

DISTRIBUCIÓN GRATUITA

NÚM. 2
Bimestre
noviembre-
diciembre
2021
México

CIENCIAS y HUMANIDADES

artículos · reseñas · infografías · noticias · arte



GOBIERNO DE
MÉXICO



CONACYT
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

LA CIENCIA ES TU DERECHO

FORTALECIMIENTO DE LA COMUNIDAD CIENTÍFICA

A través de becas de posgrado del
Sistema Nacional de Investigadores
y del programa Investigadoras
e Investigadores por México



GOBIERNO DE
MÉXICO



CONACYT
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

DIRECTORA

María Elena Álvarez-Buylla Roces

Directora General del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

COMITÉ EDITORIAL

Mtra. María José Rhi Sausi Garavito

Dirección Adjunta de Desarrollo Científico

Dra. Delia Aideé Orozco Hernández

Directora Adjunta de Desarrollo Tecnológico, Vinculación e Innovación

Dr. José Alejandro Díaz Méndez

Unidad de Articulación Sectorial y Regional

Dra. Marcela Cristina Pouliot Madero

Unidad de Planeación, Comunicación y Cooperación Internacional

Mtro. Raymundo Espinoza Hernández

Unidad de Asuntos Jurídicos

Mtro. Noé Ortiz López

Unidad de Administración y Finanzas

Mtro. Alejandro Espinosa Calderón

Secretaría Ejecutiva de la Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de los Organismos Genéticamente Modificados

Lcda. María del Carmen García Meneses

Coordinación de Repositorios, Investigación y Prospectiva

PORTADA Y CONTRAPORTADA

Santiago Moyao

ILUSTRACIONES DE ARTÍCULOS

Armando Fonseca

Ciencias y Humanidades, año 1, número 2, noviembre-diciembre 2021, es una publicación bimestral editada por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Av. Insurgentes Sur 1582, col. Crédito Constructor, alcaldía Benito Juárez, Ciudad de México, c. P. 03940. Teléfono: 55 5322 7700. www.conacyt.mx
Editor responsable: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Reservas de Derechos al Uso Exclusivo 04-2021-062922352400-106, issn en trámite, ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derecho de Autor. Licitud de Título y Contenido en trámite, otorgado por la Comisión Calificadora de Publicaciones y Revistas Ilustradas de la Secretaría de Gobernación.

ÍNDICE

Presentación | 4

MARÍA ELENA ÁLVAREZ-BUYLLA ROCES

ESPECIAL

Richard Lewontin: Antirreduccionismo y Ciencia para la Gente | 8

ABRIL VÁZQUEZ DE LOS REYES Y DANIEL PIÑERO

ARTÍCULOS

Fitoplancton y cambio climático | 13

JULIO SHEINBAUM, ENRIC PALLÀS-SANZ Y MIGUEL TENREIRO

El calentamiento global y el pulpo *Octopus maya* de Yucatán | 17

CARLOS ROSAS VÁZQUEZ

Alternativas de prevención ante el problema
de la bioincrustación | 21

GREGORIO VARGAS GUTIÉRREZ Y EDDIE LÓPEZ HONORATO

Los ajolotes y su microbioma ante enfermedades
letales emergentes | 25

ERIA A. REBOLLAR CAUDILLO

La mirada de los niños, niñas y adolescentes
a las violencias en Sonora | 29

NOHORA CONSTANZA NIÑO VEGA

Efectos transgeneracionales de la exposición a plaguicidas | 32

MARÍA ISABEL HERNÁNDEZ OCHOA Y MIGUEL BETANCOURT LOZANO

Cien años de educación indígena y rural en perspectiva
transdisciplinaria | 35

MARCO ANTONIO CALDERÓN MÓLGORA

Métodos computacionales para el análisis de la conducta canina | 39

HUMBERTO PÉREZ ESPINOSA

Estrategias de adaptación de organismos extremófilos
en ambientes simulados de Marte | 43

SANDRA IGNACIA RAMÍREZ JIMÉNEZ Y MARISELA AGUIRRE RAMÍREZ

Estructura electrónica e inteligencia artificial aplicada
a la química en México | 46

JOSÉ LUIS GÁZQUEZ MATEOS

Física de Moiré | 50

RUBÉN G. BARRERA

Contribución de México a la Física de Partículas en el CERN | 54

ARTURO FERNÁNDEZ TÉLLEZ

NOTICIAS

Riesgos y patógenos emergentes bajo una mirada
Socioecosistémica | 58

GERARDO SUZÁN AZPIRI

Miles de estrellas se forman en el universo lejano | 62

HISTORIAS MÍNIMAS

La búsqueda | 65

SANTIAGO MOYAO

CIENCIAS Y ARTE

Reseña libro: Yásnaya Aguilar,
Ää: manifiestos sobre la diversidad lingüística | 66

MARGARITA MARTÍNEZ PÉREZ

Reseña libro: Benjamín Labatut, *Un verdor terrible* | 69

BLANCH GUZMÁN

Reseña película: Rebecca Harrell y Josh Tickell, *Kiss the Ground* | 73

CONSUELO BONFIL

Ensayo: Acciones fantasmagóricas a distancia: sobre los vínculos
entre la ciencia y la ciencia ficción | 76

ANDRÉS LUNA JIMÉNEZ

PRESENTACIÓN

MARÍA ELENA ÁLVAREZ-BUYLLA ROCES

Directora General del Consejo Nacional
de Ciencia y Tecnología



DURANTE ESTA PRIMERA ADMINISTRACIÓN DE la Cuarta Transformación, México ha cambiado y lo ha hecho para bien. Nuestro querido país vive un periodo de transición hacia un futuro más democrático y con mayores libertades. México transita para convertirse en el país incluyente que hemos anhelado durante generaciones. Un país enriquecido con políticas públicas de bienestar para todas y todos, con una economía más justa e igualitaria, y con acceso universal a los derechos humanos. Este camino hacia el porvenir, que prioriza la atención a los más vulnerables, está inscrito en un contexto global en el que el neoliberalismo ha generado una serie de crisis en muy diversos niveles y ámbitos. El desarrollo científico y tecnológico no ha sido la excepción.

La ciencia, reserva de objetividad en transformación constante, no es ajena a las necesidades sociales y, por ello, es clara y urgente la necesidad de transformar los modelos tradicionales de construc-

ción del conocimiento científico para contribuir en la atención de los complejos retos de la humanidad y el planeta. Problemas tales como la pandemia de covid-19, el cambio climático y la erosión de la biodiversidad sólo pueden ser resueltos con el auxilio de la ciencia comprometida. Ante la compleja y crítica realidad, la ciencia guiada con honestidad por los principios del conocimiento se vuelve indispensable. En particular, es necesario impulsar lo que filósofos de la ciencia, como Thomas Kuhn o Paul Feyerabend, han denominado como «ciencia de frontera» o «investigaciones de frontera».

Las investigaciones de frontera se caracterizan tanto por su potencial para transformar y renovar el conocimiento como para generar nuevos saberes que no estén delimitados por las principales corrientes del pensamiento ni por el *statu quo*. Los científicos que se aventuran en este tipo de investigaciones lo hacen a sabidas de que su trabajo no necesariamente se verá reflejado en aplicaciones técnicas preestablecidas. Sin embargo, son los grandes avances en la frontera del conocimiento los que darán pie a las verdaderas innovaciones, aquéllas que no están guiadas exclusivamente por el afán de lucro. La innovación verdadera emerge de la interacción virtuosa entre la ciencia de frontera y las dinámicas de los diversos campos sociales que dan forma y sustancia a nuestra sociedad a lo largo del tiempo, bajo el cobijo de la ética y del respeto del principio precautorio.

Por ello, la dicotomía entre ciencia básica y ciencia aplicada puede ser confusa y, más bien, nuestro quehacer como científicas y científicos debe estar encaminado a romper las fronteras del conocimiento. Para ello, se requiere la acumulación de muchos da-

tos, modelos, explicaciones que se almacenan durante años y por múltiples grupos de investigación en un proceso de generación conocido, generalmente, como ciencia básica.

Para hacer frente a los retos que nos impone el mundo y poder llevar a cabo una verdadera renovación del conocimiento, así como generar horizontes más esperanzadores, es imperante apoyar a las nuevas generaciones de jóvenes científicas y científicos que impulsan las nuevas propuestas. La ciencia de frontera tiene

LA INNOVACIÓN VERDADERA
EMERGE DE LA INTERACCIÓN
VIRTUOSA ENTRE LA CIENCIA DE
FRONTERA Y LAS DINÁMICAS
DE LOS DIVERSOS CAMPOS
SOCIALES QUE DAN FORMA
Y SUSTANCIA A NUESTRA
SOCIEDAD...



la extraordinaria capacidad de traer el futuro al presente, y de convertir en realidad lo que sin la ciencia sólo serían sueños.

Richard Lewontin (1929-2021), notable biólogo evolutivo e infatigable activista político de izquierda, ilustra de manera luminosa que comprometerse con la ciencia de frontera no significa hacer a un lado la responsabilidad social, sino todo lo contrario. Su ejemplo muestra que expandir las fronteras del conocimiento provee a la sociedad con valiosas herramientas para comprender a profundidad su realidad y también para transformarla.

Por ello, el nuevo Conacyt, que inició gestiones el primero de diciembre de 2018, rescató con prioridad el apoyo a la ciencia básica con énfasis en fomentar la ciencia de frontera. Se estimula, por ello, la investigación científica con rigor y plena libertad, a sabiendas de que su desarrollo es fundamental para dar sustento también a los programas de posgrado que se encargan de la formación de nuevas generaciones de profesionistas con pensamiento científico y crítico en todos los campos disciplinarios.

En esta edición se resumen algunas de las propuestas de ciencia de frontera que se han apoyado durante esta gestión. Los propios científicos responsables de los proyectos en marcha nos hablan acerca de sus fascinantes investigaciones en diversos campos de las ciencias físicas, químicas, biológicas y ambientales, médicas y de la salud, sociales o humanísticas. La riqueza de lo que realiza la comunidad científica nacional es inagotable.

El avance de la ciencia de frontera desde nuestro país es fundamental para estar en la posibilidad soberana de generar desarrollos de vanguardia de interés nacional y, con ello, fortalecer nuestra soberanía. El quehacer científico debe apoyarse con una perspectiva a mediano y largo plazo, impulsando la colaboración entre grupos que cultivan distintas disciplinas y desde diversas instituciones, y maximizando la eficiencia en el uso de la infraestructura científica con la cual contamos. En un futuro próximo, los resultados de los proyectos de Ciencia de Frontera estarán contribuyendo también a la sólida y rica cultura de nuestro país, y a nuestra capacidad colectiva de transformarlo a favor de un mejor porvenir para todos y todas.

RICHARD

LEWONTIN: ANTIRREDUCCIONISMO Y CIENCIA PARA LA GENTE

ABRIL VÁZQUEZ DE LOS REYES

Instituto de Historia de la Ciencia,
Universidad Autónoma de Barcelona

DANIEL PIÑERO DALMAU

Instituto de Ecología,
Universidad Nacional Autónoma de México

SE INVOLUCRÓ EN LOS
MÁS IMPORTANTES
DEBATES —TANTO EN
LOS CIENTÍFICOS,
COMO EN LOS ÉTICOS,
SOCIALES Y POLÍTICOS—

EL RECIENTEMENTE FALLECIDO GENETISTA Y EVOLUCIONISTA, Richard Lewontin, tuvo una trayectoria notable. Se involucró en los más importantes debates —tanto en los científicos, como en los éticos, sociales y políticos— de la genética y la biología evolutiva del siglo xx y de lo que va del XXI. Por esta razón, revisar su trayectoria como científico es repasar también estos debates, frente a los cuales Lewontin mantuvo una postura antirreduccionista. Aquí abordaremos sólo algunos de ellos, los que consideramos que retratan con mayor nitidez su postura de científico y humanista.

Lewontin frente al reduccionismo:

Los árboles no dejan ver el bosque

Cuando hablamos de reduccionismo nos referimos a un tipo de explicación con la cual se aspira a dar cuenta de las propiedades del todo *solamente* a través de sus partes. Por ejemplo: pretender comprender una célula a través de las moléculas que la constituyen o un organismo a partir de los tejidos que lo conforman, o bien una comunidad sólo a partir de sus individuos.

A la fecha, en la biología se debate sobre la pertinencia de las explicaciones reduccionistas: mientras que, por un lado, se sostiene que un proceso puede entenderse con mayor profundidad si se reduce a su nivel de organización más simple (reduccionismo); por otra parte, hay quienes consideran que el todo no puede reducirse a sus partes. Quienes sostienen esta última postura antirreduccionista no se oponen al estudio detallado y profundo de las partes, pero insisten en la importancia de siempre volver a la visión de conjunto.

Esta era la postura de Lewontin, la cual se hace patente en sus críticas al determinismo genético (DG) o a lo que llamó, de la mano de Stephen Jay Gould, el programa adaptacionista (PA). Veamos brevemente en qué consisten.

En el primer caso, Lewontin cuestiona seriamente la insistencia de explicar todos los rasgos biológicos y comportamentales del ser humano con base en los genes. En el caso del PA, la reducción consiste en pretender explicar el todo a partir de un único mecanismo evolutivo; es decir, la adaptación a partir de la selección natural (SN) como la causa principal o única de las formas, funciones y comportamientos de todo lo vivo. Lewontin y Gould reconocen el papel irrenunciable de la SN en la producción de adaptación y en el proceso evolutivo en general, pero les parece importante atender otros mecanismos evolutivos y considerar que el origen de funciones, formas y comportamientos puede no ser siempre adaptativo.

Lewontin abordó otros debates también, por ejemplo: si los genes son la unidad sobre la que actúa la SN o si el comportamiento humano puede ser explicado evolutivamente, además de su intervención decisiva en la discusión sobre la existencia de razas en los humanos.



Las polémicas en las que participó, como ya decíamos al principio, no se limitaron a la biología y a la relación de ésta con la sociedad, sino que se extendieron a toda la ciencia como actividad dentro de una sociedad concreta: a la ética de la ciencia, a su política y a sus relaciones con el poder político y militar.

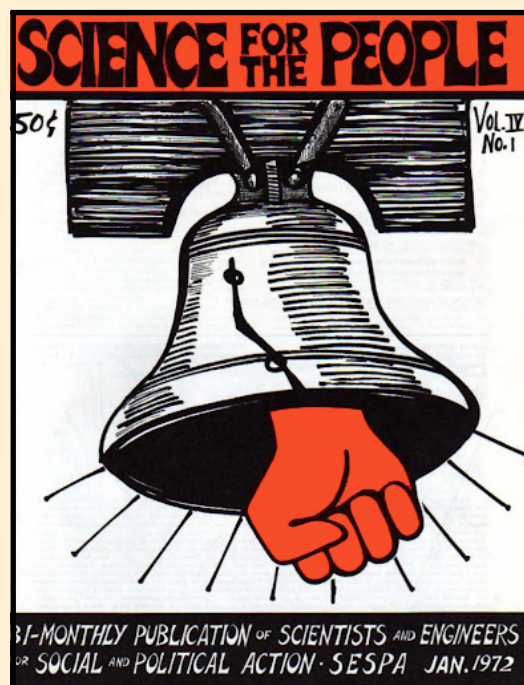
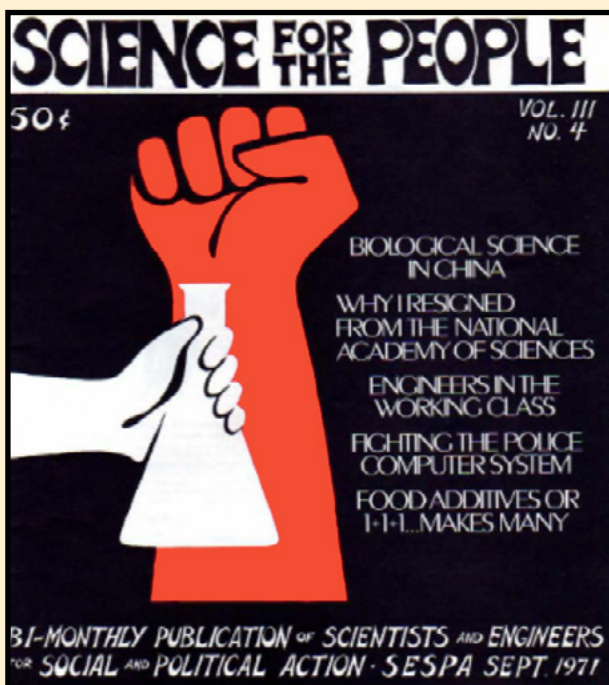
Ciencia para la Gente

Ciencia para la Gente es el título de la revista en la que, en 1971, Lewontin explicó las razones por las cuales había renunciado a la Academia Nacional de Ciencias (NAS, por sus siglas en inglés).

En 1970, después de haber sido miembro de la NAS por 2 años, Lewontin solicitó que no se establecieran contratos en los que la investigación fuera secreta. Se refería específicamente a la investigación militar confidencial que se llevaba a cabo con el aval de la Academia. Su petición fue rechazada. Al año siguiente, en 1971, de acuerdo a un reporte de la NAS, firmado por Barbara Cullins, Lewontin modificó su petición: esta vez pedía que toda la investigación clasificada se rechazara si sus resultados finales no estaban disponibles para los miembros de la Academia que requirieran consultarla. Su petición fue rechazada por segunda vez y entonces presentó su renuncia definitiva.

▼ Portada de la revista *Science for the People* del año 1971. Tomada de: Brick, S., Cascante, R., Cavrak, S., Fischer, B., Handke, J., Meier, C., Moore, J., Pierce, G., Strasser, J. (Eds.) (1971). *Science for the People*, 3(4).

► Portada de la revista *Science for the People* del año 1972. Tomada de: Cascante, R., Moore, J., Winner, J., Wisniewski, J., Wolf, R., y Wolff, B. (Eds.) (1972). *Science for the People*, 4(1).



La ciencia que ganó la guerra

Al hablar de la Segunda Guerra Mundial, es un lugar común afirmar que «la ciencia ganó la guerra», lo cual ilustra el fuerte vínculo que se ha establecido entre la ciencia y lo militar; vínculo que, en realidad, se estrechó desde la Primera Guerra Mundial, cuando las universidades estadounidenses ajustaron sus programas de investigación en química hacia la producción de armas químicas. En 1971, este vínculo continuaba siendo capital para los conflictos bélicos en los que participaba Estados Unidos en el contexto de la Guerra Fría, descollando entre ellos la Guerra de Vietnam.

Así, Lewontin cuestionaba que hubiera un mecanismo legal y legítimo mediante el cual la comunidad científica avalaba, sin plena consciencia de ello, una investigación científica que estaba sirviendo para someter y destruir países y población civil. Exigía que, por lo menos, al permitir conocer los resultados finales de las investigaciones, hubiera un mecanismo que abriera la posibilidad de discutir las implicaciones éticas y sociales de la investigación científica que se estaba llevando y que se llevaría a cabo. En 1972, la NAS aplicó un mecanismo parecido al que proponía Lewontin en su segunda petición. Sería interesante saber si desde entonces algún miembro activo de la academia ha solicitado conocer los resultados de las investigaciones secretas que la NAS avala.

Al cuestionar el porqué y el para quién de la ciencia, Lewontin apelaba al sentido de responsabilidad social de los científicos. Al publicar su posicionamiento en *Ciencia para la Gente*, convocaba implícitamente a los ciudadanos a tomar su responsabilidad so-

LEWONTIN CUESTIONABA
QUE HUBIERA UN MECANISMO
LEGAL Y LEGÍTIMO MEDIANTE
EL CUAL LA COMUNIDAD
CIENTÍFICA AVALABA, (...) UNA
INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA
QUE ESTABA SIRVIENDO PARA
SOMETER Y DESTRUIR PAÍSES
Y POBLACIÓN CIVIL.

cial, a involucrarse en la actividad científica, sin necesidad de volverse expertos, pero sí de conocer los contenidos y objetivos de las agendas científicas para poder incidir en la determinación de las prioridades de investigación hecha con recursos públicos.

Este debate sigue vigente y es muy necesario que la política científica se democratice. Que las decisiones sobre las prioridades de investigación se tomen teniendo en cuenta las necesidades de la sociedad en su conjunto, a la vez que se impulse investigación en áreas y temas que, aunque



no puedan traducirse en una aplicación práctica inmediata, vayan profundizando nuestro conocimiento del mundo en el que vivimos. Esto implica, por un lado, que las decisiones no se tomen unilateralmente por gobiernos ni tampoco por corporaciones privadas y, por el otro, la revisión de las relaciones ciencia-industria, ciencia-ejército, ciencia-sociedad. Además, como proponía Lewontin, que se dé un verdadero diálogo en la comunidad científica.

El biólogo dialéctico

En su obituario sobre Lewontin, el historiador Michael R. Dietrich cuenta que cuando le preguntó, en una entrevista que le realizó en 1997, de qué modo debía escribir sobre su vida, éste dijo que escribiera acerca de sus estudiantes, los posdoctorantes y visitantes a su laboratorio, pues ellos eran su mayor fuente de orgullo como científico. La anécdota es conmovedora, ya que refleja la estrecha relación y el compromiso que establecía con cada uno de sus estudiantes, y muestra que Lewontin se concebía formando parte de una comunidad que pensaba en el trabajo científico como resultado del esfuerzo colectivo. Incluso se veía a sí mismo evolucionando gracias a las interacciones que había sostenido con otros seres humanos, así como él transformó, en mayor o menor medida, a quienes interactuaron con él. Hasta siempre, biólogo dialéctico, científico de la gente, siempre abierto a escuchar.

Referencias

- Ayala, F. J., y Arp, R. (Eds.). (2010). *Contemporary Debates in Philosophy of Biology*. Wiley Blackwell.
- Culliton, B. (1972). NAS: Academy Votes NRC Changes, New Formula on Classified Research. *Science*, 176(4034), 499-501.
- Dietrich, M.R. (2021). Richard C. Lewontin: Pioneer of molecular evolution who campaigned against biological racism. *Nature*, 595, 489.
- Levins, R., y Lewontin, R. (2015). *El biólogo dialéctico*. Ediciones RyR.
- Lewontin, R. (1971). Why I Resigned from the National Academy of Sciences. *Science for the People*, 3(4), 6-8.

Fitoplancton y cambio climático

ENRIC PALLÀS-SANZ

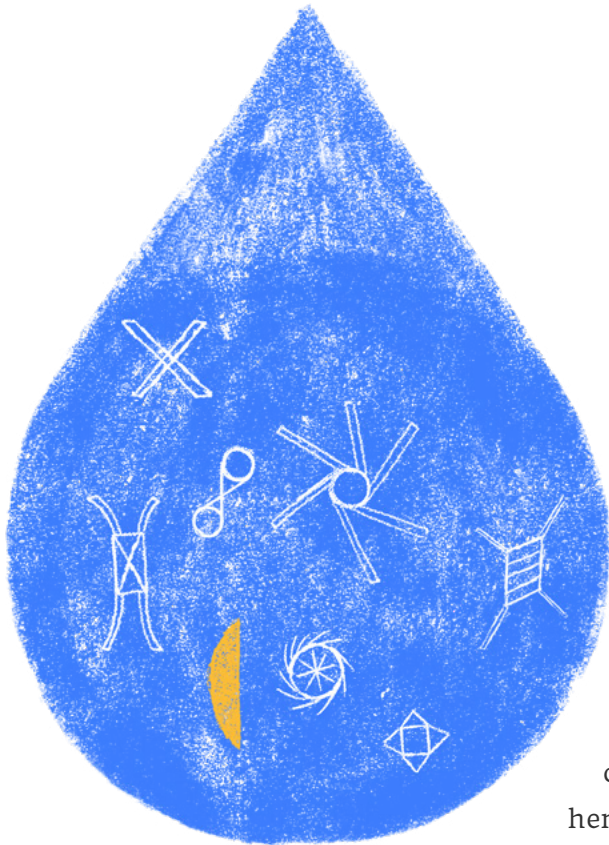
Doctor en Oceanografía. Investigador del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California (CICESE).

JULIO SHEINBAUM

Doctor en Oceanografía. Investigador del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California (CICESE).

MIGUEL TENREIRO

Doctor en Oceanografía. Investigador del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California (CICESE).



SEGURAMENTE CONOCES LA GRAN PREOCUPACIÓN que existe a causa de la tala excesiva de bosques y selvas, así como el impacto que tiene en la aceleración del cambio climático.

La vegetación terrestre es responsable (vía fotosíntesis) del «secuestro» de aproximadamente 50 mil millones de toneladas métricas de dióxido de carbono (el famoso gas invernadero que los humanos hemos introducido en la atmósfera a una velocidad nunca vista y con pocas perspectivas de que se reduzca en forma sustancial). Sin embargo, cada año se extraen de la atmósfera cerca de 100 mil millones de toneladas métricas de este gas (¡afortunadamente!, pues si no fuera así el clima terrestre ya habría cambiado hace muchos años). Si la vegetación terrestre extrae la mitad,

¿quién es responsable de extraer la otra mitad? Tal vez te sorprenda saber que son los organismos microscópicos que deambulan por la superficie del océano, conocidos científicamente como fitoplancton. Por lo anterior, entender su variabilidad y su papel como reguladores del calentamiento terrestre es de vital importancia.

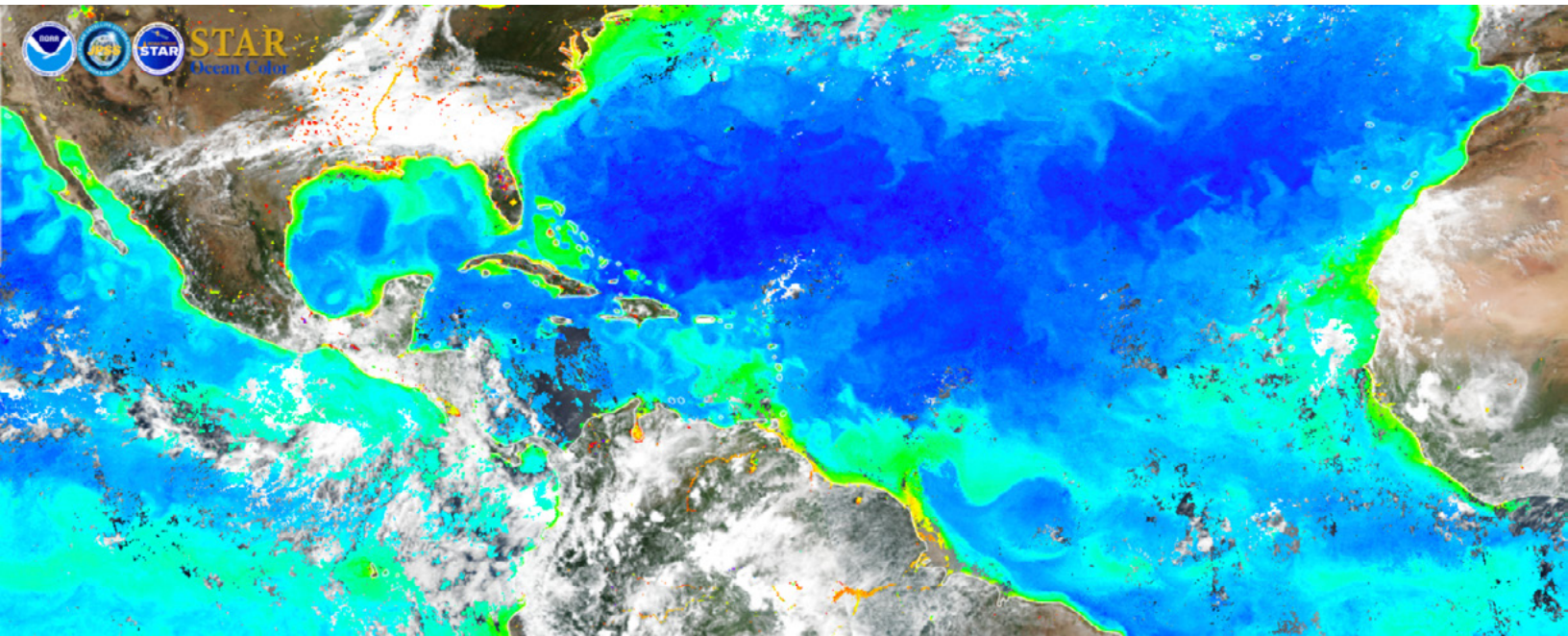
El fitoplancton –consistente de algas microscópicas– es la base de la cadena alimenticia de los ecosistemas marinos. Estos microorganismos contienen pigmentos, como la clorofila-a (Chla), que absorben energía solar. A través de la fotosíntesis, convierten el dióxido de carbono (CO_2) y el agua (H_2O) en compuestos energéticos de carbono orgánico que permiten el crecimiento celular, junto con la disponibilidad de nutrientes. El fitoplancton es consumido por el zooplancton (su contraparte en el reino animal) y éste, por pequeñas larvas de peces, lo que permite transferir la energía desde los niveles tróficos oceánicos más bajos hasta los más altos; en su mayoría, estos últimos están constituidos por peces pelágicos de interés pesquero, como el atún.

Una fracción de la materia orgánica sintetizada por el fitoplancton se recicla cerca de la superficie del océano, mientras que otra fracción se envía a las profundidades gracias a la denominada bomba biológica de carbono. De las cerca de 45 gigatoneladas (45 Gt, 1 Gt = 1 000 000 000 t) de carbono atmosférico que fija el fitoplancton al año, aproximadamente el 35 % (16 Gt) se transfiere al océano profundo (aunque existe aún mucha incertidumbre en esta estimación [entre 5

a 20 Gt]). El conocimiento de los procesos que controlan esta transferencia es muy limitado, por lo que nuestro objetivo es contribuir a mejorar esta situación con observaciones y modelos científicos.

Las estimaciones anteriores se basan principalmente en mediciones de imágenes satelitales (y unas cuantas mediciones *in situ*). En la figura 1 se muestra una imagen de la concentración de clorofila en la superficie oceánica. Las zonas con alto contenido de clorofila aparecen en color verde y aquéllas con bajo contenido en color azul, denominadas oligotróficas. Es común considerar que más clorofila indica una mayor biomasa y que lo observado en la superficie es representativo de lo que ocurre en los primeros 100 a 150 m de profundidad dentro del océano. Sin embargo, observaciones recientes con perfiladores autónomos instrumentados (como las boyas Argo, argo.ucsd.edu) han modificado estos paradigmas.

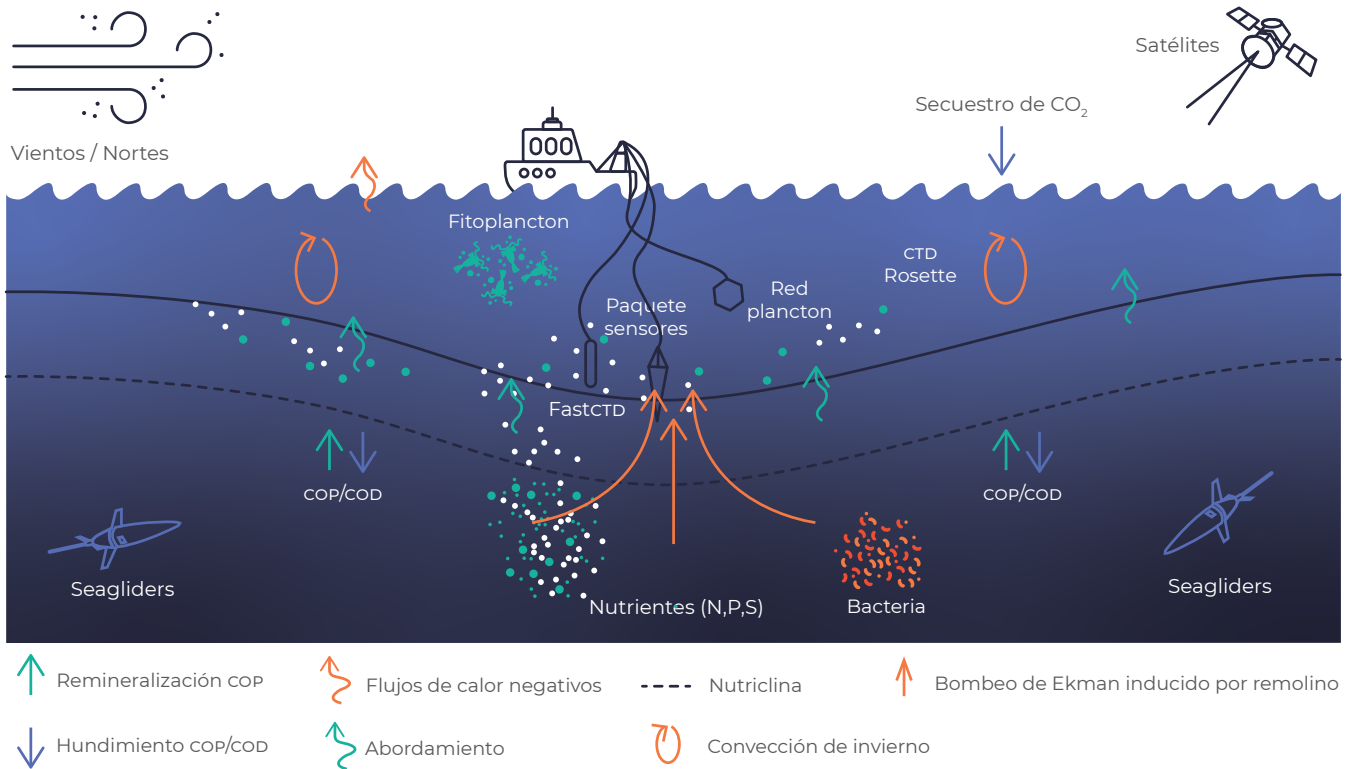
Es claro, además, que la imagen tiene mucha «estructura». Por ejemplo, en el golfo de México pueden apreciarse estructuras elípticas de color verde (como en la bahía de Campeche, al sur del golfo) y azul. Respectivamente, indican la presencia de remolinos oceánicos fríos (ciclónicos) y cálidos (anticiclónicos). Los remolinos cálidos (azules) provienen de una de las corrientes más fuertes del planeta: la corriente de Lazo (la estructura azul a la entrada al golfo de México, visible en la figura 1). Éstos se separan de ella de forma irregular para desplazarse posteriormente al interior del golfo de México.



▲ Figura 1. Imagen que muestra con diferentes colores la concentración de clorofila-a (mg/m^3) en la superficie del océano. Tomada de <https://www.star.nesdis.noaa.gov/socd/mecc/color/ocview/ocview.html>

El conocimiento de los mecanismos que controlan la biomasa del fitoplancton y la estructura de su comunidad en el interior de estos «remolinos de mesoescala» es fundamental para entender el balance y ciclo del carbono en todos los océanos. Los remolinos de la corriente de Lazo (100 a 200 km de radio) dominan la dinámica del golfo de México y, en esa medida, entender lo que ocurre en su interior es un paso necesario para cuantificar la eficiencia de la bomba biológica de carbono en esta cuenca oceánica. Lo anterior nos permitirá evaluar la capacidad de las regiones oceánicas oligotróficas (pobres en nutrientes) para actuar como sumideros del CO_2 atmosférico y, con ello, determinar el papel que desempeñan en el cambio climático. Debido a que el fitoplancton es la base de la cadena trófica marina, su dinámica resulta fundamental también para las pesquerías, el transporte y crecimiento del sargazo y el balance de oxígeno del golfo, por mencionar sólo algunos de sus impactos más relevantes en los problemas de interés regional.

El proyecto que denominamos «PhytBloomEddy» busca realizar observaciones físicas y biogeoquímicas de alta resolución mediante tecnologías de frontera (figura 2) y, al mismo tiempo, implementar simulaciones numéricas físico-biogeoquímicas acopladas, también de alta resolución, que converjan en la descripción y cuantificación de las relaciones entre el fitoplancton, los nutrien-



▲ Figura 2. Marco conceptual y esfuerzo observacional que ilustra las relaciones entre fitoplancton, nutrientes, mezcla de invierno y la bomba biológica del carbono en el interior de un remolino anticiclónico de la corriente de Lazo.

tes y la mezcla vertical en un remolino anticiclónico de la corriente de Lazo. Nuestro objetivo es entender los mecanismos que controlan el acoplamiento entre la bomba biológica del carbono y la bomba física de transporte vertical en uno de estos remolinos, y proyectar los resultados para entender el ciclo global del carbono. Para lograrlo se combinarán las capacidades y experiencias de un equipo multidisciplinario compuesto por diferentes grupos de investigación nacionales (UABC, UNAM, CICATA-IPN y CICESE) e internacionales (Francia, Estados Unidos e Islandia).

Existen sólo dos o tres experimentos similares en el mundo y éste es el primero en un remolino de la corriente de Lazo. Contamos prácticamente con todo el equipo especializado, de alto costo, pero necesario (planeadores submarinos [*seagliders*], sensores de nutrientes, sensores de turbulencia, etc.) y con el personal capacitado para llevarlo a cabo. El financiamiento del Conacyt nos permite continuar utilizando esta infraestructura para hacer ciencia de frontera y evitar que se quede «en bodega» después de que el propio Consejo y las instituciones han hecho grandes esfuerzos para obtenerla.

El calentamiento global y el pulpo *Octopus maya* de Yucatán

CARLOS ROSAS VÁZQUEZ

Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación
(Sisal, Yucatán), Facultad de Ciencias,
Universidad Nacional Autónoma de México

LA PLATAFORMA DE YUCATÁN
(...) FACILITA LA VIDA DE UNA
GRAN DIVERSIDAD DE ALGAS
Y PASTOS MARINOS, ASÍ
COMO DE UNA MIRÍADA DE
INVERTEBRADOS Y PECES, LO
QUE DA PIE A INTERACCIONES
ECOLÓGICAS QUE SON ÚNICAS
EN EL GOLFO DE MÉXICO.

LA PENÍNSULA DE YUCATÁN CUENTA CON UNA de las plataformas continentales más extensas de nuestro país (185 000 km²) y posee una profundidad que oscila entre los 2 y los 75 m. Esta plataforma tuvo su origen en movimientos tectónicos que, a su vez, facilitaron el crecimiento de grandes extensiones de arrecifes de coral, razón por la cual la mayor parte de su superficie está cubierta de sedimentos carbonatados provenientes de arrecifes antiguos. Esta característica le confiere a la plataforma de Yucatán una compleja estructura rocoso-arenosa que, gracias a la penetración de la luz solar, facilita la vida de una gran diversidad de algas y pastos marinos, así como de una miríada de invertebrados y peces, lo que da pie a interacciones ecológicas que son únicas en el golfo de México. Además, la península de Yucatán cuenta con un asombroso sistema de con-



trol de temperatura: una surgencia de agua fría baña la plataforma y provoca que, incluso en verano, en la zona frente a este estado el agua del fondo se mantenga entre los 22 y los 26 °C.

En este ambiente fascinante y ecológicamente complejo habita una de las especies de pulpo más abundante del planeta, el *Octopus maya*. Dicha especie, derivada de un ancestro que apareció hace aproximadamente 5 millones de años, está adaptada para vivir en el ambiente térmicamente estable de la península de Yucatán, por lo que ahí se sostiene una de las pesquerías de pulpos más importantes a nivel mundial, con una producción anual que oscila alrededor de las 30 000 toneladas. Debido a su importancia para la pesca, nuestro grupo de trabajo –conformado por investigadores del CICESE, de la Universidad Austral de Chile, del Tecnológico de Tizimín y de la Facultad de Ciencias de la UNAM– emprendió, hace más de 10 años, una serie de investigaciones que se enfocaron en la sensibilidad térmica de esta especie. Dicho proyecto buscaba analizar la capacidad de este molusco para responder positivamente a los cambios de temperatura que, predeciblemente, se presentarían en el futuro debido al calentamiento de los océanos.



▲ Adultos de *Octopus maya* procedentes de la población silvestre y en acondicionamiento en las instalaciones del laboratorio de Ecofisiología Aplicada de la Facultad de Ciencias de la UNAM en Sisal, Yucatán. Fotografía de Marina Nunes Alexandre.

Durante este tiempo hemos descubierto que, a pesar de ser una especie tropical, el *Octopus maya* es altamente sensible a la temperatura. Si ésta sube por arriba de los 27 °C, se limita el desove de las hembras, se deteriora la capacidad reproductiva de los machos y se altera el desarrollo de los embriones. Si la temperatura se mantiene por mucho tiempo (más de 40 días) por arriba de los 30 °C, puede incluso provocar la muerte de los individuos jóvenes. Los estudios llevados a cabo por el grupo han mostrado que, probablemente, los límites térmicos de los pulpos estén ligados a una serie de mecanismos involucrados en el manejo energético en las mitocondrias, sitio donde se produce el 90 % de la energía que requieren para poder responder a los aumentos de temperatura.

Estas investigaciones nos han llevado a plantear la hipótesis de que las altas temperaturas pueden tener efectos que se transmiten entre generaciones. Al respecto, hemos podido constatar que juveniles –individuos jóvenes– procedentes de hembras sometidas a temperaturas mayores de 27 °C son más sensibles a la temperatura que aquéllos procedentes de hembras no estresadas. Esto sugiere que las altas temperaturas no sólo tienen efectos sobre los indivi-

LA ALIMENTACIÓN DE
MODELOS CON INFORMACIÓN
CONCRETA ACERCA DE LA
CAPACIDAD DE RESPUESTA
DEL *OCTOPUS MAYA* AL
CAMBIO DE TEMPERATURA
PUEDE SER DE GRAN
UTILIDAD PARA DESARROLLAR
ESTRATEGIAS FUTURAS DE
MANEJO DE LA ESPECIE.

duos que las padecen, sino que podrían provocar cierto tipo de modificaciones heredables. A dichas modificaciones, que no alteran directamente la herencia genética, sino tan sólo la manifestación de algunos genes, se les denomina epigenéticas.

Hasta ahora, los resultados de nuestras investigaciones sobre esta especie señalan que las alteraciones epigenéticas afectan la forma en que la progenie de madres térmicamente estresadas utiliza la energía, lo cual se manifiesta en tasas metabólicas aceleradas y un crecimiento más lento.

El proyecto de ciencia de frontera que ahora comienza tendrá como principal objetivo dilucidar si las alteraciones observadas en los juveniles de esta especie están ligadas a las limitaciones que impone la temperatura sobre el sistema de obtención de energía a nivel mitocondrial. Asimismo, se explorarán las posibles alteraciones epigenéticas que la temperatura ejerce sobre el manejo de la energía en la progenie proveniente de madres estresadas térmicamente.

Esta información, entrelazada con los conocimientos generados por los estudios oceanográficos de la región, nos permitirá generar modelos para predecir, con un alto grado de confiabilidad, los posibles cambios en la abundancia y distribución de la especie en distintos escenarios térmicos de la península de Yucatán. La alimentación de modelos con información concreta acerca de la capacidad de respuesta del *Octopus maya* al cambio de temperatura puede ser de gran utilidad para desarrollar estrategias futuras de manejo de la especie. De esta manera, será posible establecer un nexo entre lo que ocurre en las mitocondrias de los pulpos, los cambios de la temperatura en el océano y el futuro de la economía pesquera de la costa de la península de Yucatán, de la cual depende más del 70 % del producto interno bruto de esta zona de nuestro país.

Alternativas de prevención ante el problema de la bioincrustación

GREGORIO VARGAS GUTIÉRREZ

Doctor en Ciencia de Materiales. Investigador del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN, Unidad Saltillo.

EDDIE LÓPEZ HONORATO

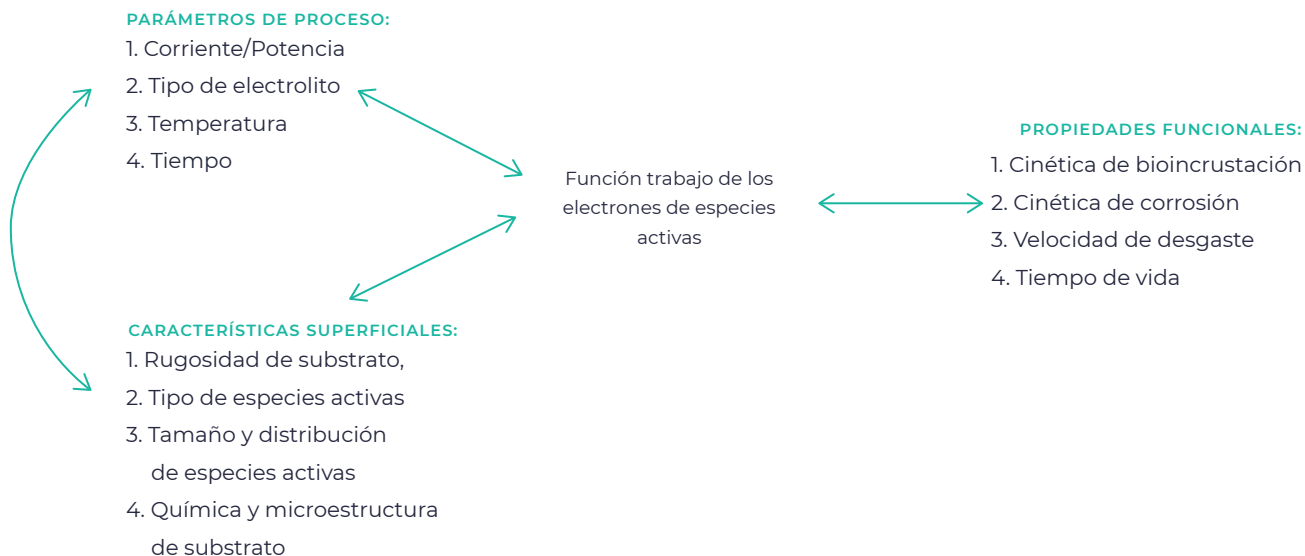
Doctor en Ciencia de Materiales. Investigador del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN, Unidad Saltillo.



BIOINCRUSTACIÓN O INCRUSTACIÓN BIOLÓGICA SON términos que señalan la formación progresiva de una biopelícula formada por microorganismos como bacterias, hongos, plantas, algas o animales pequeños sobre la superficie de materiales que se encuentran en ambientes húmedos o sumergidos en el agua. La Institución Oceanográfica Woods Hole, centro de investigación que se dedica al estudio de ciencia e ingeniería marinas, estima que más de 4 000

microorganismos diferentes son responsables de la degradación superficial de los materiales como consecuencia de fenómenos relacionados con la bioincrustación.

ESTRATEGIA ESPECÍFICA DE INTERRELACIÓN ENTRE LOS FENÓMENOS A NIVEL ATÓMICO Y MOLECULAR CON LAS PROPIEDADES FUNCIONALES



Este fenómeno tiene importantes implicaciones negativas en el consumo de energía, así como en el deterioro de materiales y de la salud. El crecimiento de microorganismos sobre la superficie de diversos materiales puede afectar su desempeño funcional; por ejemplo, en instrumentos quirúrgicos, sistemas de ventilación y climatización, membranas para el tratamiento y desalinización del agua, oleoductos, estructuras instaladas en los litorales (puertos y muelles) y en alta mar (plataformas marinas, estructuras subacuáticas y parques eólicos), así como en sistemas de enfriamiento de grandes equipos industriales y centrales eléctricas. La bioincrustación también afecta la acuicultura, pues aumenta los costos de producción y gestión, lo que disminuye su rentabilidad. Asimismo, industrias completas, como las involucradas en la fabricación de papel y en el procesamiento de alimentos, se pueden ver afectadas por este fenómeno.

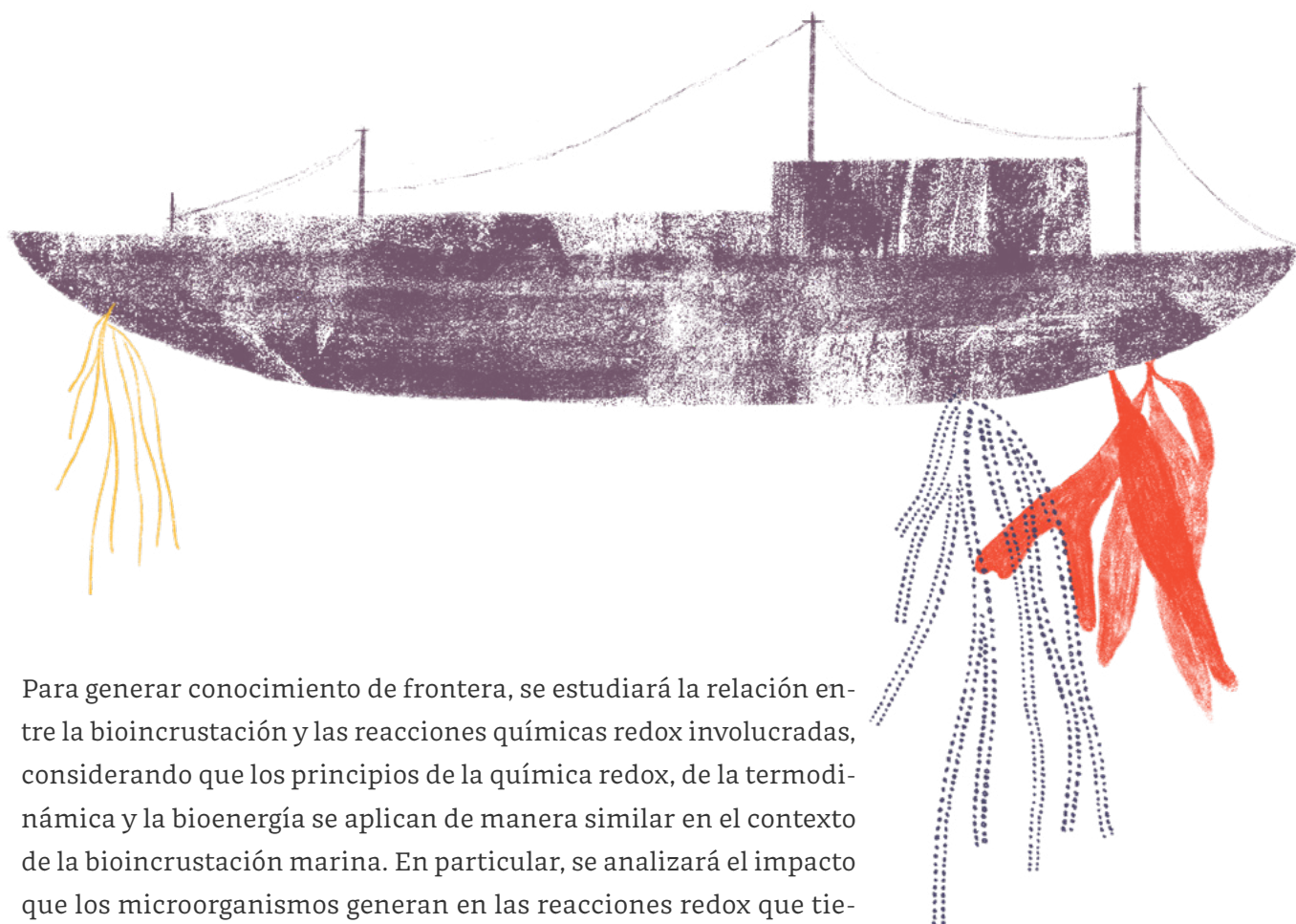
Los gobiernos y la industria gastan más de 5 700 millones de dólares al año para prevenir y controlar la bioincrustación marina, ya que ésta conlleva, por ejemplo, un aumento en el uso de combustible para las embarcaciones y en el costo de su mantenimiento. En este sentido, la bioincrustación también es res-

**EL OBJETIVO GENERAL
DE ESTA INVESTIGACIÓN
ES ACELERAR EL
DESCUBRIMIENTO
DE MATERIALES
ANTIBIOINCRUSTANTES
NUEVOS Y EFICIENTES.**

ponsable del incremento en las emisiones de dióxido de carbono y dióxido de azufre. En la actualidad, existen procedimientos para modificar la topografía y la energía superficial de los materiales de forma que se generen superficies resistentes a la bioincrustación. Además, se han desarrollado diferentes biocidas cuyo propósito es evitar la adhesión de microorganismos a la superficie de los materiales. Sin embargo, la cantidad potencial de combinaciones de sustratos (polímeros, cerámicos, metales, compuestos), de procesos de modificación superficial y de recubrimientos, así como la gran diversidad de compuestos activos (nanopartículas con diferente forma y composición) y de propiedades a estudiar (rugosidad superficial, energía superficial, ángulo de contacto con el agua, capacidad biocida, etc.) complican la determinación de los factores clave para generar superficies antibioincrustantes más efectivas. Sumado a esto, el desarrollo de nuevos materiales antibioincrustantes se vuelve aún más complicado cuando se requieren procesos que no afecten al medio ambiente.

Sobre la base de estas premisas se propuso el proyecto titulado «DAMA-Descubrimiento Acelerado de Materiales Antibioincrustantes» en el marco de la Convocatoria 2019 de Ciencia de Frontera, modalidad sinergia. El objetivo general de esta investigación es acelerar el descubrimiento de materiales antibioincrustantes nuevos y eficientes que sean capaces de evitar la formación de biopelículas en aplicaciones sanitarias y marinas. Para ello, se analizarán las propiedades físicas y químicas que dominan la superhidrofobicidad o capacidad biocida de recubrimientos cerámicos, poliméricos y metálicos, a través del uso de inteligencia artificial, experimentos de alto rendimiento y modelado informático.

En este proyecto participan 11 investigadores del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, del Centro de Investigación en Química Aplicada, de la Universidad Nacional Autónoma de México y de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, quienes trabajan de forma conjunta para desarrollar nuevos materiales de recubrimiento y nuevas tecnologías de modificación superficial para prevenir, de forma amigable con el medio ambiente, la adhesión de organismos a la superficie de diferentes materiales.



Para generar conocimiento de frontera, se estudiará la relación entre la bioincrustación y las reacciones químicas redox involucradas, considerando que los principios de la química redox, de la termodinámica y la bioenergía se aplican de manera similar en el contexto de la bioincrustación marina. En particular, se analizará el impacto que los microorganismos generan en las reacciones redox que tienen lugar en entornos naturales mediante química computacional; por ejemplo, las interacciones generadas por las actividades metabólicas de las células microbianas sobre superficies metálicas, cerámicas y poliméricas. Para correlacionar los fenómenos que ocurren a nivel atómico y molecular con la propiedad macroscópica de bioincrustación se usará la teoría del funcional de la densidad electrónica (DFT, por sus siglas en inglés) y el concepto de función trabajo de los electrones (EWF, por sus siglas en inglés).

De esta manera, la combinación del aprendizaje profundo, el trabajo experimental de vanguardia y el modelado químico permitirán desarrollar los primeros algoritmos de aprendizaje profundo para acelerar el descubrimiento y la comprensión de los materiales antibioincrustantes. La interrelación de estas tres disciplinas permitirá identificar o incluso predecir nuevas microestructuras y composiciones con una mayor capacidad antiincrustante.

Los ajolotes y su microbioma ante enfermedades letales emergentes

ERIA A. REBOLLAR CAUDILLO

Doctora en Ciencias Biomédicas.
Investigadora del Centro de Ciencias Genómicas,
Universidad Nacional Autónoma de México

LOS ANFIBIOS (RANAS, SALAMANDRAS Y CECILIAS) SE ENCUENTRAN DENTRO DE LOS GRUPOS EN MAYOR PELIGRO, NO SÓLO POR LA ACTIVIDAD HUMANA, SINO TAMBIÉN POR UNA ENFERMEDAD EMERGENTE LLAMADA QUITRIDOMICOSIS.

DESDE HACE VARIAS DÉCADAS, LA BIODIVERSIDAD del planeta se encuentra gravemente amenazada como consecuencia de diversas actividades humanas que conducen al calentamiento global, a la pérdida de hábitats y a la contaminación del ambiente. Los anfibios (ranas, salamandras y cecilias) se encuentran dentro de los grupos en mayor peligro, no sólo por la actividad humana, sino también por una enfermedad emergente llamada quitridiomycosis. Esta enfermedad es causada, por un hongo patógeno llamado *Batrachochytrium dendrobatidis* (Bd), que ha reducido poblaciones de más de 500 especies y coadyuvado a la extinción de más de 90 en todo el mundo, particularmente en regiones tro-



▲ *Ambystoma Mexicanum*
Cortesía de Conabio. Fotografía
de Miguel Ángel Sicilia Manzo

picales. La infección por Bd causa lesiones en la piel de los anfibios –lo que altera su balance osmótico y la transferencia de gases– y también paros respiratorios. Sin embargo, no todas las especies de anfibios son susceptibles a esta enfermedad, pues hay algunas que, mediante sus propias defensas o gracias a sus acompañantes bacterianos, logran resistirla o tolerarla.

Los anfibios, así como el resto de los vertebrados, tienen un sistema inmune que, mediante distintos mecanismos, les ayuda a responder ante la llegada de organismos patógenos, por ejemplo, a través de la secreción de péptidos antimicrobianos en la piel. Además, se ha identificado que esta última contiene una gran diversidad de bacterias (comúnmente denominados microbiomas) que son capaces de inhibir el crecimiento de Bd y proteger a los anfibios de la quitridiomycosis.

Gracias a estos descubrimientos y al avance en los métodos de secuenciación masiva ha surgido una nueva línea de investigación enfocada en estudiar la protección que estas bacterias brindan a



sus hospederos: los anfibios. Al igual que el microbioma humano y el de muchos animales y plantas, el microbioma de la piel de los anfibios cambia en su diversidad y función dependiendo de muchos factores. Estas comunidades microscópicas se ven afectadas por elementos externos como el clima y el tipo de hábitat, pero también parecen estar influenciadas por rasgos propios del hospedero, la etapa de su desarrollo o el microhábitat que explora.

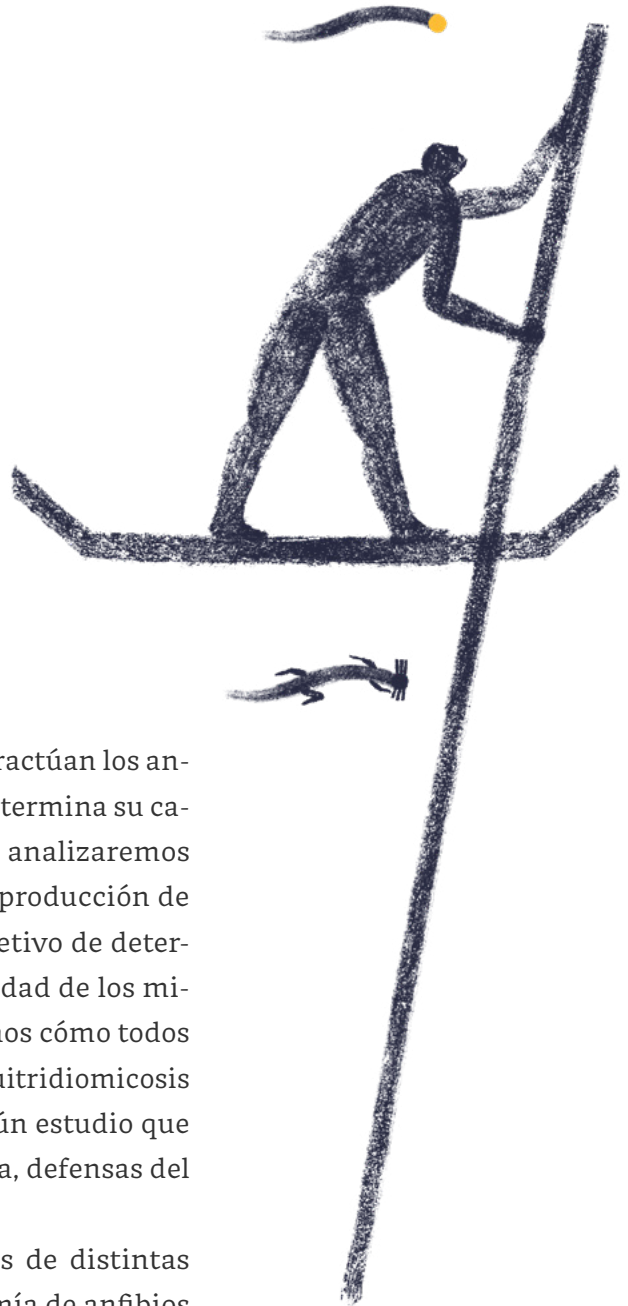
Recientemente, mi grupo de investigación en el Centro de Ciencias Genómicas de la UNAM, en colaboración con colegas de diversas instituciones del país, inició un proyecto en el marco de la convocatoria de Ciencia de Frontera del Conacyt. Éste se propone explorar los microbiomas de la piel de ocho especies de ajolotes que se encuentran en la Faja Volcánica Transmexicana: *Ambystoma altamirani*, *A. andersoni*, *A. dumerili*, *A. granulosum*, *A. mexicanum*, *A. ordinarium*, *A. taylori* y *A. velasci*. Los ajolotes son salamandras endémicas de nuestro país y la mayoría se encuentra bajo alguna categoría de riesgo debido a múltiples causas derivadas de la ac-

tividad humana. Son especies interesantes desde muchos puntos de vista, incluyendo su particular biología y su papel en nuestra cultura desde tiempos prehispánicos. Sin embargo, sabemos muy poco acerca del impacto de la quitridiomicosis en las poblaciones naturales de estos animales.

Aunado a lo anterior, recientemente se descubrió una nueva especie de hongo llamada *Batrachochytrium salamandrivorans* (Bsal), que afecta específicamente a las salamandras y que se ha detectado, hasta ahora, únicamente en Asia y Europa. La llegada inminente de Bsal al continente americano es preocupante debido a que Estados Unidos y México son los dos países con mayor diversidad de salamandras en el mundo. Por ello, cobra mayor relevancia explorar las interacciones que ocurren entre los ajolotes y su microbioma.

En este proyecto buscamos entender cómo interactúan los anfibios con su microbioma y cómo esta interacción determina su capacidad de responder ante enfermedades. Por ello, analizaremos la diversidad genética, la historia demográfica y la producción de péptidos antimicrobianos en los ajolotes con el objetivo de determinar cómo estos factores influyen sobre la diversidad de los microbiomas de su piel. Simultáneamente, analizaremos cómo todos estos factores se relacionan con la incidencia de la quitridiomicosis causada por Bd y Bsal. Actualmente, no existe ningún estudio que vincule todos estos aspectos en los anfibios (genética, defensas del hospedero y microbiomas).

En esta investigación participan especialistas de distintas áreas, entre ellas: ecología de comunidades, taxonomía de anfibios y quitridiomicosis, genética de la conservación, ecología microbiana y educación ambiental. Queremos aprovechar nuestras distintas experiencias para lograr entender las interacciones que ocurren entre los anfibios, sus microbiomas y las enfermedades emergentes que los aquejan, para poder avanzar en la conservación de estas especies tan importantes y emblemáticas para nuestro país.



La mirada de los niños, niñas y adolescentes a las violencias en Sonora

NOHORA CONSTANZA NIÑO VEGA

Doctora en Ciencias Sociales.

Investigadora en El Colegio de Sonora.

Responsable técnica del proyecto «Dinámicas de producción y reproducción de la violencia: las experiencias de vida de niños, niñas y adolescentes en Sonora», modalidad individual.



ACTUALMENTE, EN MÉXICO ACONTECEN DISTINTAS violencias que han dejado de ser excepcionales y se presentan de manera cotidiana. A diario se anuncian, en las noticias nacionales y locales, feminicidios, homicidios y desapariciones forzadas, así como episodios de violencia física y psicológica contra mujeres, niñas y niños, o violencia institucional contra las ciudadanas y los ciudadanos.

En Sonora, la población menor de 19 años asesinada durante el 2019, de acuerdo con las estadísticas del INEGI, asciende a 82 adolescentes, niñas y niños. El mayor número de víctimas (68) tenía entre 15 y 19 años. Adicionalmente, los datos del Secretariado

Ejecutivo del Sistema Nacional de Seguridad Pública mencionan que, durante el 2020, en las ciudades de Hermosillo y Nogales, se presentaron 7 feminicidios, 160 homicidios, 240 casos de abuso sexual, 194 amenazas, 27 casos de corrupción de menores, 1 429 casos de narcomenudeo y 649 casos de incumplimiento de obligaciones de asistencia familiar. Asimismo, de acuerdo con los datos de la Secretaría de Seguridad Pública Estatal de Sonora, de enero a junio del 2020 se registró un promedio de 1 809 llamadas al 911 por violencia intrafamiliar en la ciudad de Hermosillo y 551 en Nogales.

Sabemos que uno de los problemas con estas cifras radica en que sólo pueden contabilizarse los casos cuando hay una denuncia interpuesta, por lo que la cifra real permanece oculta. Sin embargo, resulta evidente que los números son mayores. Esta cifra oculta puede develarnos, por un lado, el grado de temor respecto a los actores criminales y el control que ejercen y, por otro, la violencia institucional, que se traduce en impunidad, procesos ineficaces y revictimizantes, así como en la desconfianza frente a las autoridades. Todos estos elementos pueden desincentivar la denuncia y aparentar una disminución de la gravedad del problema en términos cuantitativos.

En medio de estas distintas formas de violencia, la del narcotráfico es la más preponderante y visible. Si bien su importancia no puede soslayarse, también es cierto que la narrativa oficial se ha servido de ella para invisibilizar otras violencias que experimenta la sociedad mexicana: desde la violencia estructural que se profundiza en los espacios domésticos, escolares y comunitarios, hasta la violencia criminal (así como sus distintas interacciones). Consideramos que esta forma de abordar la coyuntura actual no aporta suficientes elementos para la comprensión y el análisis de la complejidad de la problemática, lo que, en consecuencia, tampoco permite generar propuestas de atención y prevención efectivas. Por tal razón, se plantea la necesidad de profundizar en este contexto mediante procesos de investigación cualitativa que, a partir del concepto de violencia crónica, puedan visibilizar el resto de las violencias que se viven y analizar de qué manera se interrelacionan entre ellas, al producirse y reproducirse en el territorio.

Por otro lado, la mayoría de los análisis de violencia tienden a concentrarse en la experiencia de personas adultas. Desde luego,



ESPERAMOS QUE ESTE
TRABAJO, ADEMÁS DE
INCENTIVAR A LOS JÓVENES
A CONSTRUIR CONOCIMIENTO
DESDE SUS PROPIAS VOCES,
CONTRIBUYA A INCIDIR EN
EL DISEÑO DE POLÍTICAS
PÚBLICAS ORIENTADAS A LA
ATENCIÓN Y PREVENCIÓN DE
LA VIOLENCIA.

este énfasis hace que la experiencia de adolescentes, niñas y niños quede silenciada y, en el caso de estos últimos, aparezca como protagonista sólo en el marco de discursos de criminalización. Por esta razón, el presente proyecto de ciencia de frontera tiene como objetivo comprender las interrelaciones entre distintos tipos de violencia y las formas en que afectan las experiencias de adolescentes, niñas y niños que viven en Hermosillo y Nogales. ¿Cómo experimentan estos entornos violentos? ¿De qué manera se sienten afectados por ellos? ¿Qué tipo de estrategias se diseñan para hacerles frente? Estas preguntas son fundamentales para profundizar en la comprensión del problema.

Para lograr el objetivo mencionado, hemos desarrollado una propuesta de investigación-acción que empleará una metodología cualitativa y hará uso de las herramientas que proporciona la educación popular para, con ello, propiciar el diálogo con niñas, niños y adolescentes en ambas ciudades. El trabajo se desarrollará a través de actividades lúdicas y artísticas que puedan ayudarles a construir sus narrativas y que, simultáneamente, permitan a las y los investigadores comprender de manera más profunda cuáles son las formas en que unas y otras violencias se concatenan.

Esperamos que este trabajo, además de incentivar a los jóvenes a construir conocimiento desde sus propias voces, contribuya a incidir en el diseño de políticas públicas orientadas a la atención y prevención de la violencia. Por ello, uno de los resultados de este proyecto se centra en el diseño de agendas políticas elaboradas desde la perspectiva de adolescentes, niñas y niños en ambas ciudades. Éstas contendrán tanto el diagnóstico de su realidad como las propuestas que ellos y ellas consideran necesarias para superar el estado actual de su comunidad. Esperamos que estas agendas propicien el diálogo entre adolescentes, niñas, niños y las instituciones, al igual que con la academia, la sociedad civil y las comunidades donde viven. De esta forma, podrán orientarse oportunamente los esfuerzos para abordar y atender estas violencias.



Efectos transgeneracionales de la exposición a plaguicidas

MARÍA ISABEL HERNÁNDEZ OCHOA

Doctora en Ciencias en la Especialidad de Toxicología.
Investigadora del Departamento de Toxicología,
Centro de Investigación y de Estudios Avanzados
del Instituto Politécnico Nacional (Cinvestav-IPN),
Unidad Zacatenco.

MIGUEL BETANCOURT LOZANO

Doctor en Ciencias en la Especialidad de Ecotoxicología
y Acuicultura. Profesor e investigador del Centro de
Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C. (CIAD),
Unidad Mazatlán.



DURANTE LOS ÚLTIMOS AÑOS HA CRECIDO LA PREOCUPACIÓN por estudiar las afectaciones particulares que un individuo puede tener cuando se expone a contaminantes y también, más específicamente, por entender cómo estos efectos pueden transmitirse a la descendencia familiar e incidir en la salud de futuras generaciones. A esto último se le conoce como impacto transgeneracional. Este fenómeno se ocasiona cuando determinados compuestos tóxicos pasan de la madre al feto e incrementan la posibilidad de que los nietos y bisnietos desarrollen diversos tipos de enfermedades. Existen evidencias científicas que indican que el impacto transgeneracional puede afectar a los animales, lo que incluye por supuesto a los humanos. Por ello, resulta fundamental comprender el fenómeno con mayor precisión.



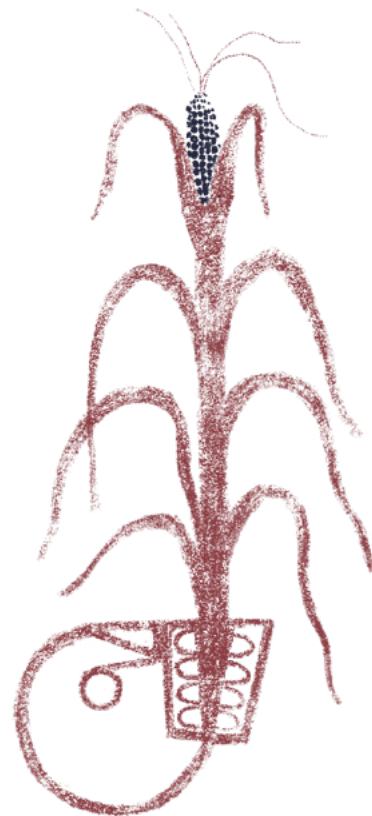
Para la comunidad científica, identificar los mecanismos que causan estos impactos de generación en generación es de vital importancia, pues sólo así pueden diseñarse estrategias de prevención efectivas. Esto resulta particularmente importante en el caso de los plaguicidas, compuestos tóxicos que se usan de manera intencional para incrementar la producción de alimentos y cuyos residuos, en muchos casos, tienen efectos nocivos para la salud de los productores e incluso, cuando permanecen adheridos a los alimentos, de los consumidores. Al ser compuestos tóxicos de uso extendido y con consecuencias significativas para todos los seres vivos que entran en contacto con ellos, estudiarlos de cerca resulta una tarea urgente. Por supuesto, cobran prioridad aquellos plaguicidas que

permanecen mucho tiempo en el ambiente, que son muy utilizados o sumamente tóxicos.

Dentro de este contexto, nuestro grupo de investigación, conformado por numerosos científicos de diversas instituciones, se ha dado a la tarea de realizar este tipo de estudios en dos compuestos tóxicos que tienen características preocupantes: el clorpirifos y el glifosato. El primero es un insecticida del grupo de los organofosforados que, a pesar de ser altamente tóxico, todavía hasta hace poco podía usarse sin restricciones en los hogares y en la agricultura para controlar todo tipo de insectos. El segundo es el herbicida más utilizado en el mundo para el control de malezas, tanto en la agricultura como en los hogares, y puede aún comprarse libremente en tiendas de autoservicio.

Ambos compuestos tóxicos cuentan con antecedentes de posibles afectaciones reproductivas, reportadas por distintos grupos científicos. En particular, experimentos con animales de laboratorio han demostrado que pueden inducir alteraciones en órganos reproductivos, en hormonas y en la producción de gametos. Por lo anterior, nuestro grupo de investigación desarrolla un proyecto de ciencia de frontera que se titula: «Evaluación de los efectos transgeneracionales potencialmente heredados por la exposición a clorpirifos y glifosato en dos modelos de experimentación», y cuyo propósito es arrojar luz sobre esta compleja problemática. Dicha investigación, apoyada por el Conacyt dentro de la categoría de Medicina y Ciencias de la Salud, será llevada a cabo por un grupo de investigadores expertos en áreas como toxicología, ecotoxicología, problemática del uso de plaguicidas, epigenética, enfermedades metabólicas y biología de la reproducción sexual.

El proyecto se desarrollará a partir de dos modelos de experimentación, uno enfocado en el pez cebra y otro en el ratón de laboratorio, con la finalidad de comparar los efectos de ambos compuestos tóxicos en dos especies distintas. A diferencia de los estudios en poblaciones humanas –que por sí mismos generan información valiosa–, los estudios en animales de laboratorio permiten coleccionar tejidos y células para analizarlos directamente y evaluar distintas generaciones en un tiempo relativamente corto, así como analizar biomoléculas y parámetros que indican el funcionamiento celular y molecular.



Así, nuestro grupo de trabajo realizará estudios que reúnen a distintas áreas de conocimiento con el objetivo de comprender las alteraciones transgeneracionales –aquellas que la progenie experimenta y no son producto de una exposición directa a los compuestos tóxicos, sino que responden a los cambios inducidos en las células sexuales de sus antecesores– causadas por el clorpirifos y el glifosato. Esto nos permitirá comprender las modificaciones que dichos plaguicidas producen en la reproducción sexual, al igual que su rol en la inducción de neurotoxicidad o de enfermedades metabólicas como la resistencia a la insulina.

Finalmente, la expectativa de realizar estudios de este tipo es producir conocimiento científico que sea utilizado en el proceso de toma de decisiones. De esta manera, las partes interesadas podrán tomar medidas para proteger a la población y al medio ambiente de los efectos a mediano y largo plazo de éstos y otros compuestos tóxicos.

Cien años de educación indígena y rural en perspectiva transdisciplinaria

MARCO ANTONIO CALDERÓN MÓLGORA

Profesor e Investigador del Centro de Investigaciones Antropológicas de El Colegio de Michoacán. Responsable técnico del proyecto «Cien años de educación indígena y rural en perspectiva transdisciplinaria: historias y desigualdad social», modalidad grupal. Corresponsables técnicos: Carlos Escalante (Colegio Mexiquense), Karina Vázquez (Universidad Nacional Autónoma de México, Unidad Morelia), Saúl Velasco (Universidad Pedagógica Nacional), Federico Mancera (Centro de Investigación y Docencia de Chihuahua) y Lorgio Coba (Universidad Autónoma de Yucatán).



EN EL 2021 SE CUMPLEN CIEN AÑOS DE LA FUNDACIÓN de la Secretaría de Educación Pública. Durante ese largo periodo, el gobierno mexicano impulsó distintos proyectos educativos enfocados en la población indígena y rural, con el objetivo de formar ciudadanas y ciudadanos, alcanzar la modernización del país y generar igualdad social.

Por varias décadas, en el marco de dichos proyectos, muchos políticos, intelectuales y científicos, hombres y mujeres, plantearon la «heterogeneidad cultural» de la población como uno de los grandes problemas de la nación.

Este término designa la gran diversidad de lenguas indígenas, de contextos naturales, de formas de concebir el mundo y de maneras de relacionarse que existen en el territorio mexicano. Dicha situación se observa claramente en las diferentes formas de alimentarse, de cuidar el cuerpo y de sanar enfermedades, en las maneras de ganarse la vida y satisfacer las necesidades primarias, es decir, en la multiplicidad de prácticas culturales. Dado que esta situación fue considerada problemática, los proyectos educativos del gobierno federal mexicano buscaron «civilizar», «regenerar», «alfabetizar», «asimilar», «incorporar», «integrar» o «aculturar» a la población indígena y rural.

Dos hechos son particularmente significativos. Por un lado, a pesar de que un propósito central del gobierno federal, tanto en la política educativa como en otras vinculadas con el desarrollo, ha sido promover la igualdad social, en la práctica la desigualdad tendió a incrementarse a lo largo del tiempo, sobre todo a partir de la significativa reforma del Estado inspirada en principios neoliberales que inició en la década de 1980.

Asimismo, a pesar de que los esfuerzos estatales estuvieron dirigidos a promover una cultura homogénea para la población mexicana, las diferencias culturales permanecieron. De hecho, en la década de 1990, se incorporó el concepto de «interculturalidad» a las políticas públicas, lo que implicó –al menos en el discurso– una transformación en la forma de concebir la diversidad cultural, que a partir de ese momento comenzó a reconocerse como un rasgo positivo de la sociedad contemporánea. De esta manera, la heterogeneidad cultural dejó de ser un problema nacional y llegó a convertirse en una virtud, lo que incluso le permitió adquirir un nombre distinto.



A pesar del aumento del número de escuelas, así como de los niveles educativos de algunos segmentos de la población a través de los años, México continúa siendo un país con una significativa heterogeneidad cultural –ahora calificada positivamente como diversidad– y con un problema creciente en relación con la desigualdad de oportunidades y acceso a los servicios, agudizado por un crecimiento demográfico significativo. Esto último ha dado paso a múltiples problemas que perjudican la calidad de vida de la mayor parte de la población y el funcionamiento de la democracia.

Para explicar la brecha entre los objetivos de los proyectos educativos de la Secretaría de Educación Pública enfocados en el ámbito rural e indígena y sus resultados concretos, hemos desarrollado un proyecto de investigación colectivo en el marco de la convocatoria de Ciencia de Frontera del Conacyt. En él analizaremos las transformaciones de las políticas educativas a lo largo del tiempo y exploraremos su relación con el tema de la desigualdad social. Para ello, haremos referencia a los siguientes factores: 1) los fundamentos teóricos e ideológicos que influyeron en la organización de los proyectos educativos; 2) la forma en que tales proyectos se implementaron en la práctica; 3) el contexto político local y regional, lo que incluye la politización del magisterio y la constitución o reproducción de cacicazgos individuales o gremiales; 4) la experiencia cotidiana de los docentes, alumnos y padres de familia en cuanto a la forma de hacer efectivos sus derechos relacionados con la educación; 5) la manera en que la población se apropió de dichos proyectos; y 6) sus posibles efectos en la movilidad social.

El objetivo de nuestra investigación es explicar las consecuencias sociales, culturales y políticas de los proyectos de educación indígena y rural a lo largo de los cien años de existencia de la Secretaría de Educación Pública. Para ello, reconstruiremos la historia de algunos internados indígenas, de ciertas escuelas normales rurales, de dos experiencias de alfabetización bilingüe y de algunas instituciones de educación intercultural.

La propuesta consiste en analizar instituciones específicas. En cuanto a los internados indígenas consideramos el caso de Paracho, en Michoacán; los de Tónachi y Eréndira, en Guachochi, Chihuahua; el de Balamtún, en Yucatán; y el de Zinacantán, en los Altos de Chiapas, así como el de Carrillo Puerto, en Quintana Roo. En cuanto a



las escuelas normales rurales analizaremos la Normal Luis Villareal (El Mexe), en Hidalgo; la Normal Vasco de Quiroga, en Tiripetío, Michoacán; y la Normal Ricardo Flores Magón, en Saucillo, Chihuahua. Se analizarán también los casos de San Diego Tekax, de Yucatán, y de Hecelchakán, Campeche. Estudiaremos también las experiencias de alfabetización bilingüe en algunas zonas de la península de Yucatán y de la sierra purépecha. En cuanto a la educación intercultural, se analizará el caso de la Normal Indígena Intercultural Bilingüe Jacinto Canek, de Chiapas; la Escuela Secundaria Técnica 87 Cruz Rarámuri, de Basihuare, pequeña población del municipio de Guachochi, Chihuahua; y la Universidad Intercultural del Estado de México. En el camino, se añadirán otros casos, dependiendo de la disposición de recursos, tanto humanos como materiales.

Tanto en la historia como en el presente, buscamos hacer etnografía, es decir, analizar dinámicas de interacción vinculadas a la organización, implementación y apropiación de los proyectos educativos, esto es, procesos en los que formas de actuar, de pensar y comportarse en la vida cotidiana, a fuerza de repetirse, se transforman en hábitos o costumbres. A su vez, nos interesa explorar la relación entre la diversidad cultural, la (des)igualdad social y el ejercicio de los derechos ciudadanos. Una reflexión al respecto permitirá reconocer los límites de los proyectos del pasado y de las políticas actuales, así como señalar con mayor claridad los retos de las políticas educativas futuras dirigidas a una sociedad culturalmente diversa e interconectada que cada vez se vuelve más compleja.

Como resultado de este proyecto, se publicará un libro que analice los estudios de caso considerados y explore la relación entre educación y desigualdad social. Dicha publicación incluirá una sección estadística que aporte información suficiente para reflexionar en torno a los niveles de escolaridad y las posibilidades de movilidad social. Produciremos además un documental sobre la historia de la educación indígena y rural, así como algunas publicaciones de difusión. Por último, crearemos un «Archivo de la Palabra» en Yucatán y una base de datos con la información recolectada a lo largo del proyecto.

**BUSCAMOS HACER
ETNOGRAFÍA, ES DECIR,
ANALIZAR DINÁMICAS DE
INTERACCIÓN VINCULADAS
A LA ORGANIZACIÓN,
IMPLEMENTACIÓN Y
APROPIACIÓN DE LOS
PROYECTOS EDUCATIVOS.**

Métodos computacionales para el análisis de la conducta canina

HUMBERTO PÉREZ ESPINOSA

Doctor en Ciencias Computacionales. Investigador en la unidad de transferencia tecnológica del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada Unidad Nayarit (CICESE-UT3).

Responsable técnico del proyecto de Ciencia de Frontera titulado «Desarrollo de métodos computacionales basados en el reconocimiento de patrones en vocalizaciones, movimientos y posturas para el análisis y diagnóstico del comportamiento de los perros de búsqueda y asistencia», modalidad grupal.

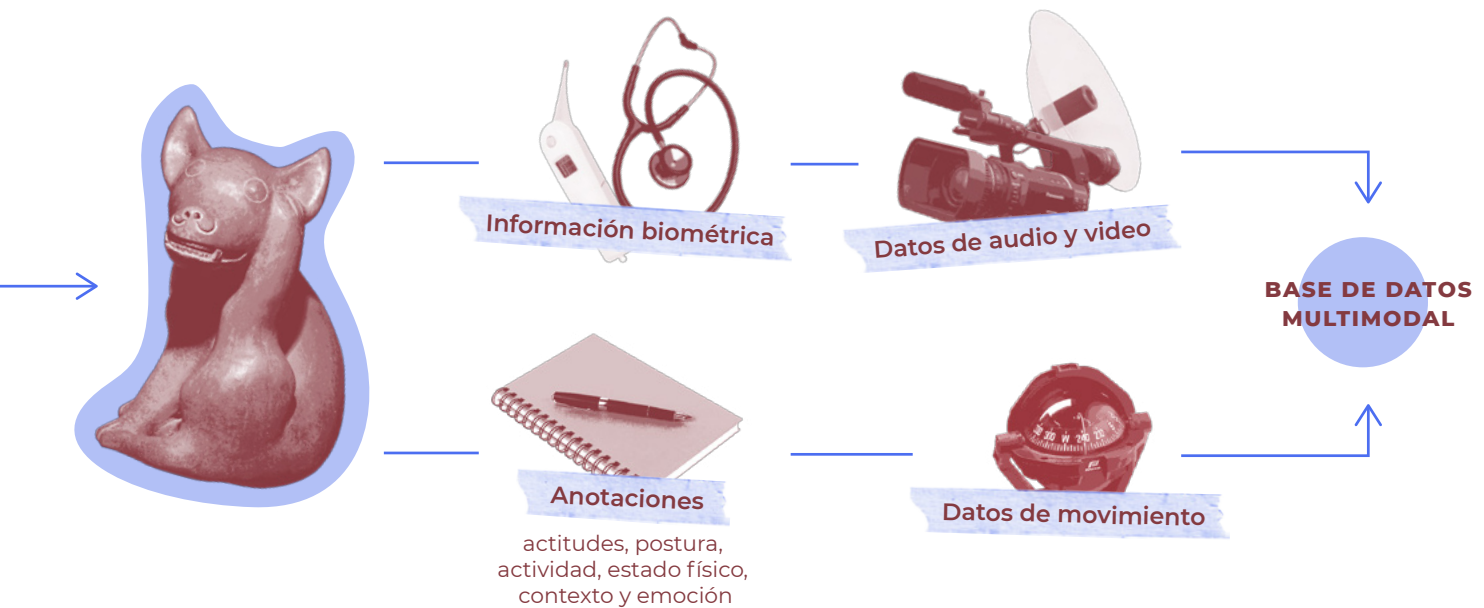


LOS PERROS SON LOS ANIMALES DE COMPAÑÍA más comunes en todo el mundo, un hecho motivado por su excepcional comportamiento social con los humanos. A diferencia de muchos animales, son capaces de aprender comandos vocales, identificar estados de ánimo, mantener contacto visual y reconocer expresiones faciales. Además, por contar con una gran agilidad y sentidos del olfato y oído superiores a los del humano, los perros han sido entrenados con éxito para tareas de búsqueda, rescate y asistencia. Por lo tanto, resulta relevante realizar investigación científica con el fin de comprender las bases de su comportamiento y los canales de comunicación que emplean, pues esto permitirá incrementar el aprovechamiento de sus capacidades en beneficio del ser humano y garantizar el bienestar del animal.



Los perros tienen varios comportamientos característicos con los cuales transmiten información hacia sus conespecíficos (individuos de su misma especie) y heteroespecíficos (individuos de otra especie); por ejemplo, mostrar los colmillos, agudizar su ladrido, encorvarse o erguir la cola. El principal factor regulador detrás de estas conductas es el estado interno del animal. Así, mediante el estudio de sus gestos, será posible comprender mejor el origen, motivo y función de las formas de expresión del perro.

El proyecto de ciencia de frontera presentado en este artículo tiene como objetivo llevar a cabo una investigación de las características conductuales vocales y corporales expresadas en los diferentes estados internos de los perros (físicos, emocionales y contextuales) para generar modelos que interpreten su comportamiento y, de esta manera, producir información útil para la toma de decisiones de dueños, cuidadores, veterinarios, entrenadores y discapacitados que conviven y trabajan con ellos. Este proyecto pertenece a la modalidad grupal, es dirigido por CICESE-UT3 y en él participan la Universidad Autónoma de Tlaxcala, la Universidad Autónoma de Yucatán y el Instituto Nacional de Astrofísica Óptica y Electrónica. Además, cuenta con la valiosa colaboración de miembros del Programa de Manejadores de Perros de Búsqueda y Rescate de la UNAM, quienes validan la relevancia de las problemáticas abordadas y la pertinencia de las soluciones propuestas.



Como caso de estudio, se abordará la problemática en los procesos de selección, entrenamiento y ejecución de las tareas del perro de búsqueda y asistencia (PBYA). A partir de esto, se desarrollará un conjunto de métodos computacionales de análisis multimodal de sus características conductuales vocales y corporales. El análisis incluirá información de audio, video y movimiento, así como información biométrica que servirá como evidencia para reafirmar el estado físico y emocional del animal. El análisis de estas fuentes de información con técnicas novedosas de procesamiento de señales e inteligencia artificial permitirán determinar el estado del perro en un momento determinado, lo cual abrirá un campo prometedor para desarrollar nuevas tecnologías de comunicación interespecies.

Un elemento fundamental del proyecto es la creación de una base de datos con información representativa de las expresiones de diferentes estados internos de los PBYA. En la figura 1 se muestra el proceso mediante el cual se pretende generar dicha base de datos. En éste participan etólogos, entrenadores de perros y científicos computacionales. Con base en los datos recolectados, se desarrollará un método para el análisis de expresiones caninas basado en técnicas de inteligencia artificial de última generación que fusionará la información de las diferentes fuentes para, posteriormente, generar una interpretación y un perfilado del animal.

▲ Figura 1. Fuentes de información usadas y proceso de generación de una base de datos multimodal acerca del comportamiento de PBYA.



Dicho método implica un análisis unimodal y multimodal (audio, video, aceleración, giro, biometría) de las expresiones de los PBYA que permite identificar comportamientos relevantes para conocer el estado interno del animal y, con base en esto, generar información valiosa para su entrenamiento. De esta manera se hace posible relacionar ciertas expresiones (vocalizaciones, movimientos, posturas, etc.) con ciertos estados físicos (hambre, fatiga, calor, dolor, etc.) o emocionales (felicidad, ira, miedo, angustia, etc.) y contextos conductuales (juego, agresión, pelea, soledad, etc.).

A partir de lo anterior se generarán indicadores clave de aptitud y desempeño de los PBYA en los procesos de selección, entrenamiento y ejecución de sus tareas. En esta medida, los resultados del proyecto beneficiarán, en el corto plazo, a entrenadores y usuarios de este tipo de perros. Además, el desarrollo de esta línea de investigación podría generar un impacto importante en nuestra sociedad y cultura. En específico, la detección y clasificación automática de comportamientos del perro doméstico podrían usarse para crear sistemas computacionales de asistencia, empleados en entornos inteligentes de la vida cotidiana.

Estrategias de adaptación de organismos extremófilos en ambientes simulados de Marte

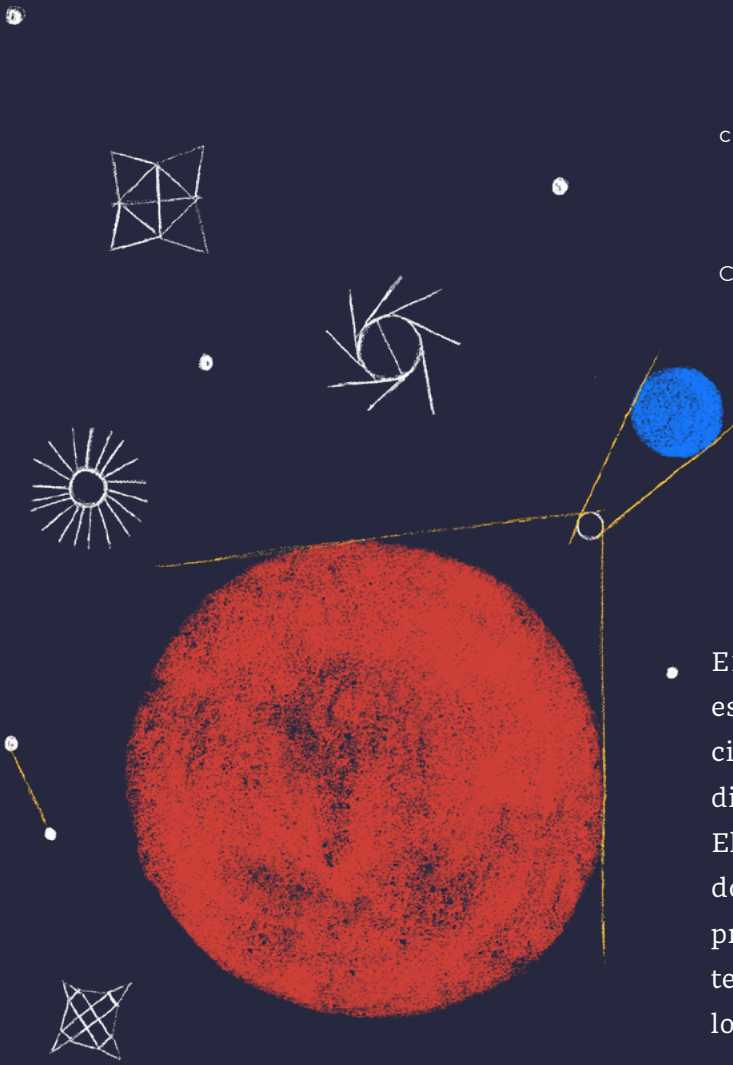
SANDRA IGNACIA RAMÍREZ JIMÉNEZ

Doctora en Química. Investigadora del Centro de Investigaciones Químicas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Responsable técnica del proyecto «Estrategias de adaptación de organismos extremófilos ante oxianiones clorados en ambientes simulados de Marte», modalidad grupal.

MARISELA AGUIRRE RAMÍREZ

Doctora en Ciencias. Investigadora del Departamento de Ciencias Químico-Biológicas, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Participante del proyecto «Estrategias de adaptación de organismos extremófilos ante oxianiones clorados en ambientes simulados de Marte», modalidad grupal.

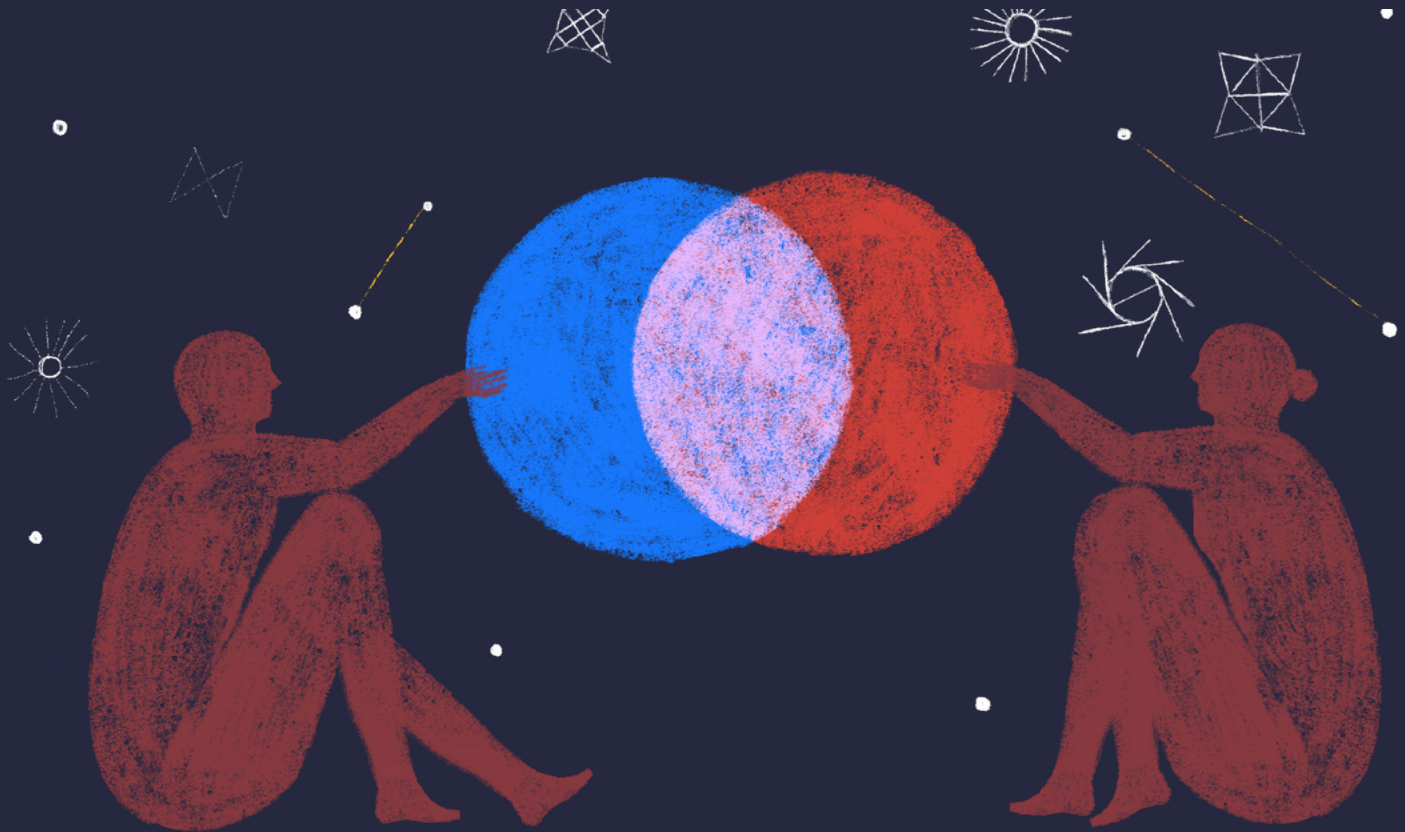
- EL PLANETA MARTE ES UNO DE LOS LUGARES MÁS estudiados del sistema solar. Las antiguas civilizaciones lo observaban a simple vista y asociaron su distintivo color rojo con el dios romano de la guerra. El sobrevuelo que la nave Mariner 4 realizó alrededor del planeta rojo en 1965 permitió capturar las primeras fotografías de su superficie y reveló la existencia de cráteres, una atmósfera delgada y hielo en los casquetes polares.



Motivadas por la idea de que en algún momento de su historia geológica Marte pudo haber albergado vida microscópica, las agencias espaciales de varios países —entre los que se cuentan la extinta Unión Soviética, Estados Unidos, Japón, diversos Estados de la Unión Europea, Rusia, India y, más recientemente, los Emiratos Árabes Unidos y China— prepararon misiones de exploración para conocerlo con mayor detalle. La Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio de Estados Unidos (NASA, por sus siglas en inglés) cuenta con el mayor número de misiones que han logrado amartizar —es decir, posarse exitosamente sobre la superficie del planeta rojo—, lista que comienza con la nave Viking 1 (20 de julio de 1976) y llega hasta la nave Perseverance (18 de febrero de 2021).

La información recolectada por las misiones de exploración espacial permite conocer aspectos relevantes de Marte. Por ejemplo, que su temperatura puede disminuir hasta $-143\text{ }^{\circ}\text{C}$, pero durante el día puede ser cercana a los $35\text{ }^{\circ}\text{C}$, o que la presión atmosférica sobre su superficie es menor al 1 % de la presión atmosférica terrestre estándar, que es de 1 atmósfera. Estas dos condiciones hacen imposible la existencia de agua líquida sobre la actual superficie de Marte, lo cual dificulta enormemente la existencia de vida en ese planeta.

En Marte, las evidencias visibles de erosión fluvial como canales, cañones y deltas, así como la presencia de minerales como la hematita (Fe_2O_3) o la jarosita ($\text{KFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$), cuya formación únicamente puede ocurrir en presencia de agua, permiten hacer inferencias sobre el pasado de este planeta, pues indican que hace al menos 3 800 millones de años, la superficie de Marte pudo haber albergado cuerpos vastos de agua líquida. Por otro lado, cuando la nave robótica Phoenix amartizó, en mayo de 2008, el efecto que sus cohetes tuvieron al calentar y fundir el suelo marciano permitió evidenciar la existencia de salmueras, cuya naturaleza química fue confirmada por dos grupos de investigación independientes. Se trataba de sales hidratadas, muy probablemente perclorato de calcio ($\text{Ca}(\text{ClO}_4)_2$) combinado tal vez con cloratos (ClO_3^-). Tanto los cloratos, como los percloratos, son sustancias altamente oxidantes y tienen la capacidad de reducir significativamente el punto de congelación del agua en las condiciones de presión atmosférica y temperatura que existen en dicho planeta. Esto significa, en tér-



minos concretos, que podría existir agua líquida en la actual superficie de Marte, en regiones muy específicas y por periodos cortos de tiempo. ¿Será esta agua líquida temporal suficiente para permitir la existencia de seres vivos microscópicos? Ésta es una de las preguntas centrales de nuestro proyecto de investigación, que recibe apoyo a través de la convocatoria de proyectos de Ciencia de Frontera del Conacyt.

Nuestras investigaciones están orientadas hacia la evaluación de la capacidad de crecimiento de algunos microorganismos que proponemos como modelos biológicos de estudio. Tal es el caso del *Bacillus subtilis*, una bacteria que ha demostrado alta resistencia ante diversos factores de estrés relacionados con condiciones del espacio exterior, así como de la *Cobetia marina*, una bacteria halófila que en condiciones terrestres puede crecer en concentraciones de cloratos y percloratos iguales o superiores a las reportadas para la superficie de

Marte. Además de exponerlas a la presencia de sales de cloratos y percloratos, se evaluará también el efecto que tienen sobre su crecimiento la tenue atmósfera de Marte, rica en dióxido de carbono, la radiación ultravioleta que recibe la superficie marciana y el potencial efecto protector del suelo. El monitoreo de indicadores específicos del metabolismo de estas bacterias proporcionará información que nos permitirá comprender con mayor detalle las estrategias de adaptación que utilizan y, con ello, evaluar mejor la posible habitabilidad de algunos de los sitios explorados por misiones robóticas en la superficie de Marte, aspecto de particular relevancia en temas de exploración espacial. De esta manera, las investigaciones realizadas en laboratorios terrestres complementarán la información colectada por las misiones de exploración espacial y la sinergia que se genere entre ellas nos permitirá conocer mejor el universo.

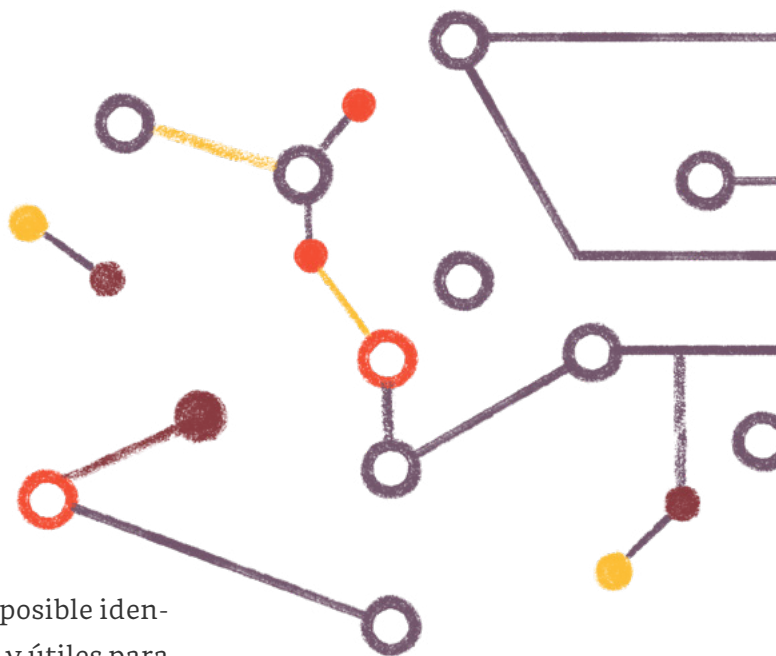
Estructura electrónica e inteligencia artificial aplicada a la química en México

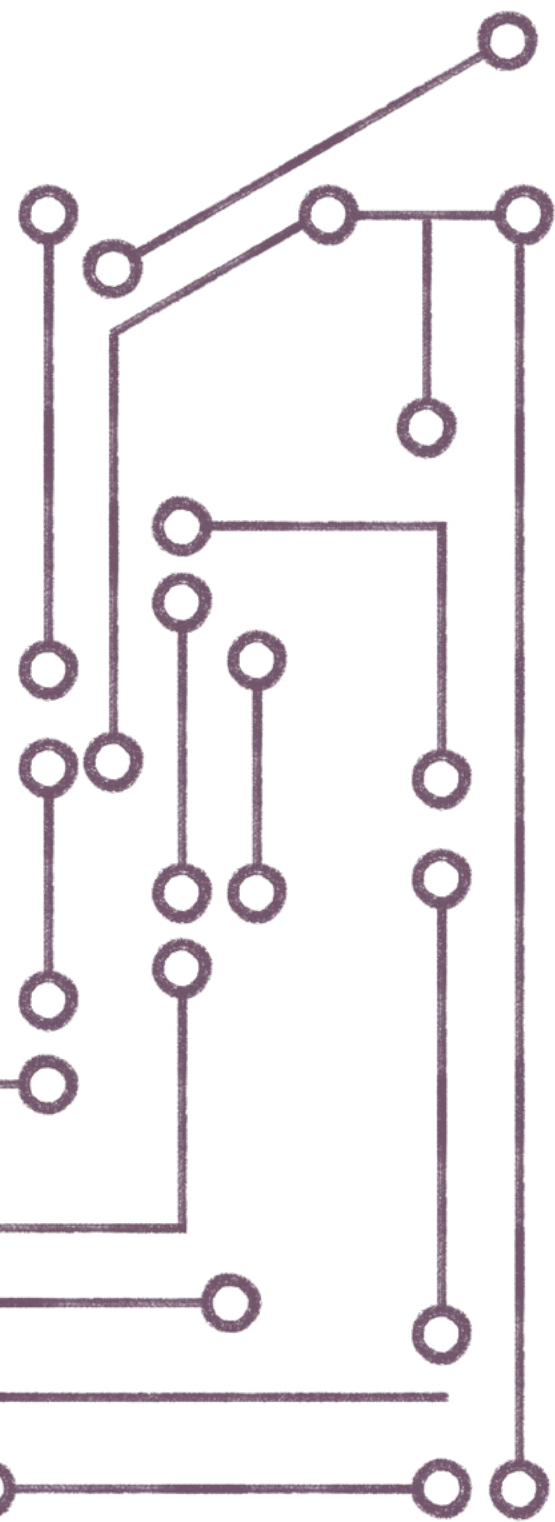
JOSÉ LUIS GÁZQUEZ MATEOS

Doctor en Físicoquímica Teórica. Profesor del Departamento de Química, Universidad Autónoma Metropolitana - Iztapalapa. Responsable técnico del proyecto de Ciencia de Frontera titulado «Estructura electrónica e inteligencia artificial aplicada a problemas actuales de tecnología química en México», modalidad sinergia.

EN ESTE ARTÍCULO PRESENTAMOS NUESTRO proyecto de investigación, que se desarrollará gracias al apoyo financiero de Conacyt. Esta propuesta corresponde a la modalidad de sinergias, pues implica la participación de varias instituciones y un conjunto de investigadores.

Desarrollar metodologías teóricas para abordar temas de frontera en fisicoquímica permite aportar respuestas novedosas a problemas de la industria química. A partir del conocimiento de la estructura electrónica de un conjunto muy grande de sistemas que potencialmente cumplen con las condiciones para una aplicación específica, es posible identificar los requisitos moleculares más representativos y útiles para ella. Así, una vez que contamos con esta información, podemos llevar a cabo el desarrollo final a nivel experimental, sólo para el gru-





po de sistemas que los cumpla mejor, de manera que resulte más eficiente y viable la búsqueda de compuestos químicos para aplicaciones específicas.

Con ese fin, proponemos la integración de tres campos del conocimiento: el cómputo de alto desempeño (CAD), la mecánica cuántica y la inteligencia artificial (IA). De esta manera será posible predecir con gran precisión la estructura y propiedades de materiales relacionados con varios problemas actuales de la industria mexicana.

El CAD es la herramienta necesaria para la realización de los cálculos de estructura electrónica de las moléculas por medio de la mecánica cuántica y, también, para la identificación de patrones de comportamiento en conjuntos de datos que pueden ser complejos debido a la naturaleza y cantidad de elementos. Dicha tarea se realizará a través de técnicas de IA con la infraestructura del Laboratorio Nacional de Cómputo de Alto Desempeño (LANCAD), integrado por los centros de supercómputo del Cinvestav, de la Universidad Autónoma Metropolitana y de la Universidad Nacional Autónoma de México, los cuales están interconectados mediante una red de fibra óptica de alta velocidad que corre por los ductos del metro de la Ciudad de México.

Dado que la precisión de las predicciones obtenidas por medio de IA depende, en gran medida, de la calidad de los datos contenidos en los conjuntos de entrenamiento, resulta relevante para el proyecto realizar cálculos de las estructuras electrónicas de sistemas con muchos átomos, que a la vez sean capaces de predecir geometrías y energías con una gran exactitud. Para ello, emplearemos los métodos de la mecánica cuántica diseñados para tratar moléculas que poseen muchos electrones (teoría de funcionales de la densidad electrónica) y, en paralelo, continuaremos con la mejora de estos métodos para incrementar su capacidad predictiva. También desarrollaremos indicadores de reactividad química que permitan identificar los requisitos que debe reunir la estructura electrónica para que los sistemas estudiados cumplan con las propiedades que se necesitan de acuerdo con el problema que se analice.

Con esta metodología abordaremos problemas de interés nacional como la desulfuración del petróleo mexicano, la toxicidad de pesticidas y sus impurezas, la formación de polimorfos de inte-

rés farmacéutico, las estructuras y propiedades de las sustancias amorfas para desarrollar dispositivos de almacenamiento y de los sistemas magnéticos para el diseño de sensores químicos.

En el caso de la desulfuración del petróleo mexicano, nuestro objetivo es obtener nuevos materiales que sean candidatos viables para reducir el contenido de azufre en el crudo maya, con la finalidad de disminuir su impacto en el medio ambiente.

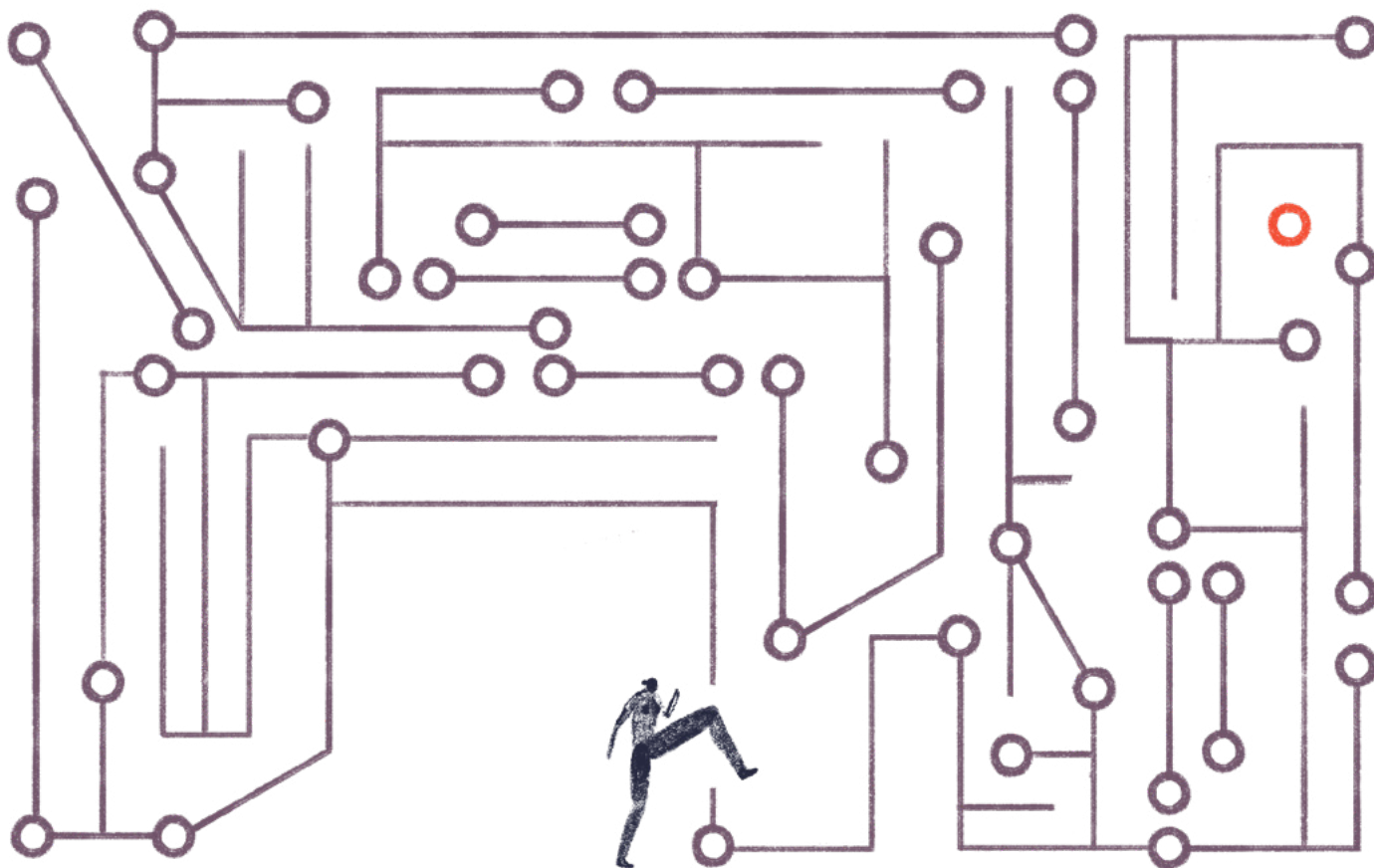
Por otra parte, la toxicidad de pesticidas y las impurezas que los acompañan necesitan cuantificarse. Nuestro objetivo es desarrollar modelos predictivos de las propiedades toxicológicas de estos compuestos, en particular para el caso de impurezas que aparecen en cantidades tan pequeñas que son difíciles de cuantificar experimentalmente. Además, en conjunto con metodologías de búsqueda virtual automatizada, buscaremos nuevos pesticidas con un mejor perfil toxicológico.

Otra industria que se beneficiará con esta investigación es la farmacéutica. La determinación de las formas en que cristaliza una molécula orgánica (polimorfos) es de gran importancia, ya que están directamente ligadas con el principio activo de los medicamentos. Nuestro objetivo es desarrollar un protocolo general para determinar de manera sistemática los polimorfos de una molécula a partir del estudio particular de la aspirina, el acetaminofén, la glicina y la piridina, estas dos últimas son moléculas pequeñas semiflexibles.

La información obtenida será útil para la industria electrónica, pues muchos dispositivos emplean carbón vítreo y silicio amorfo, sustancias que analizaremos. Para alcanzar una descripción confiable de estos sistemas es importante conocer con detalle su estructura molecular, lo cual exige generar potenciales que tomen en cuenta la formación y el rompimiento de enlaces. El propósito es utilizar los resultados de la estructura electrónica en combinación con una red neuronal para, con ello, generar dichos potenciales para ambos sistemas.

Finalmente, con el objeto de acelerar el desarrollo de materiales magnéticos que puedan utilizarse como sensores o elementos en electrónica molecular, resulta necesario estudiar moléculas con

LA INFORMACIÓN OBTENIDA
SERÁ ÚTIL PARA LA INDUSTRIA
ELECTRÓNICA, PUES MUCHOS
DISPOSITIVOS EMPLEAN
CARBÓN VÍTREO Y SILICIO
AMORFO, SUSTANCIAS QUE
ANALIZAREMOS.



metales de transición que modifiquen ligeramente su estructura electrónica –relacionada con sus propiedades magnéticas– dentro del rango de temperatura adecuado para la aplicación considerada. Dado que el número de sistemas que potencialmente pueden reunir estas características es enorme, en este proyecto se pretende generar una biblioteca muy grande de complejos metálicos que se explorará con técnicas de IA. Es importante señalar que los protocolos de IA generados para resolver los problemas aquí planteados podrán adaptarse en el futuro a otros temas similares.

En el grupo de trabajo participan quince investigadores asociados a cinco instituciones de educación superior (Cinvestav, UAEH, UAM, UNAM y UV). Entre ellos, hay expertos en el desarrollo de la teoría de funcionales de la densidad y de indicadores de la reactividad química, así como en calcular la estructura electrónica mediante técnicas que utilizan CAD y en IA. Tenemos la expectativa de que, con la sinergia de todos, se alcancen los objetivos que nos hemos planteado.

Física de Moiré

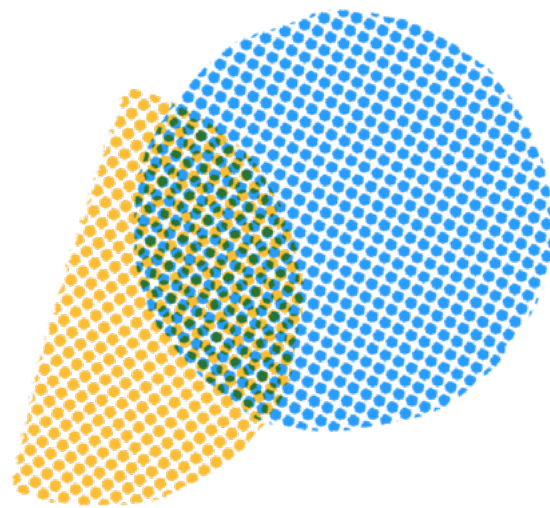
RUBÉN G. BARRERA

Doctor en Física. Investigador emérito del Instituto de Física de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Responsable técnico del proyecto «Analogías en la física de sistemas bidimensionales rotados de escala atómica a escala nanométrica», modalidad sinergia.

EN ESTE ARTÍCULO EXPONGO, SOMERAMENTE, el objetivo de un proyecto de ciencia básica que busca entender algunos fenómenos físicos particulares, que aparecen en sistemas bidimensionales. Este objetivo no se relaciona con un campo de aplicación específico, sino que busca la comprensión profunda del comportamiento de estos sistemas, lo que nos permitirá ampliar la frontera del conocimiento.

La forma más fácil de explicar lo que se busca en este proyecto es analizar su título: «Analogías en la física de sistemas bidimensionales rotados: de escala atómica a escala nanométrica». Lo primero por aclarar es que los sistemas bidimensionales a escala atómica son conjuntos de átomos, ligados entre sí, formando una capa extremadamente delgada, cuyo grosor tiene la dimensión de un solo átomo, algo mucho menor a una milésima de micra, siendo la micra la milésima parte de un milímetro. Por otra parte, el término *escala nanométrica* implica que la escala en las que se expresan las longitudes relevantes del sistema, estará dada en nanómetros; siendo un nanómetro la mil millonésima parte de un metro. De



esta manera, los sistemas bidimensionales a escala nanométrica son conjuntos de partículas de tamaño nanométrico –de uno a cien nanómetros– dispuestas sobre un sustrato plano y colocadas de tal manera que no se encimen una sobre otra y formen así una monocapa con un ancho de dimensiones nanométricas. A diferencia de los sistemas bidimensionales de escala atómica, en los sistemas bidimensionales de escala nanométrica cada una de las partículas que los componen tiene de miles a millones de átomos.

La otra palabra que aparece en el título del proyecto es *analogías* y se refiere a la similitud como una herramienta metodológica. Mediante la comparación entre estos dos sistemas que comparten la bidimensionalidad de su geometría, pero que difieren en sus dimensiones y su composición, es posible aprovechar el conocimiento de las características fácilmente identificables en un sistema para buscarlas en el otro y viceversa.

Antes de explicar la palabra *rotados*, que aparece también en el título y es el término clave que otorga la originalidad a nuestro proyecto, haré un paréntesis para exponer por qué estos sistemas son interesantes y han captado recientemente la atención de muchos investigadores en diversas partes del mundo.

Durante mucho tiempo, uno de los problemas fundamentales en el estudio de la materia sólida fue entender por qué un material (como el cobre) conduce la electricidad, mientras que otro (como el vidrio) no lo hace. Esta cuestión pudo resolverse hasta la década de 1920, gracias a la aparición de la mecánica cuántica, que hizo posible el estudio de las propiedades de la materia sólida, a nivel fundamental. Los avances en esta materia dieron lugar, en 1940, a la publicación del libro de Frederick Seitz intitulado *Teoría moderna de los sólidos*. En él se estudian a detalle las propiedades de los cristales, concebidos como un agregado de átomos dispuestos en el espacio, de manera que una configuración de unos cuantos átomos (celda unitaria) se repite periódicamente en las tres direcciones del espacio. Debido a que la mayoría de las sustancias cristalizan a una temperatura suficientemente baja, el estudio de los cristales no sólo abrió un campo de investigación fundamental, sino que creó todo un bagaje conceptual para el futuro estudio de la materia en estado sólido.

Con dicho antecedente, las investigaciones acerca de las propiedades de los cristales condujeron a preguntarse ¿qué sucede

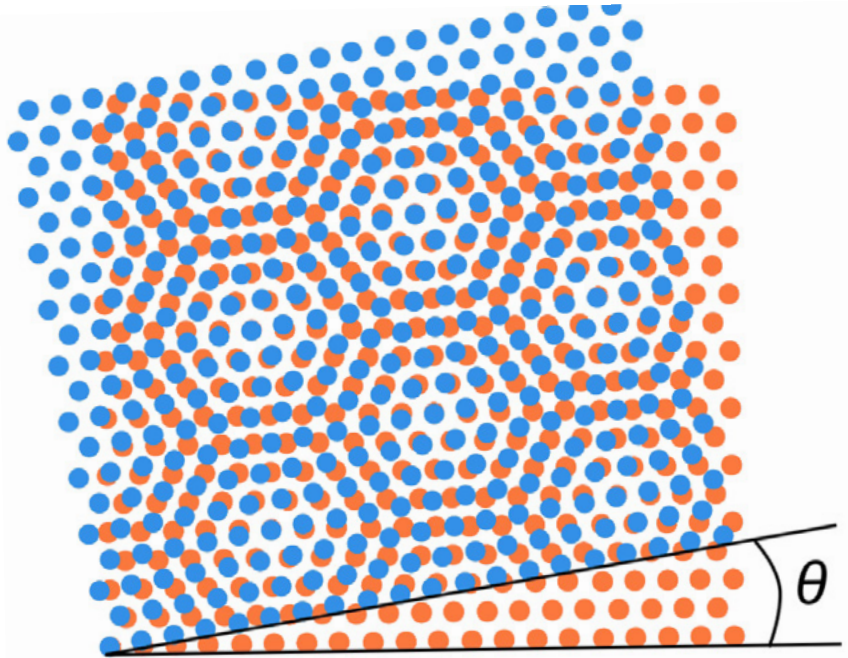


ahora si el cristal no es perfecto, si tiene defectos, si está compuesto por diferentes clases de átomos (aleaciones), si está completamente desordenado (vidrios), o si se trata de un cristal, pero de dos dimensiones? Así, surgieron una multitud de variaciones a estas preguntas con el objetivo de descubrir nuevos fenómenos físicos.

De manera paralela a este desarrollo de la física del estado sólido surgió la nanociencia, enfocada en descubrir nuevos fenómenos determinados por el tamaño nanométrico de las partículas (nanopartículas). Para ello se fabricaron cristales que imitan a los sistemas atómicos, pero que se conforman de nanopartículas; se les denominó *cristales fotónicos* debido a la feliz analogía entre el comportamiento de la luz en ellos y el comportamiento de los electrones en los cristales.

En este contexto, el estudio de sistemas bidimensionales apareció como un paso natural en la evolución epistémica de la física de los sólidos. Su incentivo más importante fue el descubrimiento y obtención del grafeno, un material compuesto por una sola capa ordenada de átomos de carbono ligados entre sí, formando una estructura geométrica con simetría hexagonal, como la que tiene un panel de abejas. Por este descubrimiento, los científicos Andre Geim y Konstantin Novoselov fueron galardonados con el Premio Nobel de Física

► Figura 1. En la figura se observan dos planos superpuestos iguales, donde uno está rotado en un ángulo (q). Esto provoca la formación de un patrón geométrico que puede afectar de modos peculiares las propiedades del conjunto. Este tipo de patrones geométricos se conocen como patrones de muaré.



en 2010. Desde entonces el grafeno ha sido objeto de una multitud de estudios, lo que abrió una nueva y fructífera línea de investigación. Gracias a esto ha sido posible fabricar, de manera controlada, muestras de sistemas bidimensionales, no sólo con átomos de carbono, sino también con otro tipo de átomos. En dichos estudios se han explorado los cambios en la conductividad eléctrica y la absorción de luz cuando, en vez de una capa de grafeno, se tienen dos (bicapas) o más capas.

Sin embargo, algo que sólo recientemente ha comenzado a explorarse es el comportamiento de una bicapa de grafeno, o de otro material, cuando la segunda capa se coloca rotada en un cierto ángulo con respecto a la primera, tal y como se muestra en la figura 1. Éste es el sentido de la palabra *rotado* que aparece en el título del proyecto. Como se ve en la figura 1, puede haber ciertos ángulos de rotación en los que aparecen patrones geométricos con simetrías muy peculiares. A estos patrones se les conoce como *patrones de muaré*,

del francés *moiré*. Su nombre proviene de un tipo particular de tela, originalmente de seda, aunque actualmente también se fabrica este textil con algodón o fibra sintética. Los patrones de muaré son el resultado de la superposición de dos rejillas de líneas que pueden corresponder a fibras textiles o de cualquier otro tipo.

Estudios recientes demuestran que, al cambiar el ángulo de rotación en bicapas de grafeno ocurren asombrosos cambios en la conductividad del material. Sin embargo, estudios equivalentes en sistemas nanométricos aún no han sido realizados. Por ello, en nuestro proyecto queremos aprovechar la analogía entre los sistemas bidimensionales, atómicos y nanométricos, para explorar el cambio de sus propiedades como función del ángulo de rotación. Esperamos, por ejemplo, cambios peculiares en la polarización de la luz cuando atraviese bicapas rotadas de sistemas nanométricos. Estos estudios permitirán abrir nuevos caminos para la investigación científica.

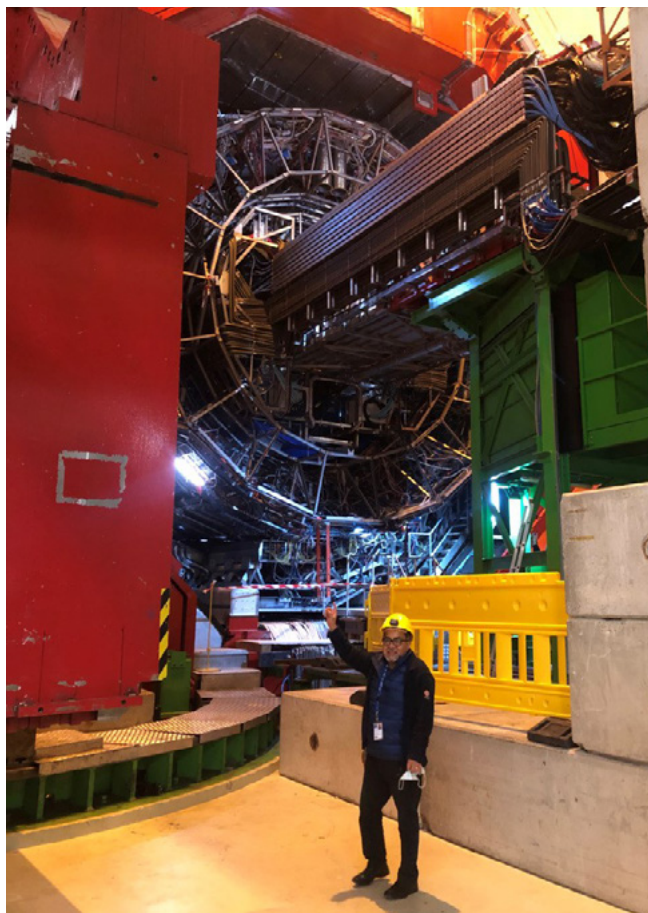
Contribución de México a la Física de Partículas en el CERN

ARTURO FERNÁNDEZ TÉLLEZ

Doctor en Física. Investigador de la Facultad de Ciencias Físico Matemáticas de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla y responsable técnico del proyecto «Participación de México en la Frontera de la Física de Altas Energías en el CERN», modalidad sinergia.

...LAS APORTACIONES MEXICANAS SE HAN INCREMENTADO HASTA LOGRAR, HOY EN DÍA, UNA PARTICIPACIÓN DESTACADA EN LOS PRINCIPALES EXPERIMENTOS QUE SE DESARROLLAN EN EL CERN.

LA FÍSICA DE ALTAS ENERGÍAS ESTUDIA LOS llamados componentes elementales de la materia: bosones y fermiones. México participa en experimentos de esta rama científica en la Organización Europea para la Investigación Nuclear (CERN, por sus siglas en francés) desde la década de 1980, cuando estudiantes de instituciones mexicanas fueron invitados a realizar sus tesis de doctorado en las colaboraciones internacionales UA1 y UA2 (dos reconocidos experimentos del CERN). Gracias a estos últimos se descubrió la existencia de los bosones vectoriales Z^0 , W^+ y W^- . Con ello, se fundaron las bases experimentales del modelo de las partículas y las interacciones electrodébiles, llamado comúnmente modelo estándar (SM, por sus siglas en inglés). Desde entonces, las aportaciones mexicanas se han incrementado paulatinamente hasta lograr, hoy en día, una participación destacada en los principales experimentos que se desarrollan en el CERN.



▲ Figura 1. Arturo Fernández Téllez en el sitio de detección del experimento ALICE. Al fondo se puede ver el enorme solenoide (bloque de color rojo) y, en el interior, algunos de los detectores del experimento ALICE. Se muestra también parte del conducto del acelerador LHC y la infraestructura de criogenia que lo acompaña a lo largo de los 27 km de perímetro que forman el anillo de esta máquina aceleradora de partículas.

Este laboratorio europeo, que alberga en sus instalaciones al Gran Colisionador de Hadrones (LHC, por sus siglas en inglés) es el referente mundial en el área de la física de partículas elementales y de las interacciones que rigen la dinámica del mundo subnuclear. Alrededor del LHC se agrupan las principales iniciativas experimentales que buscan escudriñar en lo más profundo y fundamental de la materia para ampliar el conocimiento que tenemos de ella. Esta labor de investigación básica es, simultáneamente, un motor que ha generado impresionantes innovaciones tecnológicas como las primeras pantallas táctiles, tomógrafos de emisión de positrones y la red informática mundial (www, por sus siglas en inglés), entre otras.

Con el apoyo decisivo del Conacyt y de diversas instituciones nacionales, México está oficialmente involucrado en diversas actividades del CERN. De esta manera, la comunidad mexicana de física experimental de altas energías ha participa-

do en algunos de los descubrimientos y resultados de más impacto en el área en los últimos años. Entre las actividades desarrolladas hasta ahora por el grupo de científicos mexicanos se cuentan:

- Colaboración en el experimento CMS, que llevó al descubrimiento del bosón de Higgs y que contribuyó con aportaciones originales a la física de los mesones con contenido del quark b.
- Participación en el experimento ALICE, que ha generado un aporte sustancial para el estudio del estado de la materia conocido como «plasma de quarks y gluones» y ha llevado al descubrimiento de nuevas características de este sistema físico. A este experimento se han incorporado nuevas líneas de investigación –como es el caso de la física difractiva que ahora se aplica a las energías de operación del LHC– y, gracias al uso de detectores de partículas en los colisionadores, se han reportado resultados importantes en la física de astropartículas.

- El grupo mexicano adscrito al experimento NA62 ha participado de forma crucial en la medición de decaimientos extremadamente raros del meson KO. Estas mediciones tienen la más alta precisión alcanzada en un experimento de este tipo, lo cual ha impactado en los pilares más sólidos del SM.
- En el experimento AMS, los colegas mexicanos han colaborado con la búsqueda de antimateria en el espacio interestelar, particularmente con la detección de positrones y la medición del flujo de anti-helio y anti-deuterio, y han confrontado dichos datos con la producción de este tipo de antimateria en el experimento ALICE.
- El grupo CERN-BEAM ha contado con la participación de científicos mexicanos que han hecho contribuciones originales en el estudio de los mecanismos de aceleración de partículas cargadas y han colaborado en los desarrollos tecnológicos para mejorar el desempeño de la infraestructura actual de los aceleradores que operan en el CERN. Asimismo, han participado en las principales tareas de diseño de los aceleradores FCC y CLIC, las máquinas aceleradoras del futuro.

Lo anterior ha permitido que los grupos de investigación mexicanos mantengan una alta producción científica y que una nueva generación de científicos altamente capacitados marque la pauta a nivel nacional e internacional. Sus contribuciones no sólo han tenido un gran impacto en el área de la física de altas energías, sino también en los campos de la física médica, los sistemas de monitoreo remoto, los sistemas de aceleración y focalización de haces de partículas y los dispositivos de inteligencia artificial. Así, han logrado incursionar y aportar innovaciones tecnológicas como los sistemas electrónicos de rápida decisión, el manejo masivo de datos, la instrumentación de sensores de alta precisión, etc.

Para continuar avanzando en estas investigaciones, los científicos mexicanos involucrados en los experimentos del CERN organizamos un proyecto que se desarrollará en el marco de la convocatoria de Ciencia de Frontera del Conacyt. El alto grado de consolidación que ha adquirido este grupo de trabajo permitirá hacer





aportaciones relevantes en la frontera de la física de altas energías, principalmente en los experimentos y grupos de trabajo que se desarrollan en ALICE, AMS, CMS, NA62 y BEAM. Los investigadores que participan en este proyecto pertenecen a ocho instituciones: la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP), el Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados del IPN (Cinvestav), los institutos de Física y de Ciencias Nucleares de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP), la Universidad de Guanajuato (UG), la Universidad de Sonora (UniSon) y la Universidad Iberoamericana (UIA).

En este proyecto nos hemos propuesto hacer investigaciones y estudios sobre los problemas que se han planteado a partir del modelo estándar, tales como la existencia de materia oscura, el comportamiento de la materia en condiciones de extrema densidad y muy alta temperatura, las propiedades del plasma de quarks y gluones, los decaimientos exóticos del bosón de Higgs, la existencia

de partículas supersimétricas, la búsqueda de antimateria en el espacio interestelar, entre otros.

Además, haremos pruebas de funcionamiento de los detectores de partículas que se están desarrollando en nuestro país y los instalaremos en los sitios de detección del acelerador LHC y del acelerador SPS (del inglés, Super Proton Synchrotron, Super Sincrotón de Protones). A su vez, participaremos en el próximo periodo de toma de datos de los experimentos arriba mencionados y colaboraremos en el desarrollo de nuevas técnicas de aceleración de partículas para los futuros colisionadores. Pretendemos también continuar con la labor de dirigir y supervisar el trabajo de tesis de estudiantes de posgrado de nuestras instituciones mexicanas e intensificar las tareas de divulgación de nuestro quehacer científico en talleres, ferias científicas y redes sociales. Así, el grupo de estudiantes e investigadores que participan en los experimentos del CERN colaborarán en la construcción de conocimiento de frontera en el área de la física de altas energías.

RIESGOS Y PATÓGENOS EMERGENTES

BAJO UNA MIRADA SOCIOECOSISTÉMICA



▲ Flamencos (*Phoenicopterus ruber*) en la Reserva de la Biosfera Ría Celestún, Yucatán. Fotografía de Laura Álvarez Borla

GERARDO SUZÁN AZPIRI

Doctor en biología. Investigador en la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México. Responsable técnico del proyecto «Diversidad biológica, socioecosistemas y enfermedades virales emergentes en México» del Pronaii en virología, Pronaces-Salud.

DICHO PROYECTO RASTREA LA
DIVERSIDAD DE PATÓGENOS
VIRALES E IDENTIFICA
LOS FACTORES DE RIESGO
ASOCIADOS AL DETERIORO
AMBIENTAL, TOMANDO EN
CUENTA LAS DIMENSIONES
SOCIALES, AMBIENTALES...

▼ Calandría Dorso Negro Mayor,
también conocida como Bolsero
de Altamira (*Icterus gularis*)
capturada en Tizimín, Yucatán.
Fotografía de Laura Álvarez Borla

LA PANDEMIA GENERADA POR EL VIRUS SARS-CoV-2, causante de la enfermedad COVID-19, ha evidenciado y pronunciado las grandes desigualdades de la humanidad, propias de un sistema socioeconómico insostenible. Asimismo, nos ha mostrado que existen carencias en los sistemas de salud a nivel mundial, poca inversión en los sistemas de monitoreo e identificación de patógenos emergentes y un escaso sistema preventivo que ayude a modelar e identificar áreas vulnerables – marcadas por ambientes deteriorados, pobreza y marginación– en las que patógenos emergentes predominan. La necesidad de identificar los factores de riesgo y los patógenos emergentes bajo esquemas transdisciplinarios con enfoques socioecosistémicos es impostergable y debe convertirse en una prioridad, tal como lo sugieren la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Organización Mundial de la Sanidad Animal (OIE), la Plataforma Intergubernamental Científico-Normativa sobre Diversidad Biológica y Servicios de los Ecosistemas (IPBES), entre otros.





El proyecto titulado «Diversidad biológica, socioecosistemas y enfermedades virales emergentes en México», que forma parte del Proyecto Nacional de Investigación e Incidencia en Virología del Programa Nacional Estratégico de Salud (Pronaces Salud), se propone investigar, desde una aproximación integral, diferentes contextos productivos, económicos y culturales en el sureste del país a partir del paradigma de «Una Salud». Con ello, México se pone a la vanguardia en investigación a través de un proyecto nacional prioritario que indaga en las interacciones entre las comunidades animales, el proceso de antropización (intervención humana sobre el medio) y la circulación de los principales patógenos zoonóticos (aquellos que pueden ser transmitidos de animales a humanos y viceversa).

Dicho proyecto rastrea la diversidad de patógenos virales e identifica los factores de riesgo asociados al deterioro ambiental, tomando en cuenta las dimensiones sociales, ambientales y biológicas. Paralelamente, fomenta la educación, capacitación y consolidación de un Centro Regional de Referencia en Ecosalud y Sustentabilidad en el campus Mérida de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Para ello, desarrolla actividades de muestreo de fauna silvestre y doméstica en varias localidades a lo largo de la península de Yucatán. Estas muestras se utilizan para

▲ Colaboradores del Proyecto de Conacyt identificando un sitio de muestreo cerca de un cenote en un Rancho en Tizimín, Yucatán. Fotografía de Laura Álvarez Borla



▲ Estableciendo las Redes de Niebla para captura de aves en un Rancho al sur de Mérida, Yucatán. Fotografía de Laura Álvarez Borla

realizar análisis moleculares de seguimiento e identificación de patógenos de interés zoonótico. Además, elabora modelos de escenarios de riesgo y desarrolla jornadas de entrevistas, talleres y participación ciudadana con las comunidades rurales de cada localidad para la promoción de la salud y la sustentabilidad ambiental.

Esta iniciativa busca incidir en políticas públicas eficientes y eficaces que propicien el desarrollo y bienestar de la población a través de estrategias de producción sostenible de alimentos que fortalezcan la salud animal, humana y ecosistémica, y que, simultáneamente, favorezcan la vinculación entre los diversos sectores de la sociedad de forma transdisciplinaria, intersectorial, transversal e internacional.

En este proyecto colaboran investigadores de diferentes disciplinas y con experiencia en salud pública, animal y ecosistémica. Dicho esfuerzo podrá replicarse para fomentar la investigación y colaboración científica y académica a escalas locales, regionales e internacionales y, de esta forma, prevenir futuras epidemias y pandemias.

MILES DE ESTRELLAS SE FORMAN EN EL UNIVERSO LEJANO



▲ Figura 1. El Gran Telescopio Milimétrico Alfonso Serrano en Santa María Tonantzintla, Puebla.

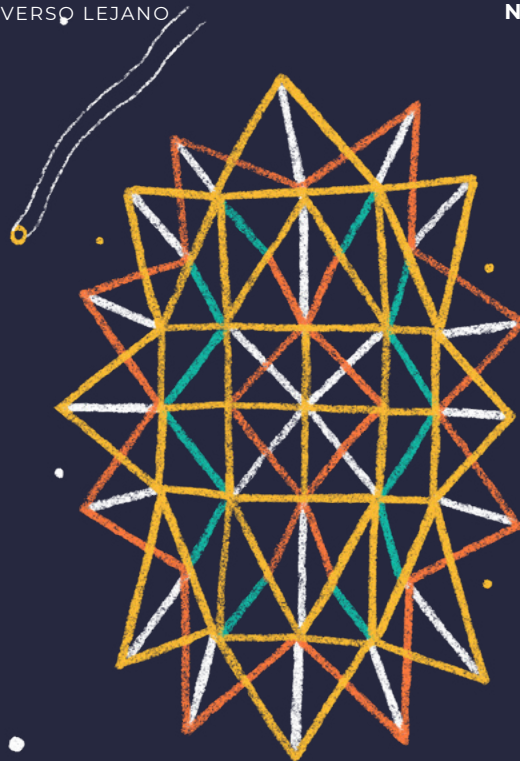
CIENTÍFICOS DEL INSTITUTO NACIONAL DE ASTROFÍSICA, ÓPTICA y Electrónica (INAOE) descubrieron este año que se están formando anualmente entre cientos y miles de estrellas del tamaño del Sol en los confines del Universo lejano.

Un equipo internacional de astrofísicos pudo diferenciar entre grupos de galaxias y galaxias simples gracias al Gran Telescopio Milimétrico Alfonso Serrano (GTM). Anteriormente sólo se detectaban como un único cuerpo, pues la resolución del Telescopio Espacial Herschel, con el que se descubrieron, es menor a la del



GTM. En este proyecto, liderado por el dr. Alfredo Montaña, Catedrático Conacyt e investigador del GTM-INAOE, y por el dr. Jorge Zavala, egresado del INAOE y actualmente posdoctorante en el National Astronomical Observatory of Japan, participaron científicos de instituciones de diez países. El GTM se encuentra en Tonantzintla, Puebla, y es administrado por el INAOE en conjunto con la Universidad de Massachusetts en Amherst (UMass-Amherst). Funciona desde 2011 y detecta ondas de radio con longitudes entre 0.85 y 4 mm en el espectro radioeléctrico.

Por su parte, el Telescopio William Herschel (WHT, por sus siglas en inglés), inaugurado en 1987, es un telescopio reflector de 4.2 m de diámetro, que se encuentra en el Observatorio del Roque de Los Muchachos en la isla de La Palma en las Islas Canarias, España. Este telescopio detecta radiaciones en el espectro visible y en el infrarrojo.



El estudio realizado con el GTM permite a los astrofísicos comprender mejor los procesos físicos en el Universo lejano (llamado también Universo temprano), el cual está formado por todos aquellos cuerpos que se encuentran en los puntos más alejados del centro probable del Universo, si consideramos que en el principio del tiempo y el espacio, todo se hallaba concentrado en un solo punto, como afirma la teoría del Big Bang.

El dr. Alfredo Montaña explicó que el trabajo es resultado de tres propuestas científicas que combinan datos del WHT y el GTM. La primera de ellas, de 2014, buscaba hacer seguimiento con el GTM de una muestra de galaxias que detectó Herschel en el marco del proyecto H-ATLAS. Se trata del censo extragaláctico más grande realizado con Herschel, con el cual se observaron casi 600 grados cuadrados del cielo y se detectaron cientos de miles de galaxias. Al tratarse de fuentes muy lejanas y polvorientas, identificadas con observaciones de baja resolución angular, el reto para los astrofísicos es determinar si dichas fuentes son galaxias individuales o grupos de galaxias.



LAS LENTES GRAVITACIONALES
SON CÚMULOS MATERIALES,
GENERALMENTE DE
ESTRELLAS, QUE MODIFICAN
LA TRAYECTORIA DE LA LUZ,
CURVÁNDOLA, Y QUE PUEDEN
UTILIZARSE PARA DETECTAR
LA PRESENCIA DE OBJETOS
MASIVOS INVISIBLES...



modelos de formación de galaxias no pueden explicar fácilmente dicho fenómeno. Por esta razón, «es importante encontrar estas galaxias, saber cuántas hay, qué tan comunes son en distintas etapas evolutivas del Universo, y luego identificarlas para estudiarlas a más detalle con otras observaciones», apuntó el astrofísico.

El dr. Montaña relató que, una vez analizados los campos donde se encuentran las galaxias detectadas por el proyecto H-ATLAS en el Universo temprano, se determinó que dichas galaxias tienen el potencial de crear regiones más densas que el promedio del Universo, pues tienden a generar un mayor número de estrellas. Este último punto resulta de gran importancia, ya que modifica el modelo del Universo en continua expansión para dar paso a uno donde el Universo lejano deja de expandirse para, en cambio, contraerse, lo que explicaría la formación de miles de masas estelares. El dr. Montaña dijo, finalmente, que posiblemente se detectan también galaxias amplificadas por lentes gravitacionales, «por eso vemos galaxias tan brillantes». Las lentes gravitacionales son cúmulos materiales, generalmente de estrellas, que modifican la trayectoria de la luz, curvándola, y que pueden utilizarse para detectar la presencia de objetos masivos invisibles, tales como agujeros negros, materia oscura e incluso planetas extrasolares. Su existencia fue predicha por la teoría de la relatividad general de Einstein y probada durante un eclipse solar en 1919, cuando el astrónomo Arthur Eddington observó cómo se curvaba la trayectoria de la luz proveniente de estrellas distantes al pasar cerca del Sol, lo que producía un desplazamiento aparente de sus posiciones.



La búsqueda

Santiago Moyao



Buscamos entender lo que nos rodea,

Observar.

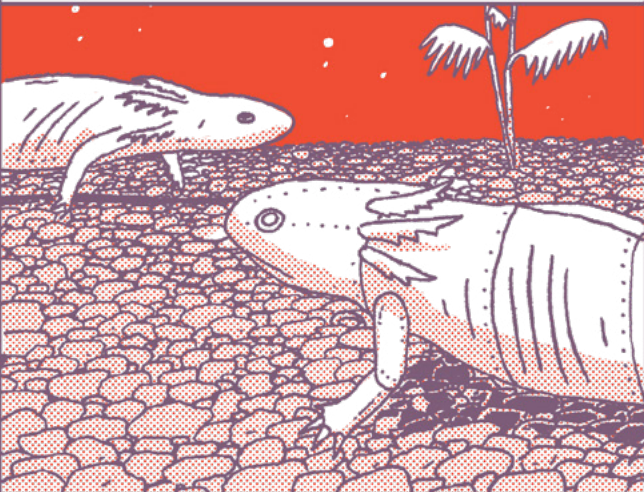
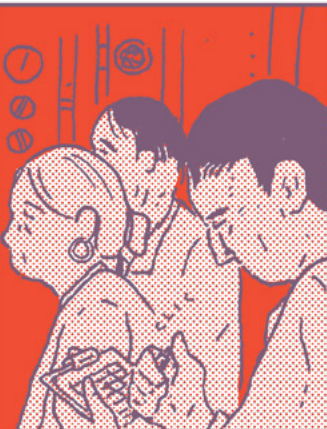
desmenuzar el universo a través de la ciencia.

Estudiar.

Aprender.

Es un trabajo inagotable, pues cada lección aprendida despliega una nueva serie de preguntas.

La vida, por ejemplo, resalta su valor y necesidad de protegerla cuanto más la comprendemos,



pues, al estudiar sus lenguajes o las relaciones con su entorno y consigo misma, es que se pone en evidencia su vulnerabilidad, incluida la vida humana.



De ahí la importancia de esta profesión.

Sin más que decir, te doy la bienvenida.



Ah, y los viernes procuramos terminar temprano, pero como te decía, esto no se detiene.



LENGUAS VIVAS: PATRIMONIO MUNDIAL

Ää: manifiestos sobre la diversidad lingüística | libro

Yásnaya Elena Aguilar Gil | autora

2020 | año

Almadía Editorial y Bookmate Limited | editorial

MARGARITA MARTÍNEZ PÉREZ

Doctora en Lingüística Indoamericana.

Profesora-investigadora en la Facultad de Humanidades,
Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas.



LA OBRA **ÄÄ: MANIFIESTOS SOBRE LA DIVERSIDAD LINGÜÍSTICA**, de Yásnaya Elena Aguilar Gil, consta de 38 artículos publicados en la revista *Este País* durante 2011 y 2015, acompañados de una colección de *posts* y *tweets* que los nutren. El libro exhorta a valorar la diversidad lingüística y cultural que existe en el mundo. En cada texto se hallan razones bien argumentadas sobre la importancia de mantener vivas todas las lenguas y, de manera concreta, las existentes en el territorio mexicano. Asimismo, estos escritos denuncian y cuestionan las políticas del Estado mexicano dirigidas contra el uso de las lenguas de mayor vulnerabilidad, pues no sólo provocan una negación constante y efectiva de éstas, sino también de sus hablantes y del territorio habitado por ellos.

RESPETAR LA DIVERSIDAD
LINGÜÍSTICA IMPLICA
RECONOCER Y VALORAR
A LOS HABLANTES.

Aguilar Gil hace un análisis comparativo de los rasgos propios de las lenguas habladas en México en el que señala sus diferencias y sus rasgos comunes para, con ello, generar una mayor conciencia y sensibilidad acerca de la importancia de mantenerlas vivas. Cada texto que integra la obra contiene un agudo análisis sobre las múltiples caras y matices de la discriminación y el colonialismo que han atravesado los hablantes de lenguas distintas al español. Esto último se hace patente en las diversas formas de presión a las que nos encontramos sometidos, entre las que destaca la constante necesidad de elegir si hablar nuestra propia lengua o hablar español. Así, la autora pone de manifiesto que, en pleno siglo XXI, el Estado mexicano sigue considerando como un problema el monolingüismo de los hablantes de lenguas distintas al español, mientras que, en el caso del hispanohablante, esto nunca ha sido así. Si se mantiene esta postura, no será posible frenar la muerte de las lenguas, ni establecer relaciones interculturales sanas y equitativas.

Así pues, este volumen es una colección de denuncias en contra de la discriminación lingüística, del menosprecio hacia los hablantes de lenguas distintas al español, de la constante violación de sus derechos lingüísticos y de la falta de acceso a la libre determinación de sus territorios. Esto evidencia que, aunque lo pregone a nivel discursivo, el Estado mexicano aún no ha construido una verdadera relación de interculturalidad.

Respetar la diversidad lingüística implica reconocer y valorar a los hablantes. Sin embargo, surgen dudas: ¿cómo valorar aquello que se desprecia?, ¿cómo respetar aquello que se niega y se oculta? La violencia lingüística en el país aumenta día con día, los hablantes de estas lenguas somos despojados constantemente de nuestro territorio, se sigue practicando la extracción de conocimientos y de recursos naturales. Por ello, la presente obra expone una serie de cuestionamientos al proyecto homogeneizador que ha provocado la muerte acelerada de lenguas y exige una respuesta por parte del Estado mexicano.

En conclusión, la autora nos invita a abrir nuestros oídos y nuestra mente para vivir desde la diversidad de lenguas existentes en el país, lo que implica dejar de tratar al español como el único



idioma del conocimiento o de la razón y como el único con tradición escrita. Es necesario reconocer que todas las lenguas del mundo son lenguas de conocimiento –es decir, de razón– y que, en muchos casos, cuentan con una larga tradición de escritura que, aunque fue interrumpida por la colonización, persiste y encuentra refugio en textiles o en otras prácticas culturales.

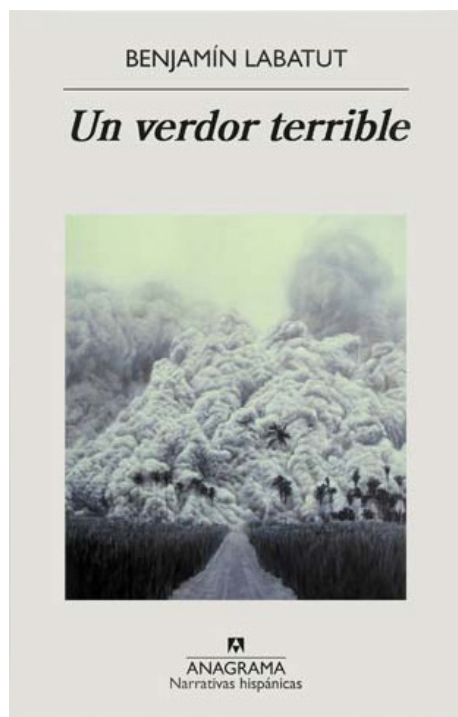
Esta obra también nos pide entender que la extinción de las lenguas en riesgo no es sólo un asunto lingüístico, cultural y étnico, sino un problema de índole social; que lo lingüístico es político; que el asunto indígena no es sólo de indígenas; y que la defensa de estas lenguas implica la defensa de los territorios y sus hablantes (quienes mantienen los conocimientos *desde* y *con* sus prácticas lingüísticas y culturales). En fin, que no hay lenguas sin hablantes y no hay hablantes sin territorios.

Finalmente, destaca en esta obra que los textos que la componen son amenos y claros, por lo que leerlos resulta un goce. La autora posee un estilo didáctico que resulta atractivo para cualquier persona, sin distinción de edad y nivel de escolaridad. Éste es un texto dialógico que teje la voz propia con la voz comunitaria para reflexionar sobre la lucha por la diversidad y la vitalidad lingüística, en un contexto de violencia sistemática contra pueblos y comunidades que defienden su lengua y territorio.

LOS COLORES DEL EXTERMINIO

Un verdor terrible | libro
Benjamín Labatut | autor
2020 | año
Anagrama | editorial

BLANCH GUZMÁN
Escritora, guionista y productora.



DETRÁS DEL AZUL PROFUNDO QUE ADMIRAMOS EN *LA NOCHE ESTRELLADA*, de Vincent Van Gogh, se esconde la historia de Johann Conrad Dippel, un alquimista que intentó crear el elixir de la vida mediante una mezcla de sangre, huesos, cuernos y pezuñas de animales a los que desmembraba vivos. Contrario a su propósito, ese elixir –conocido después como aceite Dippel– sirvió para sembrar muerte. Durante la Segunda Guerra Mundial envenenaron con él pozos de agua en el norte de África y, cuando accidentalmente el pintor Johann Jacob Diesbach lo convirtió en un nuevo pigmento, se utilizó para teñir los uniformes de la infantería del ejército de Prusia.

▲ Cortesía de Anagrama

Benjamín Labatut, escritor chileno, sigue el rastro de destrucción de ese color en *Un verdor terrible*, una obra que nos arrastra hacia un terreno donde la ficción palidece ante la realidad. El libro contiene, en palabras de su autor, «un ensayo que no es ensayo, dos textos que tienen la forma de cuentos, una novela corta y algo parecido a una crónica autobiográfica», todas protagonizadas por científicos atormentados.

El químico Fritz Haber, el físico Karl Schwarzschild, los matemáticos Alexander Grothendieck y Shinichi Mochizuki, así como Erwin Schrödinger, Werner Heisenberg y Louis de Broglie, padres de la mecánica cuántica, nos llevan a recorrer momentos en que diminutas moléculas, complejas ecuaciones, el descubrimiento de los hoyos negros y la primera formulación de la mecánica cuántica abren un mundo en el que el conocimiento nos condena y nos salva al mismo tiempo.

Descubrimientos que llevan al suicidio

Fritz Haber fue el creador de la guerra química: sus gases venenosos cobraron miles de vidas. Su esposa Clara Helene Immerwahr, la primera mujer alemana en obtener un doctorado en química, luego de ver morir a un hombre atrapado en una nube tóxica lanzada por el químico, le reprochó haber pervertido la ciencia con su método para exterminar humanos a escala industrial. El horror que le provocó su esposo, como hombre y como científico, la llevó a la muerte. Fue él quien aniquiló su espíritu al obligarla a abandonar su carrera: «La forma opresiva de Fritz de ponerse a sí mismo primero, en nuestro hogar y matrimonio, simplemente destruyó mi personalidad, al no poder ser tan despiadada como él», le confesó a una de sus amigas por carta. Unos años después, la orilló al suicidio. Al terminar una fiesta que Haber organizó para celebrar un exitoso ataque con gas cloro durante la Primera Guerra Mundial, Clara tomó el revólver de servicio de su marido y se disparó en el pecho. Murió desangrada en los brazos de su hijo de 13 años. ¿Haber se detuvo? No, continuó mejorando sus métodos para que el veneno se extendiera con mayor eficacia.

«¿QUIÉN PUEDE IMAGINAR
LOS HORRORES
DE MI TRABAJO SECRETO
MIENTRAS TORTURABA A
LOS ANIMALES VIVOS
CON EL FIN DE DAR VIDA
AL BARRO INANIMADO?»
FRANKENSTEIN, MARY SHELLEY



▲ © picture-alliance/Mary Evans.
Picture Library/IBL Collections

Otros científicos tomaron el pigmento azul creado por Johann Jacob Diesbach y lograron extraerle un ácido que permitió la producción del cianuro, un tóxico incoloro, altamente venenoso y con un dulce olor a almendras. Cuando los aliados derrotaron a Hitler, miles de hombres, mujeres, niños y niñas en Alemania mordieron estas cápsulas venenosas.

Los suicidios tomaron la forma de *La gran ola de Kanagawa*, pintada con ese mismo tono de azul, y arrasaron con la plana mayor del nazismo. Cobraron la vida de 78 generales (53 del ejército, 14 de la fuerza aérea y 11 de la marina), 2 ministros y del mismo Führer. Luego, su uso se convirtió en un tsunami.

En los últimos meses de la Segunda Guerra Mundial, los habitantes de Demmin, un pequeño pueblo al norte de Berlín, realizaron un suicidio colectivo al no poder detener el avance del Ejército Rojo. Los cadáveres llenaron las casas, los jardines, las calles y los ríos con notas que suplicaban a los demás hacer lo mismo: «¡Hijo, prométeme que te matarás!».

Premios para criminales

Fritz Haber fue declarado criminal de guerra. Mientras huía para escapar de la justicia, recibió el Premio Nobel de Química por extraer nitrógeno del aire, un descubrimiento que realizó antes de incursionar en la fabricación de armas químicas. El nitrógeno es



el principal nutriente de las plantas y en aquellos años la escasez de fertilizantes empezaba a causar hambruna mundial. Gracias a su hallazgo, la producción de alimentos aumentó e hizo posible que la población humana creciera de forma desorbitante. En tan sólo 100 años, pasamos de ser 1 600 millones de personas a 7 000 millones. Haber, sin embargo, no quería solucionar la escasez de alimentos: encontró el nitrógeno mientras buscaba materia prima para seguir dotando de explosivos a Alemania durante la Primera Guerra Mundial.

Al final se arrepintió, pero no por las muertes que su gas produjo, ni por el pesticida que ayudó a crear y que fue utilizado en las cámaras de los nazis para asesinar a algunos de sus familiares y a millones de judíos más, sino por haber encontrado la forma de extraer nitrógeno. Temía que las plantas aniquilaran cualquier otra forma de vida y cubrieran el planeta con su terrible verdor.

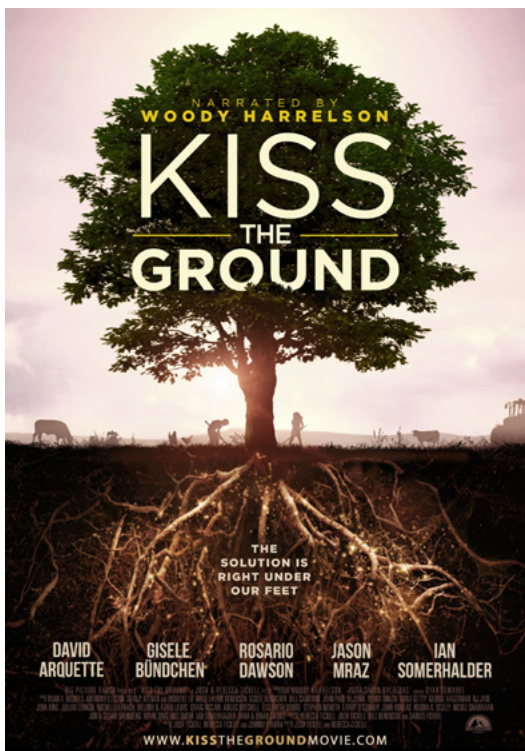
Los colores tiñen de horror y desconcierto los relatos de la tercera obra de Labatut y nos llevan a cuestionar la neutralidad de la ciencia. ¿Quiénes hacen ciencia? ¿Para qué la hacen? ¿Quién se beneficia con ello? El conocimiento no es blanco y negro, tiene muchos matices y algunos nos pueden aniquilar.

▲ Katsushika Hokusai. *La gran ola de Kanagawa*, xilografía, 25.7 x 37.9 cm, ca 1830.

¿EL SUELO SALVARÁ AL PLANETA?

CONSUELO BONFIL

Doctora en Ecología. Profesora e investigadora del Departamento de Ecología y Recursos Naturales, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México



▲ Cortesía de Big Picture Ranch

Kiss the Ground | documental

Rebecca Harrell Tickell y Josh Tickell | directores

2020 | año

Estados Unidos | país

84 minutos | duración

EL DOCUMENTAL BESA EL SUELO (*KISS THE GROUND*), LANZADO en septiembre de 2020 a través de Netflix, desarrolla varios argumentos sobre la necesidad de restaurar los suelos y explica de forma amena los beneficios que esto conlleva. A pesar de su reciente estreno, ya ha sido galardonado en los London Independent Film Awards, en el Festival Internacional Golden Gate y con el Premio de la Cinematografía Canadiense, entre otros.

Besa el suelo es un documental interesante que introduce la idea de cuidar y regenerar los suelos a un público relativamente amplio, a pesar de que éste no es uno de los temas más populares en la agenda ambientalista actual. Parte de la apuesta del filme es atraer al público mediante la participación de figuras reconocidas, como la

modelo Gisele Bündchen, el futbolista Tom Brady y el músico Jason Mraz, quien contribuyó con la banda sonora. Esta producción recurre a un tono emotivo para argumentar sobre la necesidad de actuar para enfrentar los problemas ambientales planetarios, lo cual pudo haber resultado atractivo si no fuera porque se empleó, una vez más, ese conocido toque «almibarado» hollywoodense.

El filme comienza por mostrar los problemas que enfrenta el planeta debido a fenómenos como el cambio climático y la extinción masiva de especies, y señala la necesidad de enfrentar dicha situación por vías que nos permitan superar el miedo y la parálisis. A partir de este objetivo, elabora una argumentación convincente, aunque poco profunda, sobre cómo, si se regenera el suelo, será posible producir alimentos sanos y almacenar una gran cantidad de carbono atmosférico en él, lo que a su vez permitiría estabilizar el clima de la Tierra. La fórmula principal para lograrlo es la agricultura regenerativa, que se ocupa de mejorar y revitalizar la salud del suelo con base en cuatro principios: 1) minimizar la perturbación mecánica de los suelos (labranza cero), 2) diversificar los cultivos (generalmente con un enfoque agroecológico o agroforestal), 3) usar abonos verdes o cultivos de cobertura (para mantener una cubierta vegetal con raíces vivas), y 4) usar composta o integrar la ganadería de libre pastoreo.

La labranza cero tiene la ventaja, al igual que los cultivos de cobertura, de evitar que el suelo quede desnudo, lo que disminuye la erosión y permite incorporar materia orgánica. Esto favorece la captación de agua y el desarrollo de la biota del suelo, misma que captura carbono, transforma la materia orgánica y libera los nutrientes que las plantas necesitan.

El filme recoge las tesis del libro *Drawdown*, de Paul Hawken, quien afirma que es posible revertir el calentamiento global si favorecemos que los microorganismos del suelo y las plantas capturen y almacenen carbono atmosférico. También recupera la iniciativa lanzada en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático de 2015 (COP21) de París por el ministro de agricultura francés, Stéphane Le Foll, la cual busca un compromiso internacional para aumentar el contenido de carbono de los suelos en 0.4 % anual (capacidad que se lograría si todos los países actuaran juntos). Aunque se afirma en el filme que esto permitiría reducir la huella de carbono atmosférico y disminuir el calentamiento del planeta en un plazo de 30 años, se echa de menos la presentación de cifras claras sobre la cantidad de CO₂ atmosférico que se puede fijar en el suelo en relación con la magnitud de las emisiones y las concentraciones atmosféricas actuales, así como una estimación del esfuerzo internacional que esto requeriría.



La propuesta parece muy optimista, ya que, de acuerdo con la Organización Meteorológica Mundial, «sólo cuando las emisiones netas de CO_2 provenientes de los combustibles fósiles se acerquen a cero, los ecosistemas y los océanos comenzarán a reducir los niveles atmosféricos e, incluso entonces, la mayor parte del CO_2 se mantendrá ahí por varios siglos, generando calentamiento global». Sin embargo, en el documental el tema de la reducción de emisiones se toca sólo superficialmente, como si no fuera una pieza clave para el éxito.

Por otra parte, un acierto del filme es hacer notar el círculo vicioso de la agricultura industrial: el gran incremento que se produjo en el uso de fertilizantes sintéticos y pesticidas tóxicos a partir de la década de 1970, que ha causado la degradación de los suelos y que se ha intentado solucionar usando cada vez más agroquímicos. Los daños causados a los ecosistemas (en especial a la biota del suelo) y la contaminación de las aguas, así como el impacto negativo en la salud humana, son evidentes. Destaca el caso del glifosato que, a pesar de ser cancerígeno, se rocía masivamente en los cultivos genéticamente modificados, como los de maíz, soya y algodón, lo que contamina los ecosistemas.

En el documental se presenta una especie de apología de la ganadería de libre pastoreo. Para mostrar los beneficios de rotar frecuentemente el ganado y evitar el sobrepastoreo, como se propone, se usan como ejemplos dos ranchos manejados por prósperos ganaderos ambientalistas norteamericanos, tecnificados, y con varias miles de hectáreas cada uno, lo que deja pensando a esta espectadora del tercer mundo: ¿de verdad creen que eso es escalable a todas las regiones semiáridas del planeta?

Aunque los planteamientos de la cinta son soluciones basadas en la naturaleza, ahora tan de moda, finalmente su propuesta se reduce a presentar un conjunto de ecotecnias razonables, y relativamente bien sustentadas, que permiten evadir un cuestionamiento más profundo del modelo económico y de consumo que, en primera instancia, nos llevó a este caos. Si este modelo no cambia radicalmente, ni la agricultura regenerativa, ni los autos eléctricos, ni los paneles solares o la energía eólica serán suficientes para devolverle la salud al planeta, a los seres humanos y al resto de los seres vivos, que también tienen derecho a existir y a los que necesitamos.

ACCIONES FANTASMAGÓRICAS A DISTANCIA: SOBRE LOS VÍNCULOS ENTRE LA CIENCIA Y LA CIENCIA FICCIÓN

ANDRÉS LUNA JIMÉNEZ

Doctorante en Historia, Universidad Nacional Autónoma de México. Profesor del área de historiografía de 17, Instituto de Estudios Críticos



EL 18 DE FEBRERO DE 2021, EL MUNDO ATESTIGUÓ la transmisión en vivo del amartizaje del Perseverance, el quinto vehículo que la NASA ha enviado exitosamente al vecino planeta rojo. Su misión consiste en tomar muestras del suelo del cráter Jezero, donde hace miles de millones de años se encontraba un extenso lago. Se espera que, si alguna vez hubo vida en Marte, estas muestras permitan a los científicos obtener las

pruebas que lo confirmen definitivamente. No es raro escuchar que el éxito de una empresa como ésta representa la realización de una idea que hace apenas unas décadas sólo podría ser materia de la ciencia ficción. Como es sabido, mucho antes de que Estados Unidos y otros países llevaran a cabo las misiones que han transporta-

do artefactos y astronautas al espacio exterior y a otros cuerpos celestes, estos traslados habían sido imaginados por toda una serie de producciones literarias, radiofónicas y cinematográficas que, aún hoy, nos parecen fascinantes. Pero, más allá de lo evidente, ¿qué nos sugiere lo anterior? Además del intercambio de ideas, imágenes y otros contenidos, ¿cuál es la relación que existe entre la ciencia y la ciencia ficción?

En cierto sentido, ciencia y ficción pueden parecer nociones opuestas: refieren actividades y productos incompatibles. El criterio empleado para establecer esta oposición es la referencia a la realidad. Hacer ciencia consiste en dar cuenta de ésta lo más fielmente posible. Hacemos ciencia en la medida en que somos capaces de demostrar que nuestras representaciones y enunciados corresponden, o al menos se aproximan, a la manera en que la realidad (natural o social) funciona. Por el contrario, sabemos que estamos frente a un producto de ficción cuando sus enunciados no se apegan a la realidad, cuando se trata de una representación que aprovecha y juega con las posibilidades que brinda, precisamente, ese desapego.

No es éste el espacio para entrar en los debates filosóficos y científicos que han problematizado tales consideraciones desde principios del siglo pasado. Digamos sólo que, desde hace algún tiempo, se ha instalado entre los teóricos del conocimiento la perspectiva que asume que la ficción no es algo opuesto a la ciencia, sino que, antes bien, la última requiere necesariamente de

aquella para llevarse a cabo. Tanto para la formulación de hipótesis como para distintos momentos de la resolución de problemas, los científicos necesitan de la ficción; no hay ciencia posible sin imaginación. Por el otro lado, la ficción no puede prescindir por completo de la referencia a la realidad; de lo contrario, simplemente nos resultaría incomprendible.

Los ejemplos que ilustran lo anterior son innumerables. Tomemos uno que nos servirá como alegoría. Entre las tantas premisas con las que la física cuántica (que se ocupa de estudiar el mundo subatómico) desafía la lógica y el sentido común, se encuentra el principio de entrelazamiento cuántico. Éste señala que existen pares de partículas que 1) no pueden ser descritas de forma independiente, es decir, las propiedades físicas de una dependen de la otra, y 2) cuando una de ellas es medida para determinar sus propiedades, la segunda se ve afectada por dicha medición inmediatamente y de una manera idéntica que la primera. Es como si estuvieran unidas por una misteriosa conexión que los científicos, aún en la actualidad, no consiguen explicar del todo. A este fenómeno se le conoce como entrelazamiento cuántico. Albert Einstein, en un intento por refutar esta premisa, ideó un experimento mental en el que dos partículas entrelazadas son enviadas a puntos diametralmente opuestos del universo. Para que el principio de entrelazamiento se cumpliera, tendría que ocurrir una «fantasmagórica acción a distancia» («spooky action at a distance») que posibilitara que la partícula B supiese la

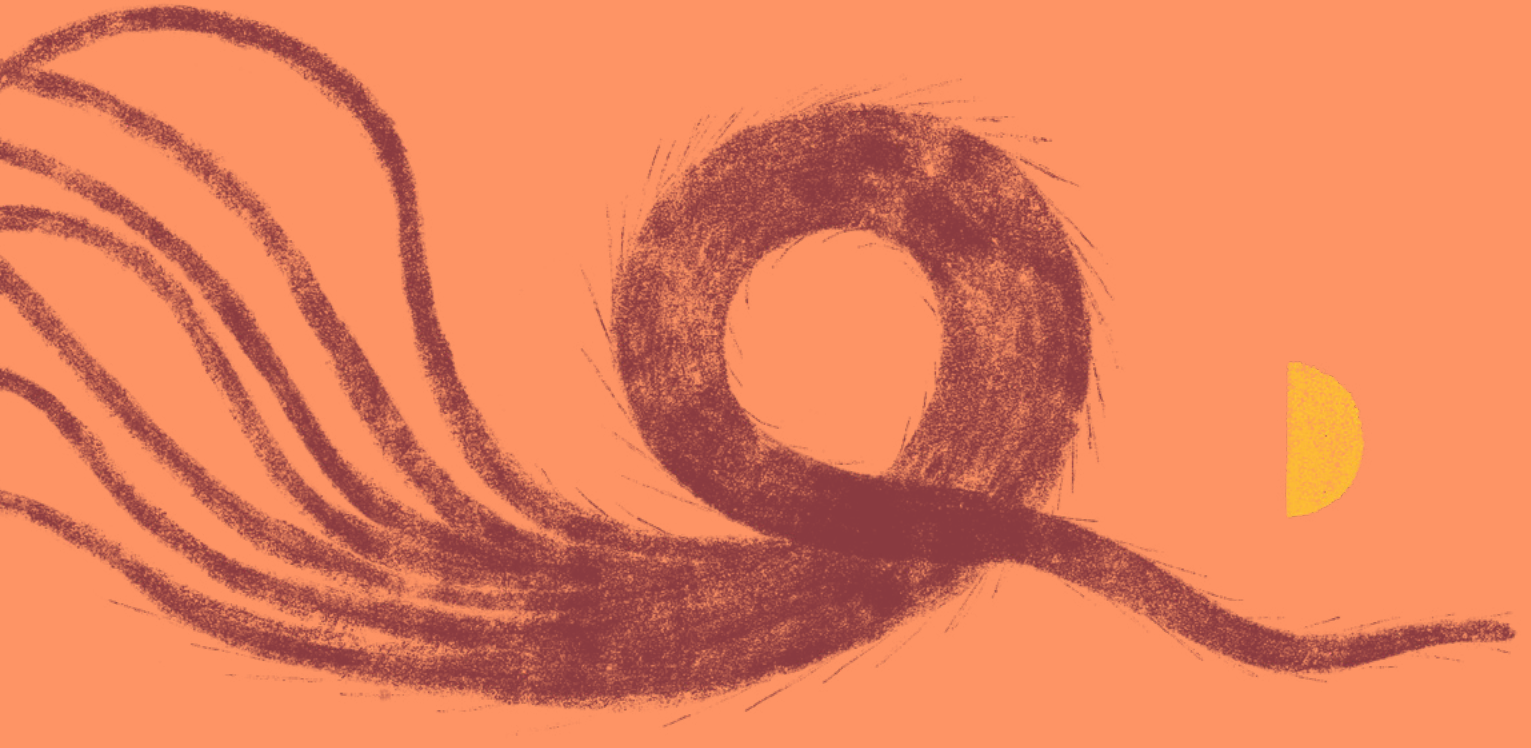


afectación que la medición había producido en la partícula A. Con ésta y otras alusiones irónicas, Einstein quería señalar que el sistema que la física cuántica estaba construyendo para explicar el mundo subatómico, si bien funcionaba en sus ecuaciones matemáticas, no podía ser verdadero. No obstante, un equipo de científicos de la Universidad Técnica de Delft, en Holanda, concluyó en 2015 un experimento que comprueba el principio del entrelazamiento cuántico.

Sirva este relato para ilustrar dos cosas. La primera es que, tanto la formulación de este principio, como su intento de refutación por parte de Einstein, requirieron, como tantos otros conocimientos físicos que han posibilitado aplicaciones técnicas antes inimaginables, de experimentos mentales. Estos no son sino ficciones que permiten a los científicos imaginar situaciones y derivar ideas e imágenes a partir de ecuaciones matemáticas que, por sí mismas, son incomprensibles para casi todos los seres humanos y que, en ocasiones, parecen no tener sentido, incluso para

quienes poseen una formación matemática que permite entenderlas. La segunda es que, como demuestra la misión del Perseverance, el conocimiento y la técnica alcanzados por la humanidad ha llegado a un punto en el que quizá la ciencia y la ficción (y en particular la ciencia ficción), de un modo parecido al de las partículas entrelazadas, sin ser la misma cosa, estén unidas en su núcleo profundo o compartan un vínculo que las hace determinarse una a la otra.

Es hasta cierto punto evidente el modo en que la ciencia ficción depende o es afectada por la ciencia: se nutre de ella para reelaborar de manera lúdica e imaginaria sus aplicaciones posibles. Quizá no sea tan claro cuál podría ser la relación a la inversa, más allá de lo que ya hemos apuntado acerca de la ficción. ¿De qué manera podría la ciencia nutrirse o verse afectada por las construcciones imaginarias que su contraparte produce a partir de ella? Para dar con la respuesta, hay que observar que la ciencia ficción, en sus distintos momentos y expresiones, no se presenta como



una mera deriva hipotética del estado actual de la ciencia, sino, antes bien, como una advertencia, como la ideación de un escenario ficticio pero posible que debe movernos a la reflexión. De Julio Verne a Ursula K. Le Guin, de Orson Welles a Isaac Asimov y la serie de televisión *Black Mirror*, la ciencia ficción no representa únicamente una incitación o desafío que conmina a los científicos a alcanzar lo que el ingenio literario y la imaginación cinematográfica van proyectando como posibilidades, sino fundamentalmente un cuestionamiento sobre el decurso que la ciencia y sus aplicaciones técnicas han tomado en las sociedades contemporáneas, sobre sus efectos sociales y psicológicos, y sus implicaciones éticas y políticas. Representa una llamada de atención que busca hacernos repensar el sentido mismo de hacer ciencia: cuál es su propósito, para qué y para quién sirve, y cuáles son sus saldos materiales y humanos.

Éste es el desafío que la ciencia ficción dirige a la ciencia. Al día de hoy, sin embargo, la eficacia de esta comunicación no parece arrojar el mejor de los resultados, a pesar de que, como es un lugar común afirmar, en muchos sentidos la ciencia ha alcanzado a la ficción. Sólo la experiencia del futuro revelará en qué medida ha sabido la ciencia ser receptiva a esa afección fantasmagórica que su contraparte, con tanto ingenio e insistencia, intenta generarle.

«...no hay ciencia posible sin imaginación».

Andrés Luna Jiménez



GOBIERNO DE
MÉXICO



CONACYT
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología