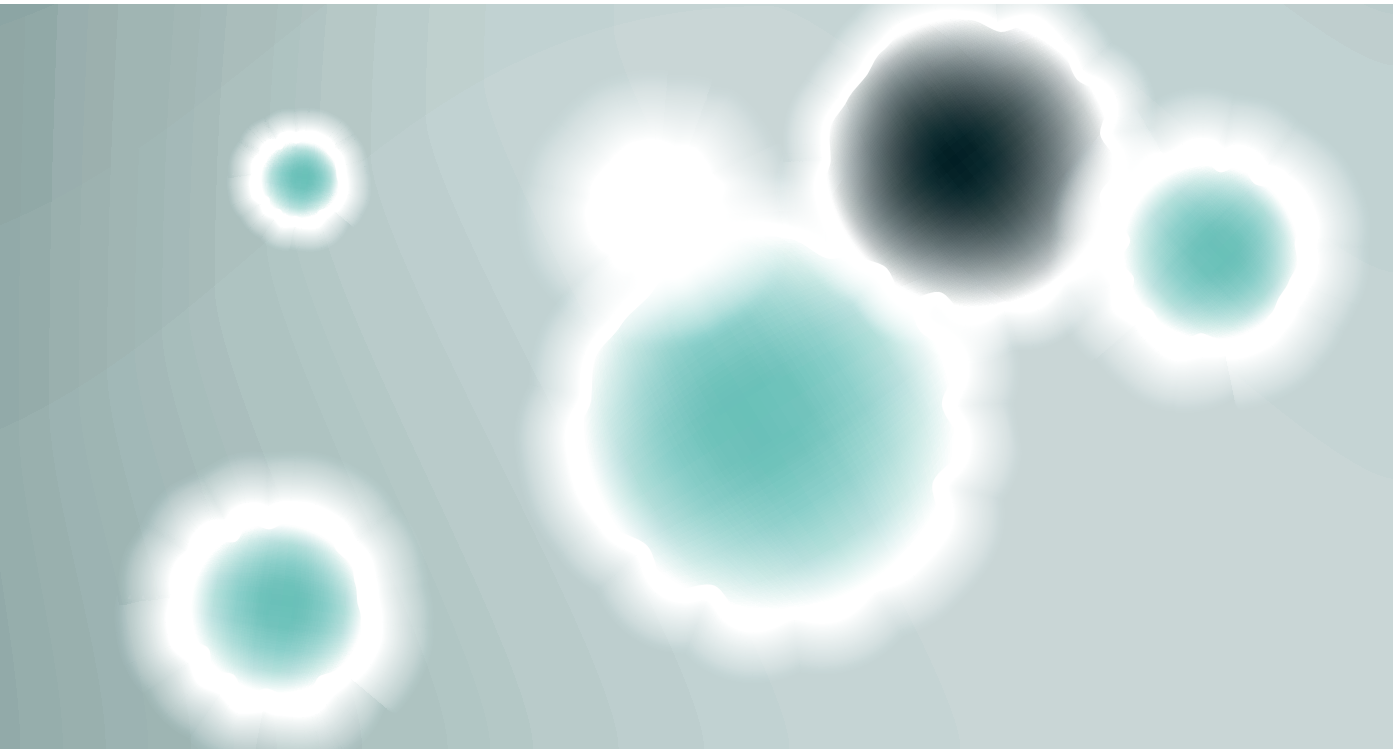
Aguilera, A., Bautista, F., Gutiérrez-Ruiz, M., Ceniceros-Gómez, A. E., Cejudo, R. y Goguitchaichvili, A. (2021). Heavy metal pollution of street dust in the largest city of Mexico, sources, and health risk assessment. *Environ Monit Assess.* 193 (4). https://doi.org/10.1007/s10661-021-08993-4.

Dusengemungu, L., Kasali, G., Gwanama, C., Ouma, K. O. (2020). Recent advances in biosorption of copper and cobalt by filamentous fungi. *Front Microbiol.* 11. 10.3389/fmicb.2020.582016.

Joshi, P. K., Swarup, A., Maheshwari, S., Kumar, R., Singh, N. (2011). Bioremediation of heavy metals in liquid media through fungi isolated from contaminated sources. Indian J Microbiol. 51(4): 482–487. https://doi.org/10.1007/s12088-011-0110-9.

Sun, L. Q., Cao, X., Li, M., Zhang, X., Li, X., y Cui, Z. (2017). Enhanced bioremediation of lead-contaminated soil by Solanum nigrum L. with *Mucor circinelloides*. Environ Sci Pollut Res. 24: 9681–9689.

Volesky, B. (1994). Advances in biosorption of metals: Selection of biomass types. *FEMS Microbiol Rev.* 14(4): 291-302.



DANIEL ULISES CAMPOS DELGADO
ducd@fciencias.uaslp.mx
FACULTAD DE CIENCIAS, UASLP

Las megatendencias tecnológicas del 2024

El 25 de julio del 2024, el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE), que es la organización profesional más grande del mundo dedicada al avance tecnológico (http://www.ieee.org), liberó un informe de las Megatendencias Tecnológicas del 2024, elaborado por el Comité de Direcciones Futuras de IEEE [1]. Este Comité incluyó a 54 expertos globales en tecnología, de diveras latitudes, como Asia, Europa, Australia, Latinoamerica, Medio-Este y Estados Unidos, y con un conocimiento acumulado a lo largo de 47 campos de interés técnico. El Comité se conformó con diversidad de género e incluyó participantes del sector empresarial / tecnológico, como Intel, Meta AI, AMD, Apple, Ericsson y Boeing, entre otras, pero tambien del académico, como Universidad de California en Irvine, Universidad de Texas en Austin, Politécnico de Milán, y Universidad de Toulouse.

Pero empecemos definiendo el concepto base, ¿qué es una megatendencia? Con este fin, utilizaré la idea generada por BBVA, que, aunque enlazada al mundo financiero, es fácil de entender: "las megatendencias prevén, detectan y finalmente sintetizan aquellos cambios, aunque estos se encuentren en fase embrionaria, que revolucionarán el mundo" [2]. De esta manera, una megatendencia tecnológica se encuentra entrelazada con sus contrapartes económicas, ecológicas y sociopolíticas, pues su periodo de desarrollo puede ser de 20 años o más. Por tal motivo, definir una megatendencia tecnológica no es una cosa fácil y requirió un cumulo de expertos tan grande. Y ya adentrándonos en los resultados del informe, tenemos que las tres megatendencias tecnológicas clave, que se espera tengan un impacto significativo en la humanidad en los próximos años, son: (i) Inteligencia Artificial General (IAG), (ii) Transformación Digital y (iii) Sostenibilidad. De entrada, si estamos inmersos en el campo tecnológico, o palpamos los efectos del calentamiento global, la selección parecería natural o trivial, pero no lo es, y enseguida iremos en detalle en cada una.

La IAG se define como un tipo de Inteligencia Artificial (IA) que puede funcionar igual o mejor que los humanos (analiza, piensa y toma decisiones) en una amplia gama de tareas, pero también tiene capacidad de auto-aprendizaje. El informe predice que la IAG continuará experimentando un crecimiento acelerado, ayudando a los humanos en el trabajo, pero a la vez demandando cada vez más fuentes de energía. El informe destaca el potencial de la IAG para revolucionar campos como la atención médica, el transporte, la educación, la manufactura y los descubrimientos científicos. Algunos ejemplos de tecnologías asociadas a la IAG son: la IA generativa en el arte y el diseño, la medicina personalizada o de precisión en el desarrollo de fármcos, los vehículos autónomos, los robots inteligentes en la manufactura, los profesores personalidados y el aprendizaje remoto, y el desarrollo de mundos virtuales. Sin embargo, se tienen a la par diversos desafios, ya que se deben abordar las preocupaciones éticas del contenido generado por IA, la privacidad de los datos y la falta de regulación, la inhabilidad de diferenciar entre el contenido generado por un ser humano y otro por la IA, la sostenibilidad y la necesidad de desarrollar sistemas de IAG robustos, confiables y explicables. Este último punto, asociado al objetivo de comprender o explicar como la IA toma una decisión.

La transformación digital se refiere a la adopción de tecnologías digitales basadas en cómputo para evolucionar los sistemas, aplicaciones y procesos en la sociedad. Otra manera más sencilla de pensarla se asocia con el concepto de "eliminar el papel"en los procesos, lo que afecta a empresas, sociedad, gobierno, arte, medicina y ciencia, pero simultáneamente buscando la mejora continua por medio del uso de la tecnología. El informe detecta áreas de oportunidad en procesos de manufactura, el sector de la construcción, la atención médica y la educación. Uno de los conceptos base en la transformación digital se centra en generar modelos digitales, ya sea para la producción en manufactura, el proceso de construcción para una obra, la respuesta de un paciente a un farmaco, entre otros. La transformación digital revolucionará la atención médica, desde el punto de vista de la infraestructura (hospitales, equipamiento médico, fármacos, prótesis), los procesos asociados y el mismo paciente. La transformación digital ya es un tema en desarrollo en muchas industrias, pero no es todavía algo estandar en empresas micro y medianas, por lo que continuará impactando en los próximos años. El informe identifica habilitadores como la realidad virtual inmersiva (con baja latencia, i.e. respuesta rápida), el sensado para la recopilación de datos, las redes para el transporte de información de los sensores, y la banda ancha confiable; así como inhibidores como la disminución de la privacidad personal, el costo para los consumidores, las distancias entre los mundos virtual (simulación) y real, la falta de profesionistas con habilidades digitales, y las plataformas propietarias.

Finalmente, la sostenibilidad se define como la capacidad de mantener los recursos o los procesos a un ritmo determinado, lo cual tiene impactos ecológicos, económicos y sociales. El informe subraya que la sostenibilidad debe ser un aspecto clave de cualquier tecnología, incluida la IAG, que requiere cantidades sustanciales de procesamiento, y en consecuencia, de recursos energéticos. De esta manera, los grandes retos de la sostenibilidad son claros: Incrementar la descarbonización de nuestra sociedad para atender el cambio climático; generar energías límpias para apoyar la salud pública; suministrar energía de forma confiable, resilente y a un costo accesible. Según el informe, el reto es inmenso ya que el consumo energético en infraestructura de telecomunicaciones está creciendo, y el 49% de las organizaciones carecen de herramientas que apoyen la sostenibilidad. Por lo que la sostenibilidad se está convirtiendo rápidamente en una prioridad para las empresas y los gobiernos de todo el mundo. El informe identifica oportunidades como la transformación de la energía y los combustibles, la electrificación (transportes, edificios, industria y agricultura), la eficiencia energética y la respuesta a su demanda, así como inhibidores de la misma, como un entorno empresarial y político sesgado que promueve intereses propios, el almacenamiento ineficiente de las baterias, los altos costos de tecnologías alternativas, y la falta de políticas y cultura de la sostenibilidad.

Una recomendación clave del informe es considerar a las tres megatendencias tecnológicas de forma coherente y sinérgica entre ellas, debido a su interdependencia, es decir, la IAG puede ser aplicada a tecnologícas transformadoras de la sostentabilidad y la digitalización; la sostenibilidad es un aspecto clave de cualquier avance tecnológico, i.e., la IAG requiere enormes recursos de procesamiento. La transformación digital debe ir actualizandose tomando en cuenta la IAG y la sostenibilidad. El informe recomienda fomentar la colaboración interdisciplinaria para abordar los desafíos de la IAG, desarrollar estándares para la adopción rápida de la tecnología, invertir en tecnologías verdes y sostenibles, educar a la fuerza laboral sobre las nuevas megatendencias, y regular de forma temprana tecnologías que puedan mal-utilizarse. El gran peligro que detecta el informe es dividir a la sociedad en un grupo que domina este conocimiento y otro que se ha quedado rezagado. Mientras tanto, el gran reto es la velocidad a la que se dan estos cambios, la cual puede ser mayor que la capacidad de adaptación de la sociedad, lo que conllevaría al miedo y la aversión, por lo que una educación amplia e inclusiva es crucial. De esta manera, el informe de la IEEE sobre las Megatendencias Tecnológicas 2024 proporciona una valiosa visión general de las fuerzas tecnológicas que darán forma a nuestro futuro. IA comprender estas megatendencias y sus implicaciones, las empresas, los gobiernos y nosotros mismos podemos prepararnos para los desafíos y las oportunidades que se avecinan. UP

Bibliografía

[1] IEEE Future Directions, "Technology Megatrends", https://cmte.ieee.org/futuredirections/tech-megatrends/ (Accedido el 6 de diciembre de 2024)

[2] BBVA, "Megatendencias al alza: ¿cuáles son y por qué?", https://www.bbva.es/finanzas-vistazo/ef/fondos-inversion/megatendencias-al-alza-cuales-son-y-por-que.html (Accedido el 6 de diciembre de 2024)

PROTAGONISTA DE LA **CUÁNTICA**

OSCAR JASEL BERRA MONTIEL

GUADALUPE GUEVARA
guadalupe.guevara@uaslp.mx

A unos 20 kilómetros de la ciudad de Puebla, en una pequeña localidad denominada Chipilo de Francisco Javier Mina, en donde ni siquiera se habla el español y que surgiera como un asentamiento de inmigrantes italianos en el año 1890, nació el doctor Oscar Jasel Berra Montiel, docente de la Facultad de Ciencias de la UASLP y quien hoy investiga aspectos fundamentales de mecánica cuántica permitiéndose ser parte del grupo de docentes iniciadores de la Maestría en Matemáticas Aplicadas y Física Matemática.

Resulta paradójico pensar que en una comunidad mexicana en donde la lengua principal es el véneto, original de Italia, naciera un prodigio de las matemáticas y la física, que se convertiría en investigador destacado debido a sus buenas notas que desde joven obtenía.

Entre vacas, leche, quesos y diversos productos lácteos, creció en él, la curiosidad por la física. El hoy investigador poblano desde niño fue bueno para las matemáticas, y por ello no seleccionó a la agricultura y ganadería como formas de sustento si no el conocimiento científico. El lugar considerado ecléctico, por el propio universitario, tiene una pequeña escuela de monjas Salesianas, en donde el científico conoció el fascinante mundo de las matemáticas.

Ahí estudió hasta la secundaria, rodeado de un ambiente tranquilo y sin acceso a medios de comunicación, sin embargo, fue ahí cuando cursando la secundaria conoció la física y la matemática, y se quedó fascinado de las áreas con las enseñanzas del maestro Pedro Zechinelli.

Desde muy joven, Jasel Berra dio muestras de su calidad, en 1998, cuando salió de Chipilo para intentar ingresar a la Preparatoria, presentó el examen de admisión junto con miles de alumnos en el sistema de Bachillerato en la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. La evaluación fue larga y otorgaba los resultados una semana después, para que el joven Jasel se enterarse de su ingreso o no a la preparatoria, debió trasladarse a la ciudad de Cholula para comprar un periódico y darse cuenta de su hallazgo.

Al mirar las páginas se señalaba que su ficha había obtenido el primer lugar de ingreso, por encima de todo los jóvenes egresados de secundarias prestigiosas de Puebla, un jovenzuelo pueblerino les había ganado a todos en aciertos y calificaciones.

Esa fue la puerta de entrada a los reconocimientos y satisfacciones para la familia Berra Montiel, pues al año siguiente, uno de los hermanos menores de Jasel también obtuvo el primer lugar en la misma evaluación, superando incluso los números del preparatoriano en ciernes.

Desde los primeros semestres de bachillerato el exitoso adolescente reforzó sus conocimientos en física y matemáticas, y durante los tres años de preparatoria tomó la recomendación de cursar clases extra curriculares, ya en la Universidad para desarrollar sus habilidades y esa fue la puerta de entrada a la Licenciatura en Física de la BUAP una aventura que le duró cinco años.

El investigador cuenta que al principio le iba mejor en el área de matemáticas que en física, pasada la mitad de la carrera el área de la física comenzó a fluir y de ahí surgió el gusto por la investigación. Sin embargo, nunca se imaginó llegar a ser docente, hasta que el doctor Alberto Molgado Ramos lo invitó a formar parte de un proyecto de investigación en la UASLP.

Jasel Berra, platica que siempre le ha llamado la atención el trabajo en la ciencia básica. Relata que, aunque la mecánica cuántica lleva más de 100 años de estudio, todavía hay un mundo de problemas sin respuesta, y resulta crucial "entender los fundamentos matemáticos y físicos", para llevar a cabo "nuevas aplicaciones científicas que marcan el futuro, desde diseños de materiales cuánticos, terapias avanzadas de medicina, metrología y computación cuántica, hasta la física fundamental y cosmología.

Por ello, el investigador y su equipo, no solo se centran en explorar los aspectos matemáticos de la mecánica cuántica, sino también en analizar su interacción con fenómenos fundamentales como los agujeros negros y la gravitación. Para ello, el grupo de trabajo colabora activamente con investigadores de diversas instituciones nacionales, como la UNAM, la BUAP y el CINVESTAV. Además, extiende sus esfuerzos más allá de las fronteras, estableciendo alianzas con la Universidad de Nápoles y el Instituto Nacional de Física Nuclear en Italia, promoviendo así un intercambio de conocimiento a nivel internacional. UP

APUNTES

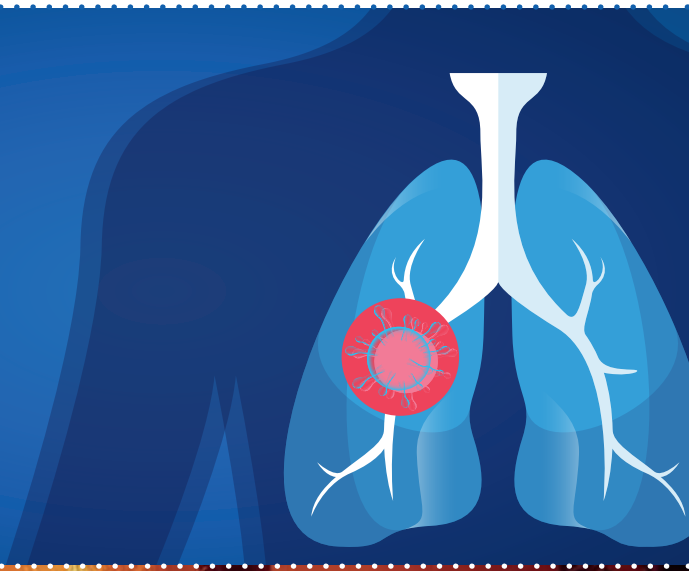
- Recomienda leer libros de: Carlo Rovelli, David Albert, Julián Barbour y Sabine Hossenfelder.

- Se dice amante de los tacos árabes y las chalupas poblanas.

- Le gustan los tacos rojos y la comida huasteca.

- Es un entusiasta apasionado de la espeleología y el cañonismo.

NOTICIENCIAS



Metapneumovirus humano, sin riesgo de pandemia, pero bajo vigilancia constante.

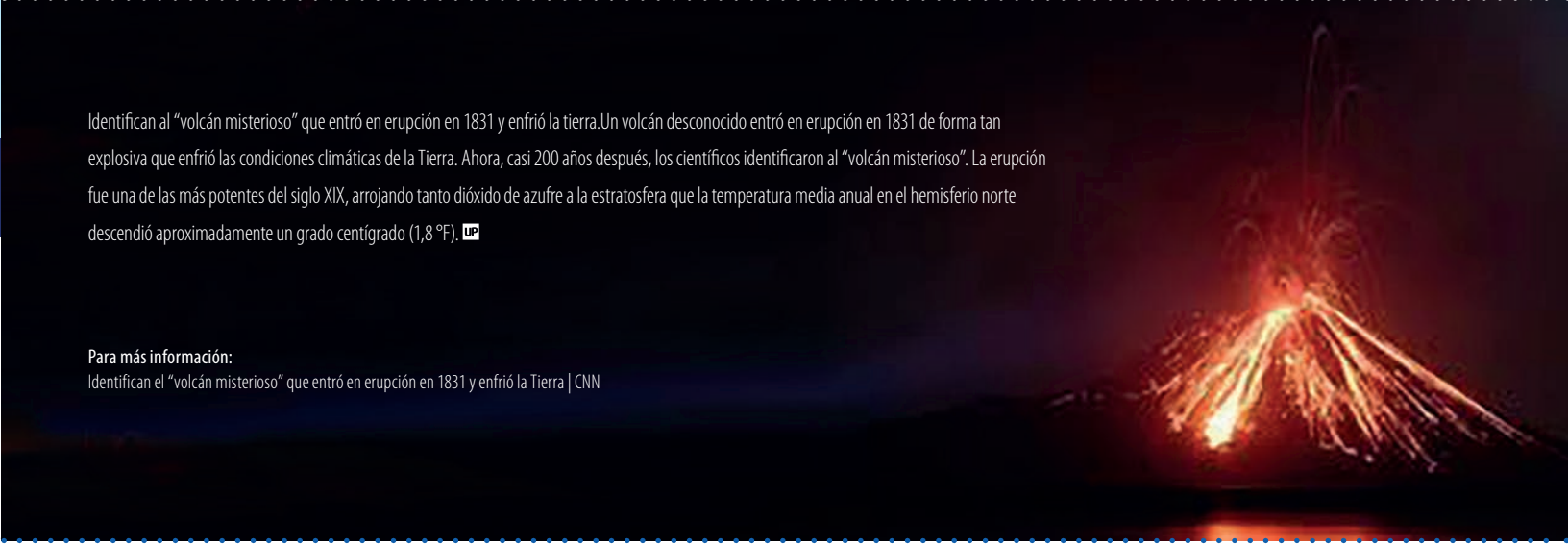
Pese al aumento de casos reportados en China y la alerta emitida por parte de autoridades internacionales, el metapneumovirus humano, que provoca padecimientos respiratorios, no representa un riesgo significativo de generar una pandemia similar a la vivida con el COVID-19, afirmó el doctor Daniel Ernesto Noyola Cherpitel, director del Centro de Investigación en Ciencias de la Salud y Biomedicina (CICSaB) de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP). UP

Para más información:
https://wp.uaslp.mx/noticias/investigacion/metapneumovirus-humano-sin-riesgo-de-pandemia-pero-bajo-vigilancia-constante-afirma-especialista-de-la-uaslp

3 razones por las que los incendios de Los Ángeles, son los "más destructivos" en la historia de la ciudad

De acuerdo con Anthony Marrone, uno de los principales coordinadores de bomberos, la baja humedad de la zona, los llamados vientos de Santa Ana —con velocidades cercanas a las de un huracán— y la falta de infraestructura han sido las principales causas para la enorme devastación. UP

Para más información:
https://bbc.com/mundo/articles/c5yxyze65rro



Identifican al "volcán misterioso" que entró en erupción en 1831 y enfrió la tierra.Un volcán desconocido entró en erupción en 1831 de forma tan explosiva que enfrió las condiciones climáticas de la Tierra. Ahora, casi 200 años después, los científicos identificaron al "volcán misterioso". La erupción fue una de las más potentes del siglo XIX, arrojando tanto dióxido de azufre a la estratosfera que la temperatura media anual en el hemisferio norte descendió aproximadamente un grado centígrado (1,8 °F). UP

Para más información:
Identifican el "volcán misterioso" que entró en erupción en 1831 y enfrió la Tierra | CNN

¿Qué **edad** tiene la **tierra?**

ANGÉLICA CECILIA MORÁN LÓPEZ
a328434@alumnos.uaslp.mx

A lo largo de la historia se ha intentado calcular la edad del planeta Tierra inclusive desde un punto de vista sin rigor científico; como, por ejemplo, el arzobispo James Ussher que, en base a la Biblia y otras fuentes, realizó un cuidadoso estudio para concluir que la Tierra se creó un domingo 23 de octubre del año 4004 a. C. Con esto, podemos considerar esta suposición como errónea. Sin embargo, hoy en día es posible llegar a un número más aproximado a la edad que tiene la Tierra, la cual consta de 4.566 millones de años.

El método más sencillo para calcular la edad de la tierra es analizando los cambios cíclicos, tales como el crecimiento de los árboles o las capas de las rocas. Este último método, denominado como datación de rocas, permitían el poder interpretar las rocas y tener una escala relativa del tiempo geológico.

Científicos descubrieron que los isótopos radiactivos son compuestos que se encuentran en la naturaleza y que, además, sirven para saber las edades de las cosas. Al ser considerados algunos como inestables, tienen la capacidad de convertirse en otros isótopos más estables. Es por ello que las rocas, al no haber material más antiguo en el planeta, se volvieron una referencia para realizar estos cálculos.

Este método de datación radiométrica fue ideado por Ernest Rutherford. Gracias a este tipo de técnicas la comunidad de geólogos pudo determinar en 1940 un aproximado de la edad de la tierra que es más aproximado al número que tenemos hoy en día. Durante este tiempo las técnicas han ido mejorando para llegar a un número más preciso. UP

Fuentes:
White, R. S. (2007). La edad de la Tierra. *Documentos Faraday*, (8).
Servicio Geológico Mexicano. (2017, 22 de marzo). *Datación de rocas*. Gobierno de México. https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Rocas/Datacion-de-las-rocas.html#:~:text=Los%20m%C3%A9todos%20de%20dataci%C3%B3n%20absoluta,utilizada%20actualmente%20ya%20que%20es
Solazzi, S. (s.f.) La edad de la Tierra. *¿Cómo sabemos cuán viejo es nuestro planeta si no lo vimos nacer?* El planetario UNLP. http://planetario.unlp.edu.ar/divulgacion/la-edad-de-la-tierra-como-sabemos-cuan-viejo-es-nuestro-planèta-si-no-lo-vimos-nacer-380

Manuel Sandoval Vallarta

Discípulo de genios

ANA AMÉRICA REYES CARREÓN
amerca@uaslp.mx

Nació en la Ciudad de México el 11 de febrero de 1899. Obtuvo el grado de bachiller en Ciencias y el doctorado en Ciencias con especialidad en físico-matemáticas en el Massachusetts Institute of Technology (MIT), en Boston, EUA. Realizó una estancia posdoctoral en las Universidades de Berlín y Leipzig, Alemania, donde fue alumno de Max Plank, Albert Einstein, Erwin Schrödinger y Hans Rechenbach.

Uno de los físicos mexicanos más importantes del siglo XX. Sus investigaciones se centraron en la física atómica, el electromagnetismo y la radiación cósmica, junto con Georges Lemaître, sentó las bases y la estructura de los efectos geomagnéticos de los rayos cósmicos. Participó en la creación de instituciones, promovió la investigación científica y, como diplomático, defendió el empleo de la energía nuclear para fines pacíficos.

Participó en la creación de los documentos estatutarios del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) —cuya función principal es fomentar en todos los países el uso pacífico de la energía nuclear, supervisar su desarrollo y evitar el uso militar—, aprobado por la ONU en 1956. Fue miembro de las delegaciones mexicanas ante la Asamblea General (anual) de la OIEA desde 1961 hasta 1968; miembro de la Junta de Gobernadores de la OIEA (1966-1967): durante su encargo se logró aprobar el tratado internacional del espacio ultraterrestre que prohíbe hacer ensayos de armas nucleares en el espacio exterior.

Fue miembro de la Junta de Gobierno de la UNAM (1945-1955), de la Academia Pontificia de Ciencias (1961), miembro fundador de la Sociedad Mexicana de Física (1952), miembro de la Asociación Canadiense de Físicos (1953), de la Sociedad de Física de Japón (1953), de la Sociedad Filosófica Americana (1954), de la Academia Americana de Artes y Ciencias, de la Sociedad Americana de Física, entre otras sociedades científicas. Doctor *honoris causa* por la UNAM (1933), por la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (1942) y por la Universidad de las Américas (1965).

Miembro fundador de El Colegio Nacional desde el 15 de mayo de 1943.

Falleció en la Ciudad de México el 18 de abril de 1977. UP

Stray Kids: más allá del K-pop

ANGÉLICA CECILIA MORÁN LÓPEZ
a328434@alumnos.uaslp.mx

El poeta Henry Wadsworth Longfellow, miembro de la Academia Estadounidense de las Artes y las Ciencias, manifestó hace más de un siglo que "la música es el lenguaje universal de la humanidad". La recomendación de este mes va de la mano con el grupo surcoreano Stray Kids; conformado por ocho talentosos artistas, han conquistado los corazones de fans en todo el mundo con su mezcla única de letras poderosas, ritmos cautivadores y una energía que trasciende las fronteras culturales.

Desde su debut en 2018 y conforme fueron produciendo música, Stray Kids se ha consolidado como uno de los grupos de K-pop más reconocidos a nivel mundial, contando con cuatro álbumes y más de 10 mini álbumes, gracias a su estilo único de componer y producir sus canciones, además de su característico estilo único que logra salir de lo común y trasciende en varios sentidos.

En junio de 2023, Stray Kids lanzó su tercer álbum de estudio titulado 5-Star, con un total de doce canciones, el álbum abre con la canción "Hall of Fame", en ella se habla de lo difícil que es llegar al salón de la fama; sin embargo, están dejando huella, haciendo una comparación con Neil Armstrong. Esta canción se enfoca en seguir trabajando en la interminable mejora y superación personal

Entre sus demás canciones, como "S-Class", su canción principal, "GET LIT" y "ITEM", tienen todo el poder de impactar a los oyentes con sus mezclas de sonido y estilos caóticos pero que al mismo tiempo es la representación perfecta del grupo.

Sin embargo, también tienen títulos como "Super Bowl" o "TOPLINE" además de tener un ritmo feroz y de empoderamiento, presentan letras que impactan y demuestran la confianza de los miembros en sus esfuerzos y progreso como grupo.

Finalmente, canciones como "Colission", "FNF", "Youtiful" y "DLC" (*Dance Like Crazy*) dejan expuesto el lado sensible de los jóvenes compositores y cantantes con sus estilos melodiosos y letras tanto emocionales como melancólicas, demostrando la amplia capacidad vocal de los miembros.

Sin duda, Stray Kids es un grupo de K-pop prometedor e innovador, con su estilo y distintos géneros musicales que manejan, podemos apreciar la dualidad de sus canciones en un solo álbum, así como el gran talento que tienen los miembros de combinar sus vocales con el rap. UP