

13

2024

Distribución gratuita

Ciencias Y Humanidades



Índice

- 4 Presentación**
María Elena Álvarez-Buylla Roces
- 10 Lo nuevo bajo el Sol: ¿exploración, descubrimiento, invención o construcción?**
J. César Guevara Bravo, J. Rafael Martínez Enríquez
- 24 Observar el universo oscuro con 5 000 ojos**
Axel de la Macorra Pettersson Moriel (coordinador)
- 36 La mecánica cuántica desmistificada**
Ana María Cetto
- 52 Regeneración y metamorfosis: el ajolote como caso de estudio**
Annie Espinal-Centeno, Alfredo Cruz-Ramírez
- 68 El neuroconectoma en la era de la psiquiatría molecular**
Antony Boucard
- 82 La evolución de dos géneros mexicanos de cícadas: *Dioon* y *Ceratozamia***
Jorge González-Astorga, Anwar Medina-Villarreal
- 96 Preservar el remanente del sistema lagunar de la Ciudad de México**
Marcela Rosas Chavoya, Columba Jazmín López Gutiérrez, Jorge Alberto Escandón Calderón, Demian Vázquez Muñoz
- 108 Efraím Hernández Xolocotzi, etnobotánico e ícono de la investigación de frontera**
Patricia Colunga-García Marín, Daniel Zizumbo-Villarreal, Jerónimo Zizumbo-Colunga

Directora

María Elena Álvarez-Buylla Roces
Directora general del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías

Comité editorial

Andrés Eduardo Triana Moreno
Dirección Adjunta de Investigación Humanística y Científica

Delia Aideé Orozco Hernández
Dirección Adjunta de Desarrollo Tecnológico, Vinculación e Innovación

Juan Francisco Mora Anaya
Unidad de Administración y Finanzas

José Alejandro Díaz Méndez
Unidad de Articulación Sectorial y Regional

Raymundo Espinoza Hernández
Unidad de Asuntos Jurídicos

Horacio Tonatiuh Chavira Cruz
Coordinación de Comunicación y Cooperación Internacional

Carolina Franco Espinosa
Coordinación de Repositorios, Investigación y Prospectiva

Alejandro Espinosa Calderón
Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de los Organismos Genéticamente Modificados

Coordinación temática

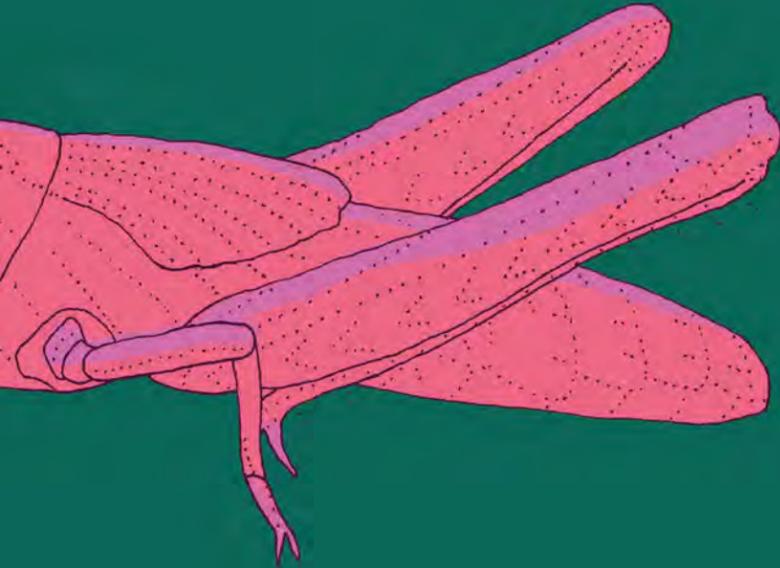
César Carrillo Trueba
Editor de la revista *Ciencias* de la Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México

Equipo editorial

Rosa María Espinosa Reyes
José Salvador Jaramillo Aguilar
Michel Didier Héctor Brutus
Ana Isabel Luján Ruiz
Juan Octavio Díaz Ruiz
Nancy Sarahí Garduño Hidalgo

Prácticas profesionales

Luisa Fernanda Pérez Ramírez
Miguel Ángel Padilla Jaramillo



Revisión científica

Fernando Cruz Quintana
Liliana Falcón Zertuche

Ilustración

Emma Casadevall Sayeras

Portada, contraportada y pp. 5, 7, 9

Armando Fonseca

Interiores

Ana Isabel Luján Ruiz

pp. 21, 40, 42, 45-46, 48-49, 71, 85,
88-91, 99, 105

José Salvador Jaramillo Aguilar

pp. 120-121

Santiago Moyao

pp. 150-151

Ciencias y Humanidades,

año 4, número 13, 2024,
es una publicación trimestral
editada por el Consejo Nacional de
Humanidades, Ciencias y Tecnologías.
Av. Insurgentes Sur 1582,
col. Crédito Constructor,
demarcación territorial Benito Juárez,
C. P. 03940, Ciudad de México
Teléfono: 55 5322 7700
conahcyt.mx
Tiraje de 5000 ejemplares.
Papel bond de alta blancura.
Ciudad de México, 2024.
Impreso en Litográfica
Ingramex SA de CV.

Editor responsable

Consejo Nacional de Humanidades,
Ciencias y Tecnologías

Reserva de Derechos al Uso Exclusivo
04-2021-062922303700-102,
ISSN 2992-6882, ambos otorgados
por el Instituto Nacional del Derecho
de Autor.

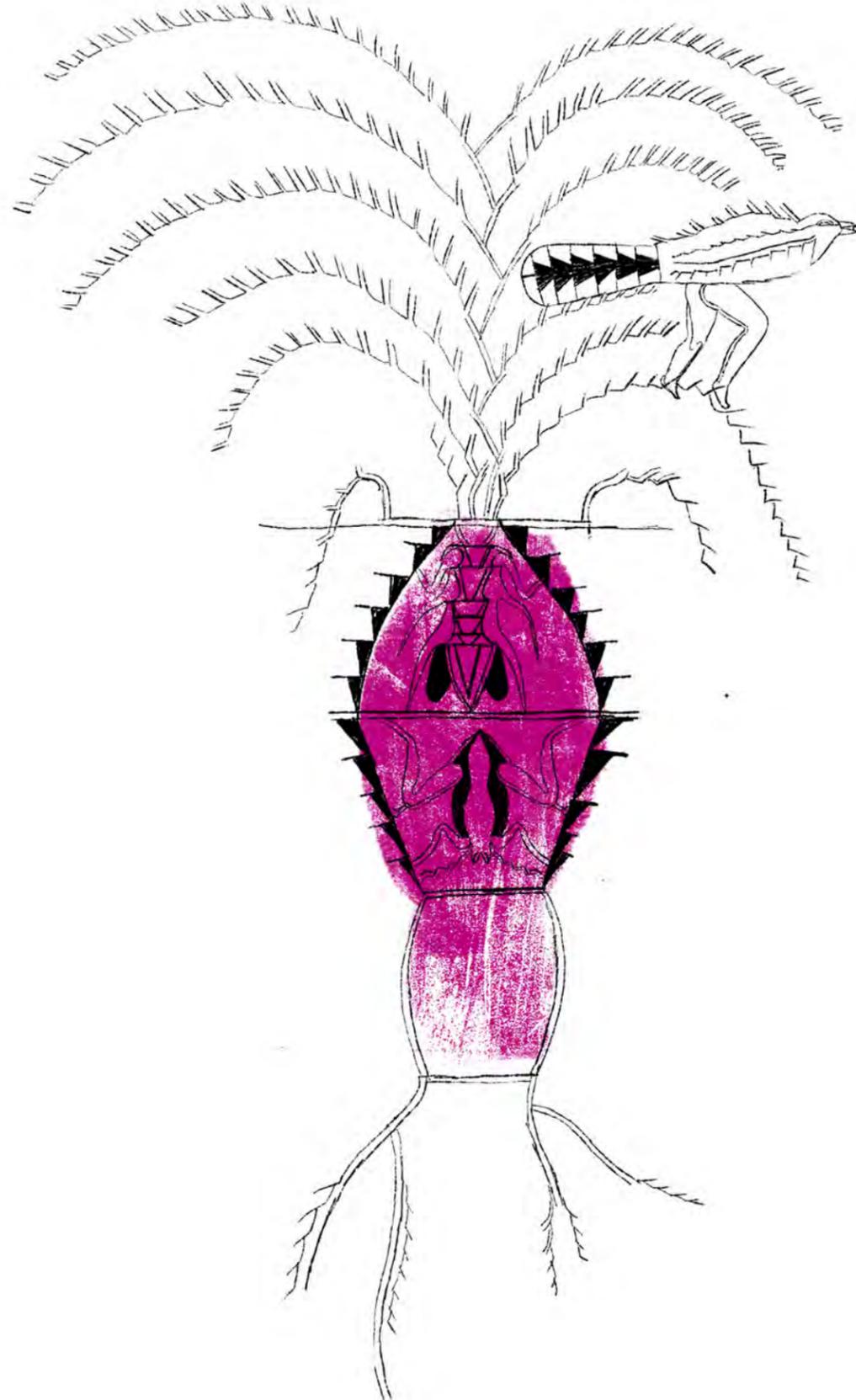
Licitud de Título y Contenido número
17598, otorgado por la Comisión
Calificadora de Publicaciones y
Revistas Ilustradas de la Secretaría
de Gobernación.



Reconocimiento-NoComercial-
SinObraDerivada CC BY-NC-ND

Responsable de la última
actualización de este número:
Consejo Nacional de Humanidades,
Ciencias y Tecnologías.
Fecha de última modificación:
29 de agosto de 2024

Proyecto «Plataformas de difusión científica:
narrativas transmedia para México», Instituto
de Investigaciones Dr. José María Luis Mora,
apoyado por el Conahcyt en el año 2024.



DATA

120 **Ciencia básica
y de frontera**

CIENCIAS Y ARTE

122 **Siete notas sobre el arte
como conocimiento y
acción transformadora**
José Miguel González
Casanova Almoína

DERECHO A LA CIENCIA

130 **Orientar la ciencia
para el bienestar social**
Lenia Batres Guadarrama

SOBERANÍAS

136 **Aplicación del
conocimiento en
la resolución de
problemáticas nacionales**
Dirección Adjunta de
Desarrollo Tecnológico,
Vinculación e Innovación,
Coordinación de
Repositorios, Investigación
y Prospectiva

DIÁLOGO DE SABERES

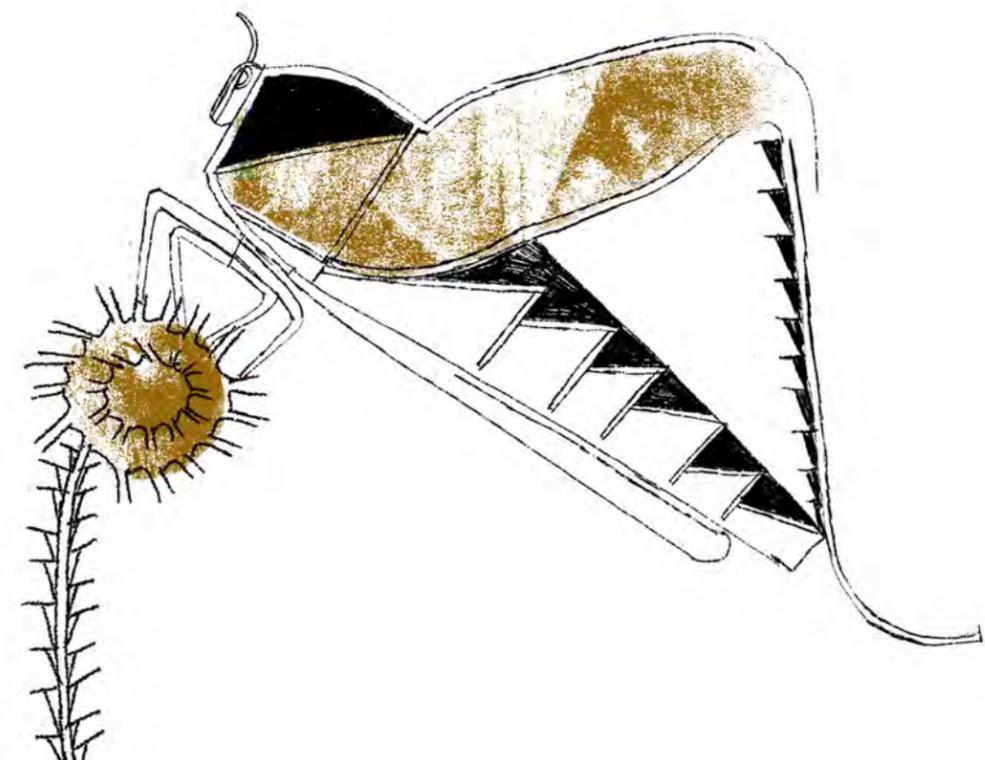
142 **Aprendizaje del inglés en
la Sierra Norte de Puebla.
Estrategias autónomas
y descolonización**
Colette Despagne

HISTORIA MÍNIMA

150 **Ajolotes**
Santiago Moyao

PUNTO CRÍTICO

152 **Posibilidades de la
memoria: San Juanico
a 40 años**
Miguel Ángel Gorostieta



Presentación

María Elena Álvarez-Buylla Roces

Directora general del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías.

Al cierre de la primera administración de la Cuarta Transformación, México ha dado pasos firmes hacia la democracia, la inclusión y el bienestar para toda la población. Por supuesto, el camino no ha sido sencillo, pero con liderazgo y determinación, el presidente Andrés Manuel López Obrador inició la reconstrucción de un país azotado, durante décadas, por la corrupción, las desigualdades y las injusticias sociales, económicas y también políticas.

En este mismo sentido, las políticas públicas en el ámbito de las humanidades, ciencias, tecnologías e innovación (HCTI) se han renovado con una profunda visión desde el humanismo mexicano. Al inicio, nos encontramos con cúpulas cooptadas para favorecer intereses creados, tanto políticos como económicos, además de una falta de planes estratégicos en la materia y un dispendio —o incluso posible desvío— de recursos; todo esto dejó a un sistema de HCTI desatendido y desarticulado, con una capacidad muy limitada para vincularse y atender los grandes retos nacionales. No obstante, de 2018 a 2024 no sólo se impulsaron grandes transformaciones administrativas, además se publicó y entró en vigor en 2023 la nueva Ley General en materia de Humanidades, Ciencias, Tecnologías e Innovación, instrumento jurídico que abandera y garantiza el derecho humano a la ciencia, lo cual constituye un logro fundamental para romper los modelos tradicionales que por años secuestraron el quehacer científico en torno a las élites y unas minorías.

Junto con los grandes ejes y aspectos que aborda, la Ley reconoce el indispensable papel de las ciencias, tanto básica como de frontera. Ante escenarios tan cambiantes, realidades tan diversas y dinámicas tan transversales, superar el *statu quo* es la única vía para afrontar el presente y responder al futuro. En sintonía, el Conahcyt recuperó el impulso para estas ciencias no sólo con recursos públicos, sino con alianzas virtuosas, la coordinación con los Cen-

tros Públicos y las instituciones de educación superior, así como la participación comprometida y la escucha activa de las organizaciones de base social y las comunidades.

De tal modo, la presente edición de la revista *Ciencias y Humanidades* está dedicada nuevamente a la ciencia de frontera, como un homenaje a quienes, con creatividad e innovación, buscan superar y sobrepasan los límites establecidos, pues las aplicaciones de las HCTI se nutren de ciencia honesta, que ofrece nuevos conocimientos, sólidos y actualizados. A partir de esta aportación, siempre en constante construcción y cambio, se pueden desarrollar diversas maneras de implementar los saberes para comprender a fondo y enfrentar los retos reales que día a día se presentan. En este número, las y los lectores se sumergirán en un recorrido por los límites entre lo que sabemos y lo que recién se conoce, donde distintas disciplinas convergen y se entrelazan para explorar nuevas fronteras de la investigación científica.

Este volumen se adentra en temas tan diversos como fundamentales, que desafían los paradigmas establecidos y abren nuevas perspectivas para el avance del saber humano. Cada artículo presenta una visión única sobre cómo la ciencia y la investigación le están dando forma a nuestro mundo, superando los límites del conocimiento y contribuyendo con nuevos entendimientos y, por lo tanto, garantizando el derecho humano a la ciencia. Con todo ello, desde nuestro México se fortalece nuestra soberanía tecnológica y nacional.

Los textos reunidos en esta edición reflejan no sólo la amplia diversidad epistémica, sino también la rigurosidad y la innovación que caracterizan a una ciencia consciente; asimismo, ratifican el compromiso de este Conahcyt para apoyar a colegas que se dedican al desarrollo científico, con una libertad de investigación, así como el apoyo sostenido e incremental a la ciencia básica y de frontera, que

se ampara, por primera vez, en el marco de la ley. Todo ello es a favor del bienestar del pueblo de México. Así, a lo largo de estas páginas, investigadoras e investigadores de diferentes campos del conocimiento narran el trabajo científico innovador que desarrollan en conjunto con sus estudiantes y reflexionan sobre el impacto de sus descubrimientos en el presente y futuro de la humanidad.

El recorrido inicia con «Lo nuevo bajo el Sol: ¿exploración, descubrimiento, invención o construcción?», de J. César Guevara Bravo y J. Rafael Martínez Enríquez, quienes reflexionan sobre la innovación y la creatividad en el arte, la astronomía y las ciencias. A continuación le sigue el texto «Observar el universo oscuro con 5000 ojos», coordinado por Axel de la Macorra Pettersson Moriel y que describe el proyecto Dark Energy Spectroscopic Instrument, el cual cuenta con un grupo de 40 personas mexicanas, quienes trabajan con una herramienta compleja diseñada para descifrar la energía oscura en el universo.

Ana María Cetto, en «La mecánica cuántica desmistificada» —a casi un siglo del nacimiento formal de esta teoría—, afronta los misterios que la rodean y sugiere cómo se puede descorrer el velo que los cubre. Por su parte, Annie Espinal-Centeno y Alfredo Cruz-Ramírez, en «Regeneración y metamorfosis: el ajolote como caso de estudio», explican cómo este anfibio es un modelo de investigación en vertebrados para la búsqueda por develar las características celulares y moleculares que posee, lo que permitirá generar conocimiento con potencial de aplicación en biomedicina y medicina regenerativa.

«El neuroconectoma en la era de la psiquiatría molecular», bajo la autoría de Antony Boucard, explora cómo se forman las sinapsis neuronales y cómo las alteraciones en las moléculas de adhesión sináptica pueden estar relacionadas con trastornos neuropsiquiátricos; este conocimiento contribuiría al desarrollo de nuevos tratamientos

farmacológicos. Por otra parte, en «La evolución de dos géneros mexicanos de cícadas: *Dioon* y *Ceratozamia*», de Jorge González-Astorga y Anwar Medina-Villarreal, se evidencia la influencia del clima y de la presencia humana en la diversificación de estas plantas que también son conocidas como fósiles vivientes, lo cual es muy importante para comprender la biodiversidad y su conservación.

Otro ejemplo de investigación de frontera es la que se lleva a cabo en los cuerpos de agua de Milpa Alta, Tláhuac y Xochimilco, sobre la cual escriben Marcela Rosas Chavoya, Columba Jazmín López Gutiérrez, Jorge Alberto Escandón Calderón y Demian Vázquez Muñoz. «Preservar el remanente del sistema lagunar de la Ciudad de México» muestra, con evidencia contundente, que la interdisciplinariedad enfrenta grandes problemas sociales y ecológicos. Asimismo, en este número se honra el legado de un pionero en el reconocimiento y la inclusión de las y los campesinos en el proceso científico y en la toma de decisiones. El artículo especial, de las plumas de Patricia Colunga-García Marín, Daniel Zizumbo-Villarreal y Jerónimo Zizumbo-Colunga, está dedicado a Efraím Hernández Xolocotzi, etnobotánico e ícono de la investigación de frontera en el país, cuyos esfuerzos fueron fundamentales para clasificar las razas de maíz en México, sentar las bases para la conservación del germoplasma, así como advertir sobre los riesgos de la introducción de transgénicos.

Por otro lado, en la sección de Ciencias y Artes, José Miguel González Casanova Almoína presenta «Siete notas sobre el arte como conocimiento y acción transformadora», un texto acerca de la vida como un proceso continuo de significación, en gran medida mediante la estética. El autor comparte su visión sobre cómo la pulsión creativa, expresada en el arte, no es sino una representación de la búsqueda de conocimiento y transformación. Mientras tanto, en Derecho a la Ciencia, Lenia Batres Guadarrama

aborda el valor que tiene como instrumento anticorrupción la nueva Ley en el ámbito de HCTI. Más adelante, en Soberanías, el artículo de dos áreas del Conahcyt «Aplicación del conocimiento en la resolución de problemáticas nacionales» ejemplifica la búsqueda constante de conocimiento y la renovación de las aplicaciones tecnológicas y científicas para el beneficio social en México.

En Diálogo de Saberes, Colette Despaigne aborda el tema del «Aprendizaje del inglés en la Sierra Norte de Puebla. Estrategias autónomas y descolonización» y presenta un estudio de caso crítico sobre el contexto socio-histórico de la discriminación lingüística y el colonialismo que persiste en nuestro país. Al descolonizar la educación se recupera la identidad, por lo que el texto destaca la importancia de darles voz a las y los estudiantes como agentes sociales en su proceso de aprendizaje y la construcción sociohistórica de su identidad.

Por último, Miguel Ángel Gorostieta escribe en Punto Crítico sobre las «Posibilidades de la memoria: San Juanico a 40 años», con una narrativa ágil y rigurosa, con la que discurre sobre los esfuerzos de las y los habitantes del barrio donde ocurrieron las fatídicas explosiones para contar historias sobre el pasado del pueblo, generar espacios culturales y comunitarios que fortalezcan el tejido social y recuperar así su memoria colectiva frente al estigma.

En la parte artística, el presente número está ilustrado por Armando Fonseca, quien con cuidadosa reflexión crea narrativas bondadosas sobre temas complejos y variados; para ello, se inspira y hace un homenaje a una de las mentes artísticas más impresionantes y compro-



metidas de México: Francisco Toledo. Además, la revista cuenta con la ilustración de Santiago Moyao en Historia mínima, Salvador Jaramillo en Data y Emma Casadevall en los forros.

Este volumen de la revista explora una serie de intersecciones novedosas entre las ciencias rigurosas, las tecnologías innovadoras y las humanidades multidimensionales, a la vez que promueve un enfoque inclusivo y ético. En sus páginas se asienta de qué manera la investigación y el conocimiento son herramientas poderosas para promover la equidad, la justicia y la inclusión, porque no sólo se trata de trascender los límites del conocimiento científico y generar nuevos descubrimientos, sino que es necesario considerar cuidadosamente el impacto de estos hallazgos en la sociedad, el ambiente y las generaciones del futuro. Así, desde el Conahcyt impulsamos una visión reflexiva y crítica con la que las y los investigadores identifican y abordan las implicaciones éticas, sociales y culturales de su trabajo; asimismo, fomentamos la colaboración interdisciplinaria y la participación de diversas comunidades en el proceso científico, con lo que se enriquece la calidad y relevancia de los resultados obtenidos, porque, en última instancia, la ciencia de frontera también implica priorizar la responsabilidad y la empatía en la investigación para que podamos avanzar hacia un futuro más sostenible y humano para todas y todos.

J. César Guevara Bravo
J. Rafael Martínez Enríquez
Profesores del Departamento
de Matemáticas, Facultad de Ciencias,
Universidad Nacional Autónoma
de México.



Lo nuevo bajo el Sol:

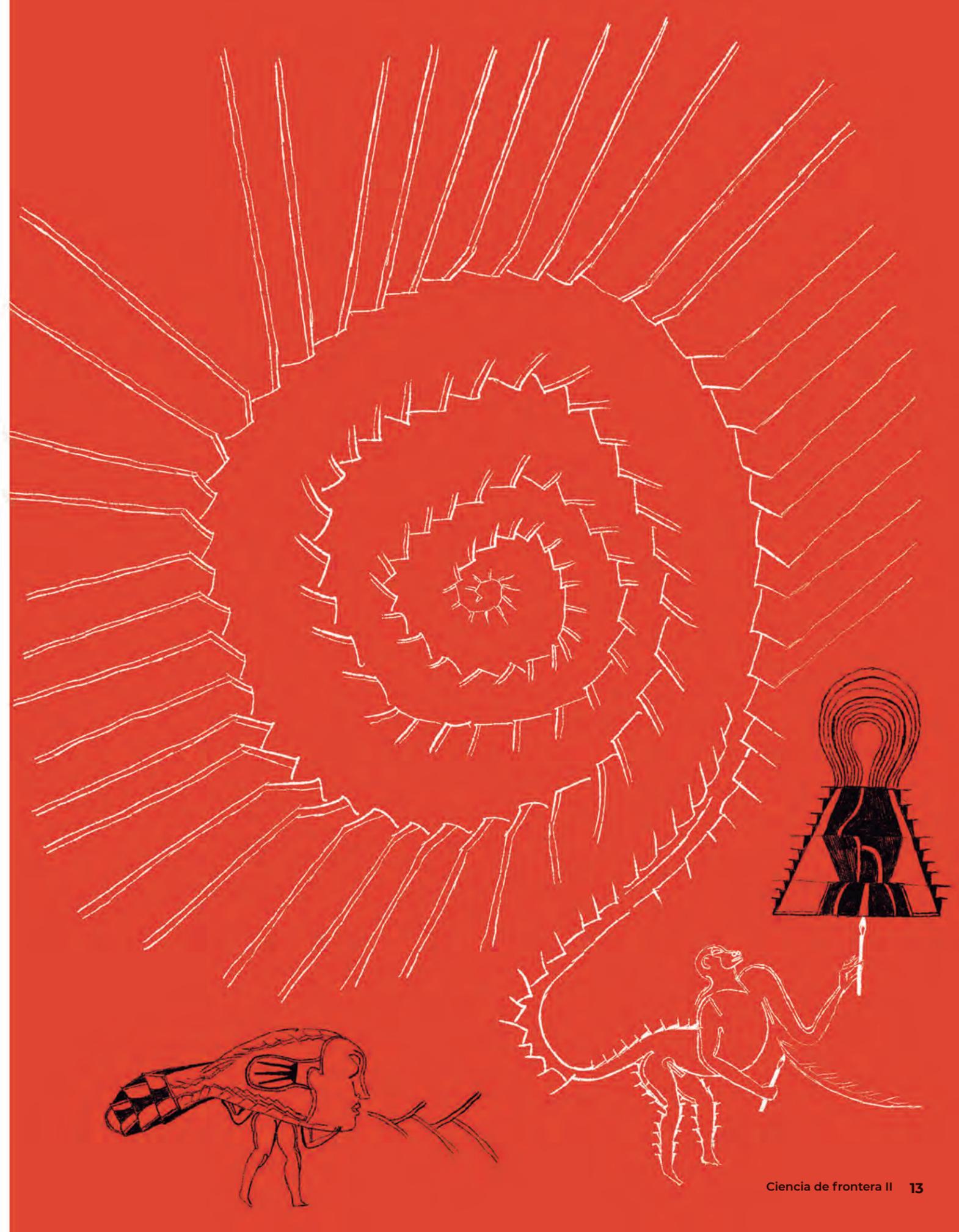
¿exploración, descubrimiento, invención o construcción?

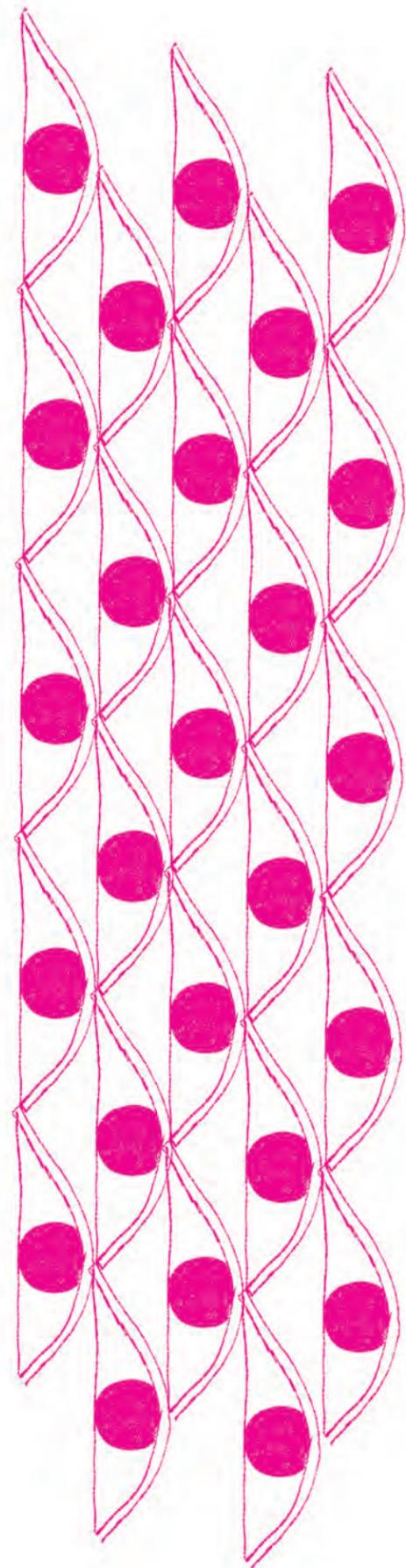




La creatividad posee, entre otras, una característica notable: se manifiesta bajo las prendas de un escaso apego a las reglas preestablecidas. No existen normas o preceptos que se puedan seguir para crear nuevos paradigmas, acordes musicales jamás escuchados, líneas poéticas ajenas a lo ya escrito, trazos artísticos para configurar formas inéditas, conceptos novedosos, e integrarlos en nuevas armazones de nuestra cotidianidad o en avanzadas herramientas para entender y transformar el mundo y el imaginario que lo interpreta. Si existieran tales reglas, tendríamos soluciones y respuestas para todas las interrogantes. Sin duda, esto podría ser lo óptimo en la vida, pero, como sabemos, no sucede así.

La experiencia nos dice que no hay preceptos generales para construir nuevos saberes, pero eso no supone un impedimento para la presencia, a lo largo del tiempo, de la creatividad, que se ha constituido en un motor de las múltiples civilizaciones que han conformado nuestra historia. El conocimiento de nuestro entorno, que asumimos hoy como tarea del quehacer científico, es uno de los ámbitos más ilustrativos del poder creativo, tanto individual como colectivo. Con eso como trasfondo, lo que se presenta líneas adelante son destellos o pasajes que la historia occidental ha recogido como momentos destacados en los que la pericia humana ha hecho gala de su creatividad, cada uno en el marco de sus características metodológicas, y que aportaron elementos novedosos y transformadores de las expectativas de una sociedad.

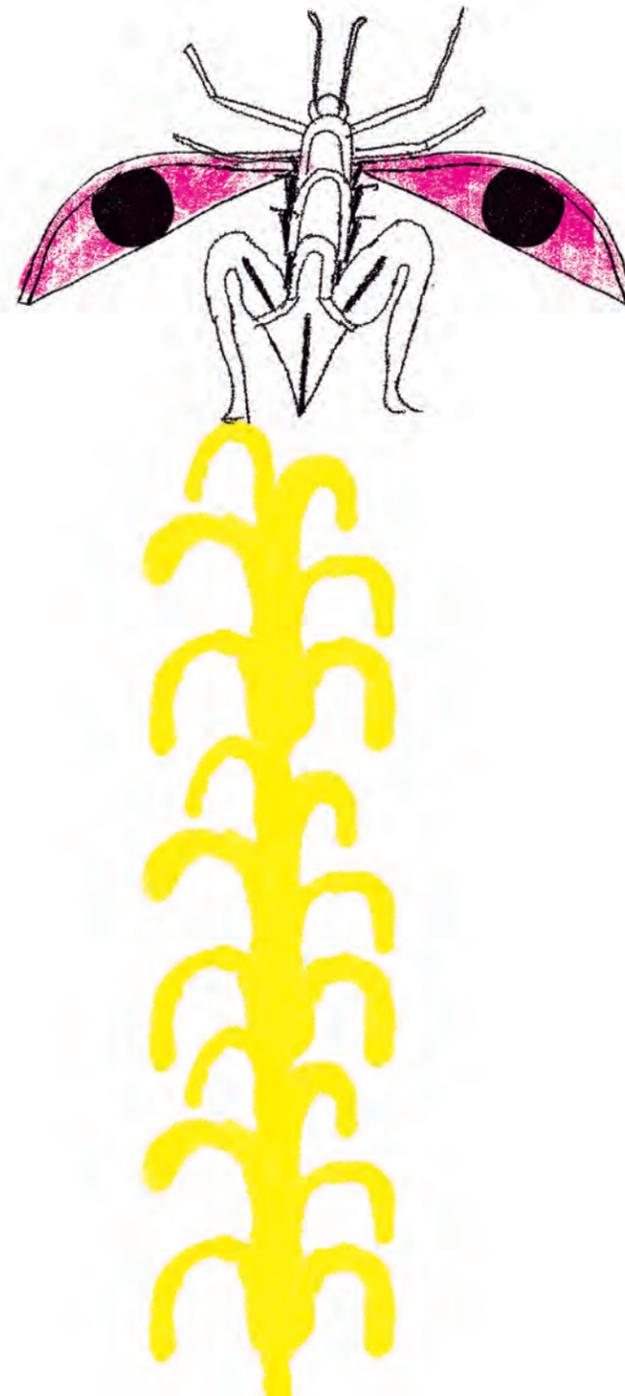




Racionalizar y representar lo que vemos

Una imagen icónica para la comunidad de historiadores del arte renacentista es aquella de los trazos de un piso cuadrulado mostrado en perspectiva, como una especie de esqueleto sobre el que se puede montar un escenario, y en él situar muros, muebles y personajes que integrarán una representación realista de una escena de la vida cotidiana, cuya materialidad convoca a las tres dimensiones para ser ubicada. La perspectiva de aquellas pinturas, o sea, la construcción geométrica, precisa y conforme a lineamientos cuyo origen no puede determinarse, surgió de la aplicación sistemática de las «verdades» que en forma de teoremas se presentan en una obra atribuida al matemático Euclides (330-275 a. n. e.), o bien pudo ser el resultado de intuiciones, a las que se añadieron percepciones o descubrimientos que afloraron empíricamente en los talleres o escuelas prácticas de los grupos de artesanos del norte de Italia entre los siglos XIV y XV.

El trazo del piso cuadrulado o artesonado sobre un lienzo pudo haberlo ideado Filippo Brunelleschi (1377-1446) y comunicado a León Battista Alberti (1404-1472), quien publicó un esbozo de cuáles son los pasos que se deben seguir para provocar la ilusión de espacialidad en una escena, y a lo cual añadió elementos históricos y mitológicos para sustentar que el oficio del pintor debería ser equiparado al de un arte liberal, pues conjugaba referentes propios de una persona culta y una justificación geométrica de nuestras percepciones visuales. Este logro —que un colectivo de autores que se enlazó a través de los tiempos estableciera una práctica que se concretó en el siglo XV—

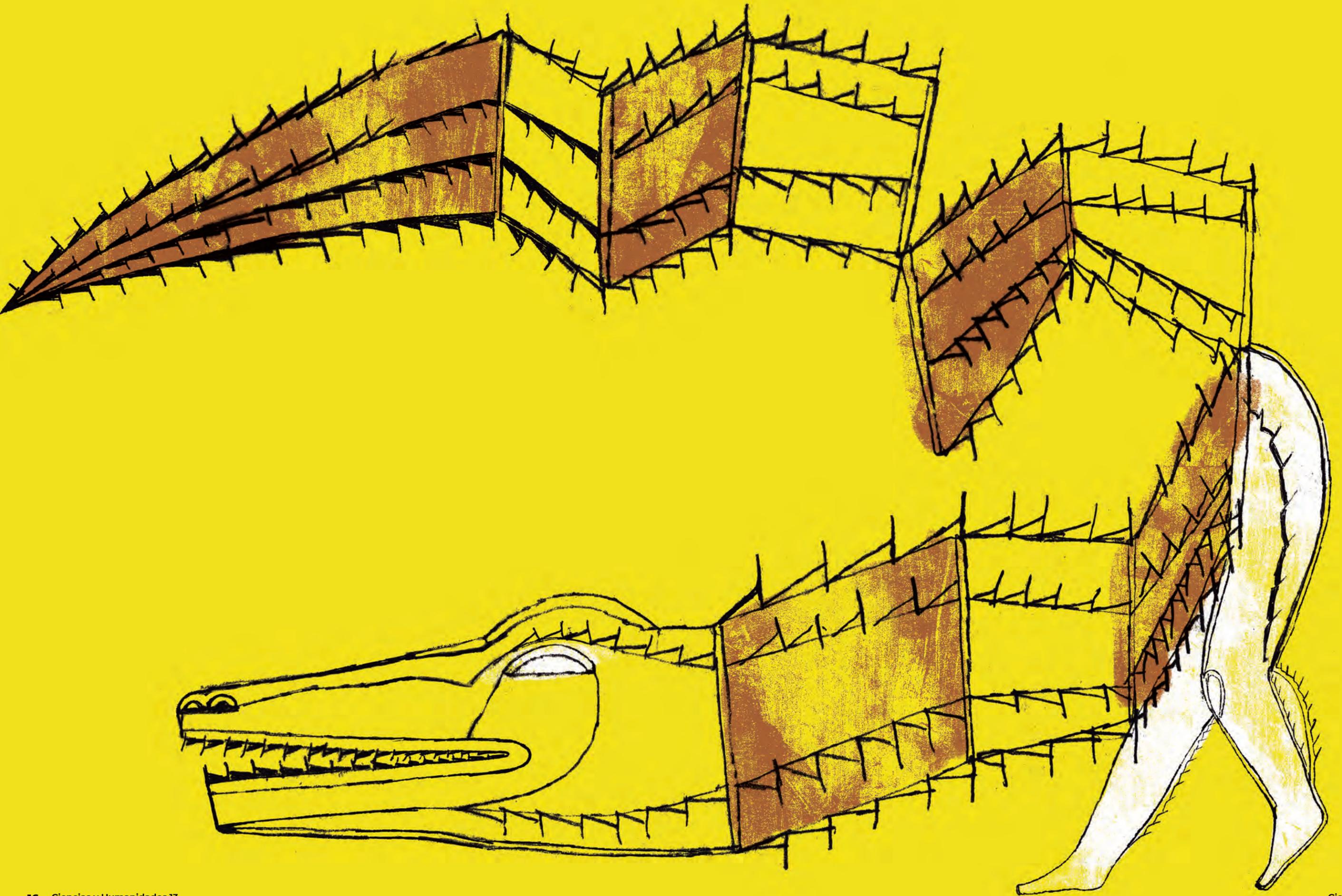


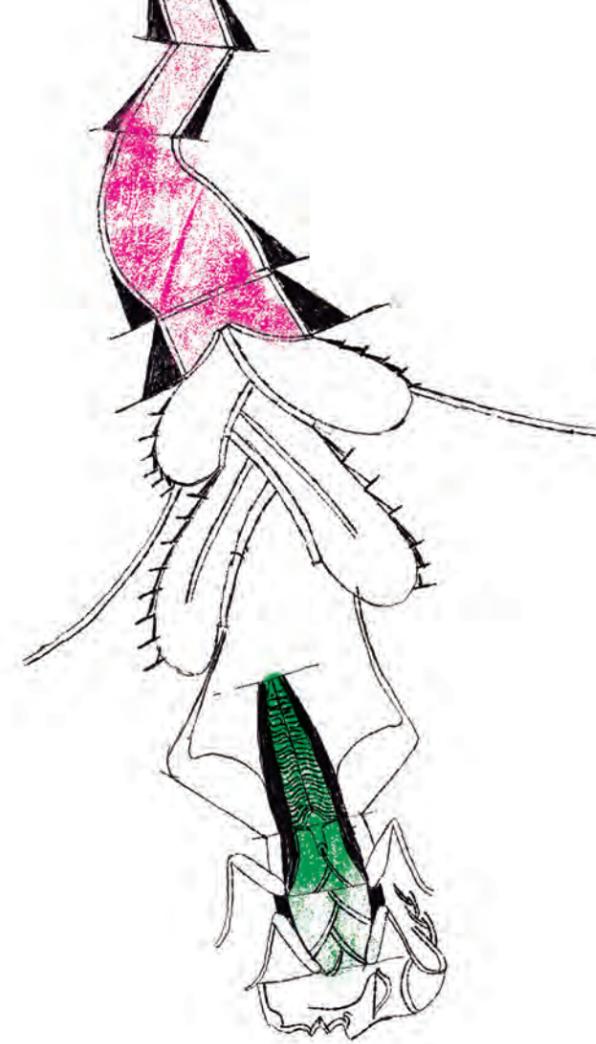
¿se considera un descubrimiento o es una invención?, ¿es una construcción racional que respondía a una necesidad de orden práctico gestado en un momento histórico?, ¿o es la conjunción de una serie de circunstancias y prácticas empíricas que encontraron acomodo en una cultura que fusionó una sapiencia geométrica con una elaboración extraída de la filosofía natural dominada por una ideología religiosa, pero a la vez ávida de comprender el mundo?

Es evidente que hay un impulso hacia nuevas fórmulas, en este caso artísticas y científicas, y en dicho sentido se concreta una innovadora visión del mundo. Pero cabe preguntarse si ese nuevo estilo pictórico fue la creación, el descubrimiento o la invención de una persona, o bien fue el resultado de una síntesis alcanzada por un selecto grupo de individuos que inadvertidamente avanzó en lo que luego se concebiría como un programa de reformulación de la realidad, o quizás fue una especie de energía creativa que contagiaba a diversos actores y el tiempo se encargó de concretar bajo nuevas formas de concebir, representar e interpretar la materialidad del mundo. Las respuestas a estas inquietudes forman parte de múltiples textos aparecidos en el medio siglo que nos precede.

Las variantes de la creatividad

Inmersos en la etapa del desarrollo de ideas o de la proposición de resultados nuevos, es inevitable preguntarnos si estamos en la senda correcta o si el proceso de innovación o de invención es viable. Se pueden establecer condiciones iniciales para comenzar un trabajo, sustentadas en la observación y la manipulación de la naturaleza, pero tam-

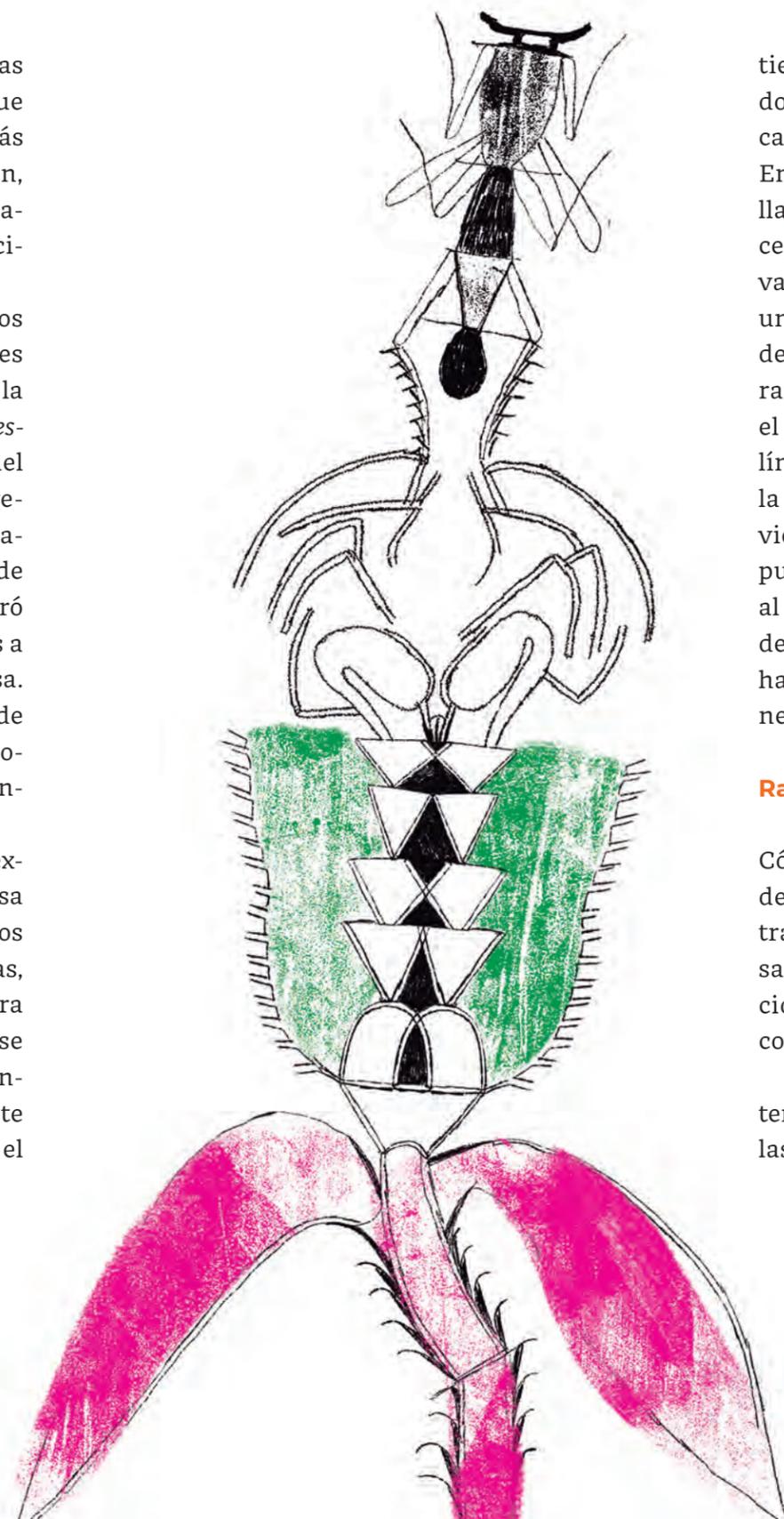




bién surgen otras en ámbitos teóricos y a partir de ellas se infieren resultados mediante procesos deductivos, que van de lo más elemental a lo más complejo. Para tener más certeza sobre la validez del método o perfil de indagación, es necesario que las premisas de partida sean las adecuadas, pero ¿cómo sabemos que lo son y que éstas conducirán a instaurar una nueva pauta cognitiva?

Con el propósito de ejemplificar lo anterior, podemos revisar los grandes sistemas cosmológicos occidentales que precedieron a la propuesta copernicana del mundo, la cual se dio a conocer en el *De Revolutionibus Orbium Coelestium* (1543). La característica esencial de los sistemas del mundo desde la Antigüedad hasta el siglo XVI era que presentaban un modelo geocéntrico, cuya versión más acabada la ofreció Ptolomeo en el *Almagesto* (siglo II), donde a partir de los modelos de movimiento planetario generó unas tablas de posiciones astronómicas muy superiores a aquellas utilizadas por las civilizaciones egipcia y persa. Esta obra tenía como sus pilares los trabajos de Hiparco de Nicea (190-120 a. n. e.) y los textos sobre esferas de Teodosio de Bitinia (siglos II-I a. n. e.) y de Menelao de Alejandría (70-140).

Retomando estos elementos, Ptolomeo fue capaz de explicar las posiciones planetarias a partir de una novedosa idea: el uso de epiciclos y deferentes, círculos utilizados para simular los movimientos retrógrados de los planetas, lo cual constituía uno de los problemas más notorios, para entonces, en el ámbito astronómico. Sobre esta base se planteó un paradigma del universo que dominó las mentes occidentales durante casi 13 siglos. Sin embargo, este modelo del mundo debía ser ajustado conforme pasaba el



tiempo, pues los pequeños errores que se iban acumulando llevaban a rehacer las tablas de posiciones astronómicas, que a su vez afectaban la elaboración de calendarios. En su momento, la pregunta era a qué se debían esas fallas. Podemos decir que la creatividad de Ptolomeo fue excepcional, pero su sistema dependía tanto de datos observacionales que durante siglos fueron imprecisos como de un supuesto que en ese entonces sería inatacable: considerar que el sistema del universo era geocéntrico. Por esta razón, como la elección de las premisas no era la correcta, el proceso creativo no podía trascender más allá de ciertos límites. Así, si la elección de las condiciones iniciales no es la adecuada, el resultado será incorrecto; en este caso, tuvieron que pasar más de mil años para que otras mentes pudieran darse cuenta, como un acto innovador, de que al intercambiar a la Tierra por el Sol como centro de giro de los planetas, incluido el nuestro, se daba un gran paso hacia la solución del problema sobre el movimiento planetario.

Racionalizar las emociones y sensaciones

Cómo se gestan las emociones en el cuerpo humano es uno de los enigmas que todavía tiene varias incógnitas. Para tratar de entender cómo es que nuestros sentidos procesan los estímulos sensoriales para transformarlos en emociones, un recurso recurrente es la música y su asociación con las matemáticas.

En Europa, René Descartes (1596-1650) fue quien entendió que la teoría musical, las ciencias de la naturaleza y las matemáticas del siglo XVII requerían contextualizarse

bajo un racionalismo inclusivo, y éste debería contemplar la irrupción de la polifonía en el escenario musical. El racionalismo cartesiano planteó analizar la música desde su naturaleza misma, y así precisar las cualidades intrínsecas del sonido, el ritmo y el tono; además, propuso que estas cualidades se examinaran como precursoras de diversas emociones que generan el actuar en los sentidos de las personas y también como partes del entramado de la composición musical. Descartes consideraba que debía existir algo intrínseco a la música y que aún continuaba sin ser identificado. Establecer su naturaleza sería la tarea de un análisis racional para guiar a la razón en su búsqueda de la verdad como parte de las ciencias, y ésta fue una de las ideas que inspiraron su *Discours de la méthode* (1637).

Es importante señalar que, contrario a lo que suele suceder con los paradigmas científicos, que los nuevos reemplazan a los antiguos, no ocurre así en la música. Una manera estructural de crear música no necesariamente desplaza a otra, como es el caso de la monodia que sigue vigente en Japón y China. Esto significa que, al estar la música vinculada directamente con las sensaciones y emociones, no necesariamente un nuevo paradigma musical va a reemplazar lo ya existente. La racionalización de las emociones tiene un papel y lo monódico puede agrandar igual o más que lo polifónico. ¿Por qué? Descartes no supo responder, y tampoco nadie hasta ahora; seguimos buscando ese eslabón.

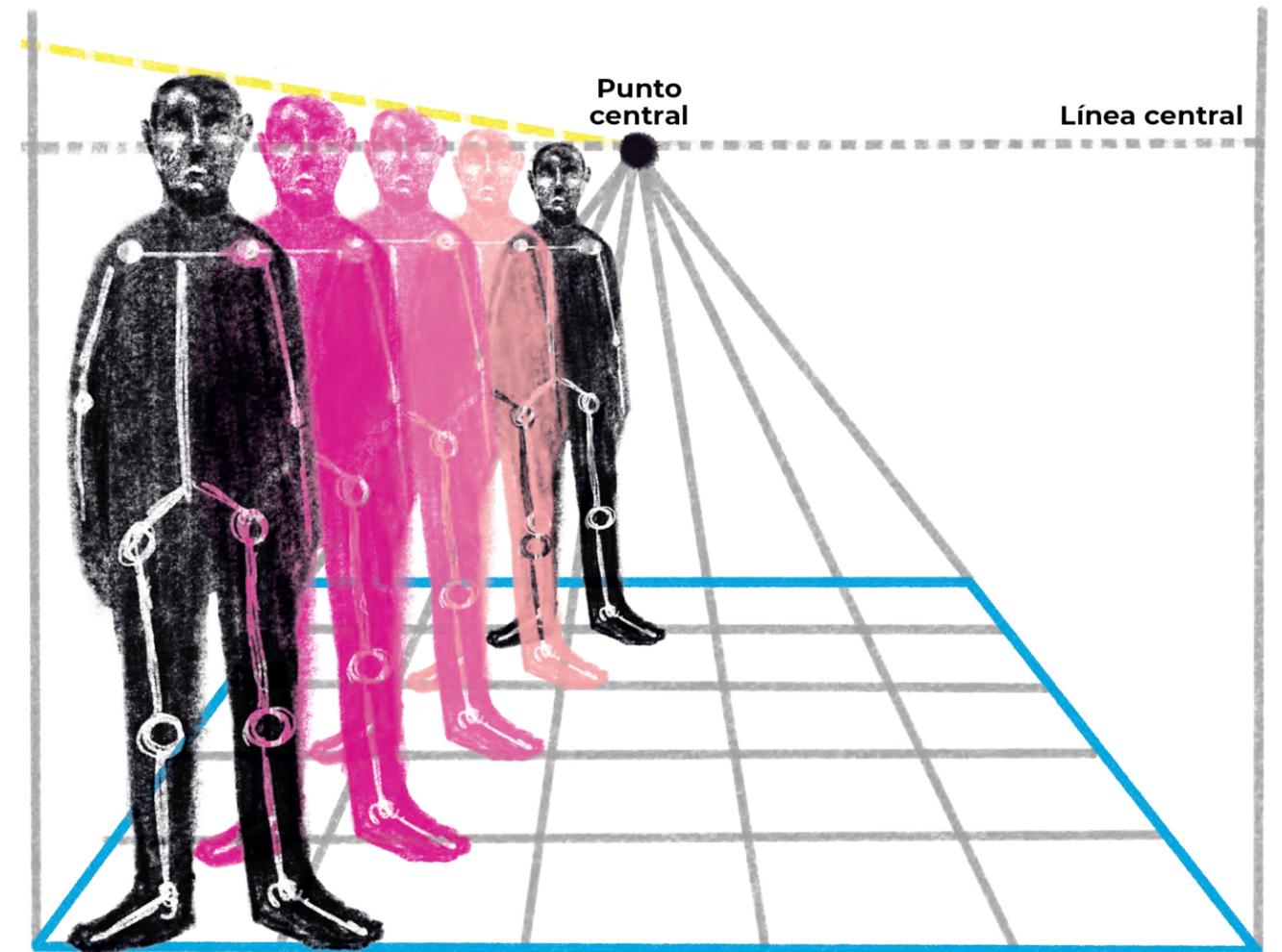


Figura 1.

La perspectiva lineal renacentista permite representar el espacio y la profundidad de una manera geométrica; los objetos que están adelante se ven más grandes y los de atrás, más pequeños.



Una reflexión

La creatividad es una especie de acto virtuoso que lleva a trastocar un patrón, desbordarlo, superarlo y a cambio instituir un nuevo escenario más acorde con las nuevas realidades o necesidades del marco que lo cobija. La transformación surge de una modificación intuitiva, de la iluminación intelectual o como mero producto de la serendipia, es decir, de manera accidental o casual. No sorprende que en ocasiones la nueva visión no responda a los ropajes de la racionalidad vigente hasta ese momento, y requiera modificar esta última atendiendo a los factores que la impulsieron o inspiraron. Si lo novedoso fuera sólo el resultado de una recomposición de los elementos estructurales de un paradigma, el acto creativo podría ser la consecuencia lógica de un reacomodo de los componentes que bajo el esquema previo imponían un discurso aparentemente funcional. Pero si lo novedoso o disruptivo en una cosmovisión parece violentar el tan apreciado «método científico», propio de una manera de concebir nuestro entorno, le toca a toda la comunidad establecer una especie de simbiosis con lo emergente que asimila y hace aceptables las nuevas concepciones.

Observar el universo oscuro con 5000 ojos

Axel de la Macorra Pettersson Moriel (coordinador)

Investigador del Instituto de Física, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

Jorge Cervantes Cota

Investigador del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares.

Alejandro Avilés Cervantes

Investigador del Instituto de Ciencias Físicas, UNAM.

Gustavo Niz Quevedo

Investigador de la Universidad de Guanajuato.

Octavio Valenzuela Tijerino

Investigador del Instituto de Astronomía, UNAM.

Mariana Vargas Magaña

Investigadora del Instituto de Física, UNAM.

Luis Ureña López

Investigador de la Universidad de Guanajuato.

Tonatiuh Matos Chassin

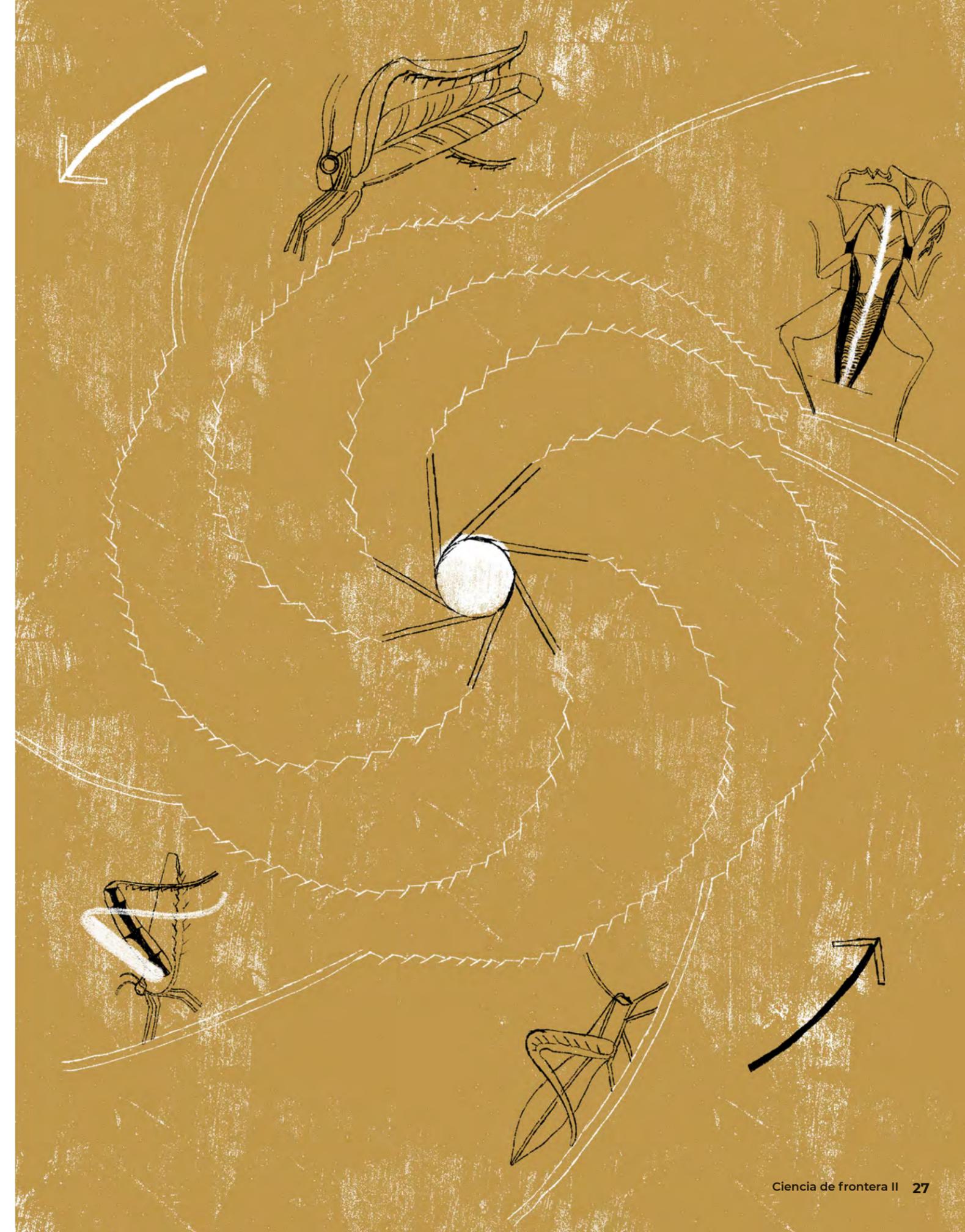
Investigador del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados, Instituto Politécnico Nacional.

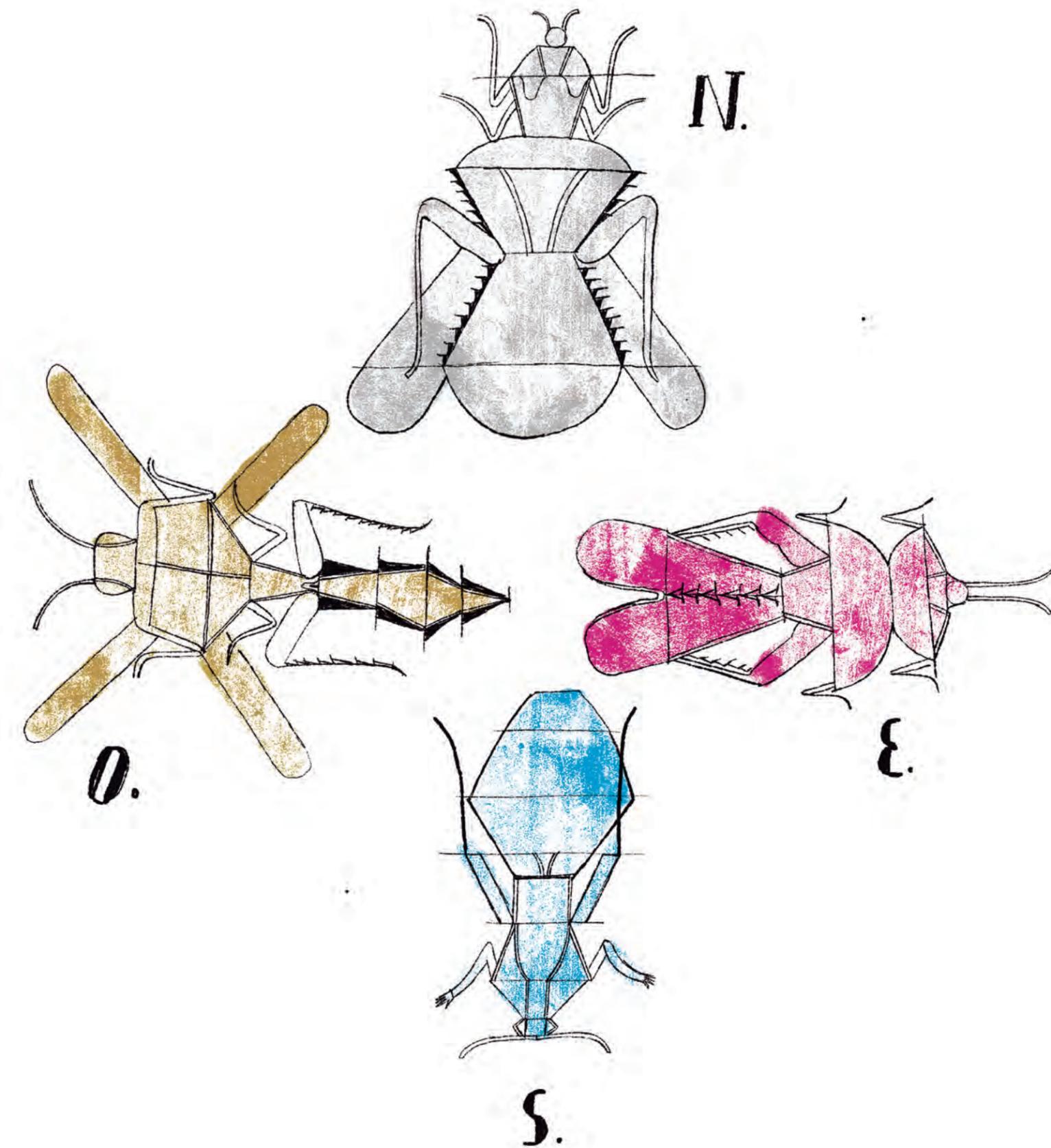
Al mirar el firmamento en una noche clara, nos maravillamos por la cantidad de objetos que podemos observar a simple vista. De todos ellos, pocas son galaxias y la más prominente es Andrómeda, hermana de la nuestra; sin embargo, el cosmos contiene miles de millones de galaxias, cada una con un gran número de estrellas. Si esto de por sí es asombroso, el hecho de que toda esta enorme cantidad de estrellas y galaxias contribuya sólo con el 4% del contenido del universo lo es aún más; las sustancias dominantes, aunque invisibles a nuestros ojos, son la materia oscura, que representa el 28% del total, y la energía oscura, con el 68%, según lo que sabemos hasta ahora.

La cosmología pretende comprender al cosmos desde su creación hasta nuestros días, esto es, apreciar sus cambios a lo largo de su gran historia: no siempre ha sido como lo vemos actualmente. En un principio, todo era mucho más pequeño y con una temperatura mucho más elevada, y no había materia como hoy la conocemos. Sabemos que la edad del universo es de aproximadamente 13 800

millones años, pero ¿cómo podemos conocer su historia? La teoría de la relatividad especial de Albert Einstein nos impide viajar al pasado, pero basta con mirar al cielo para que éste llegue a nosotros, porque eso es precisamente lo que sucede cuando observamos a los objetos celestes, pues su luz viaja hacia nosotros: no sólo vemos cómo es actualmente el cosmos cercano, sino también vislumbramos las diferentes etapas de su crecimiento. Así, ver al Sol es ir ocho minutos atrás en el tiempo, mirar al centro de nuestra galaxia es como viajar 50 000 años al pasado, y estudiar a los cuásares o galaxias más lejanas es trasladarse casi a la infancia de nuestro universo hace unos 11 000 millones de años.

Entre más distancia haya recorrido la luz, nos traerá información de tiempos más lejanos y de objetos que muy probablemente ya no existen. Ver al espacio a distintas distancias es tomar fotografías de otros tiempos, y esta información nos ha llevado a reconstruir su historia. Como se mencionó antes, las estrellas, planetas, asteroides y gases interestelares forman sólo el 4% de la materia





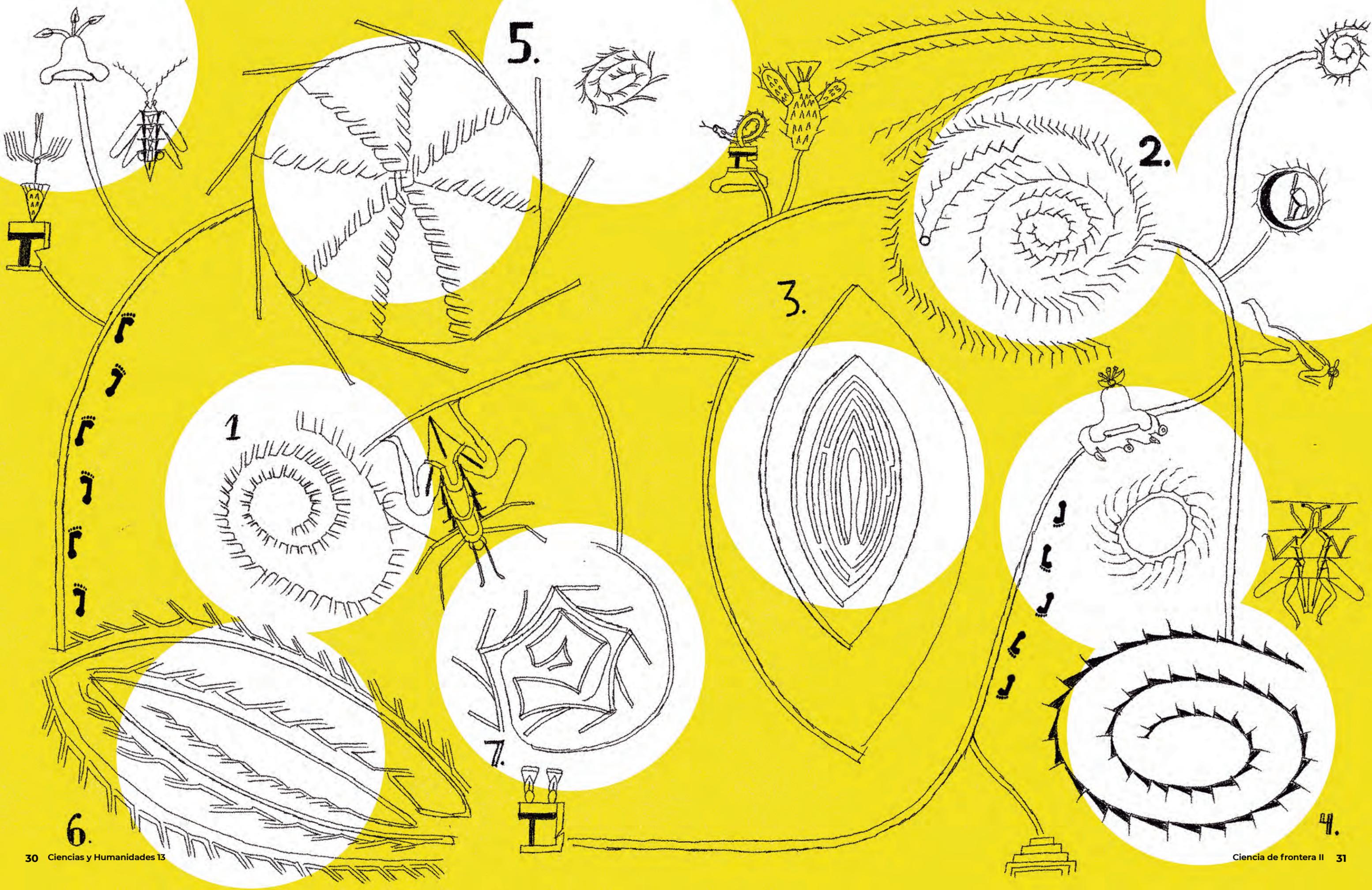
o energía del universo, y la contribución de la luz es aún mucho menor. La mayor parte del contenido del cosmos, el 96%, está conformada por dos sustancias oscuras enigmáticas que no son muy conocidas en la Tierra, pero ambas tienen una gran relevancia para el desarrollo y la evolución de nuestro universo. Sin embargo, aún no tenemos una idea cabal sobre sus orígenes. Probablemente, éste es el tema de mayor importancia e impacto en la física actual, y para descifrar a estas sustancias construimos nuestro experimento Dark Energy Spectroscopic Instrument (DESI), el cual está especialmente diseñado para determinar las propiedades de la energía oscura.

Ahora bien, aunque parecidas en nombre, la materia oscura y la energía oscura poseen propiedades muy diferentes, opuestas. La primera es requerida para generar una mayor fuerza de gravedad y permitir la formación de las estrellas, galaxias y cúmulos de galaxias que hoy vemos en el cosmos. Por su parte, la energía oscura genera una fuerza repulsiva, la cual es contraria a la gravedad, que

domina la evolución del universo a tiempos tardíos, es decir, en el presente. Este comportamiento aparentemente contradictorio no lo es, ya que estas sustancias se manifiestan a escalas muy diferentes: la materia oscura lo hace desde escalas galácticas, de unos miles de años luz, y hasta las escalas más grandes del universo; mientras que la energía oscura sólo se manifiesta a distancias cosmológicas, en decenas o centenas de millones de años luz.

La expansión acelerada del cosmos, determinada en 1998 a partir de la información de la explosión de estrellas supernovas tipo Ia —trabajo galardonado con el Premio Nobel de Física en 2011—, generó una enorme sorpresa entre la comunidad científica y es uno de los temas de investigación de mayor interés e impacto tanto en la ciencia como entre la sociedad. A raíz de este increíble y sorprendente resultado, las y los cosmólogos nos hemos enfocado a estudiar qué provoca este crecimiento acelerado, hoy llamado energía oscura.

Este experimento observacional es el principal estudio que se dedica



a determinar las propiedades de la energía oscura y la expansión del universo. En 2011, en un artículo expusimos la propuesta del proyecto a nivel internacional y, en 2014, se aprobó su construcción. En octubre de 2019, se iniciaron las observaciones y, recientemente, en un evento celebrado en las instalaciones del Conahcyt en la Ciudad de México, el 4 de abril de 2024, presentamos los primeros resultados cosmológicos de seis millones de galaxias y cuásares observados. En muy poco tiempo, DESI ha generado el mayor mapa tridimensional del cosmos y, en los próximos cuatro años, planeamos observar más de 40 millones de galaxias y cuásares.

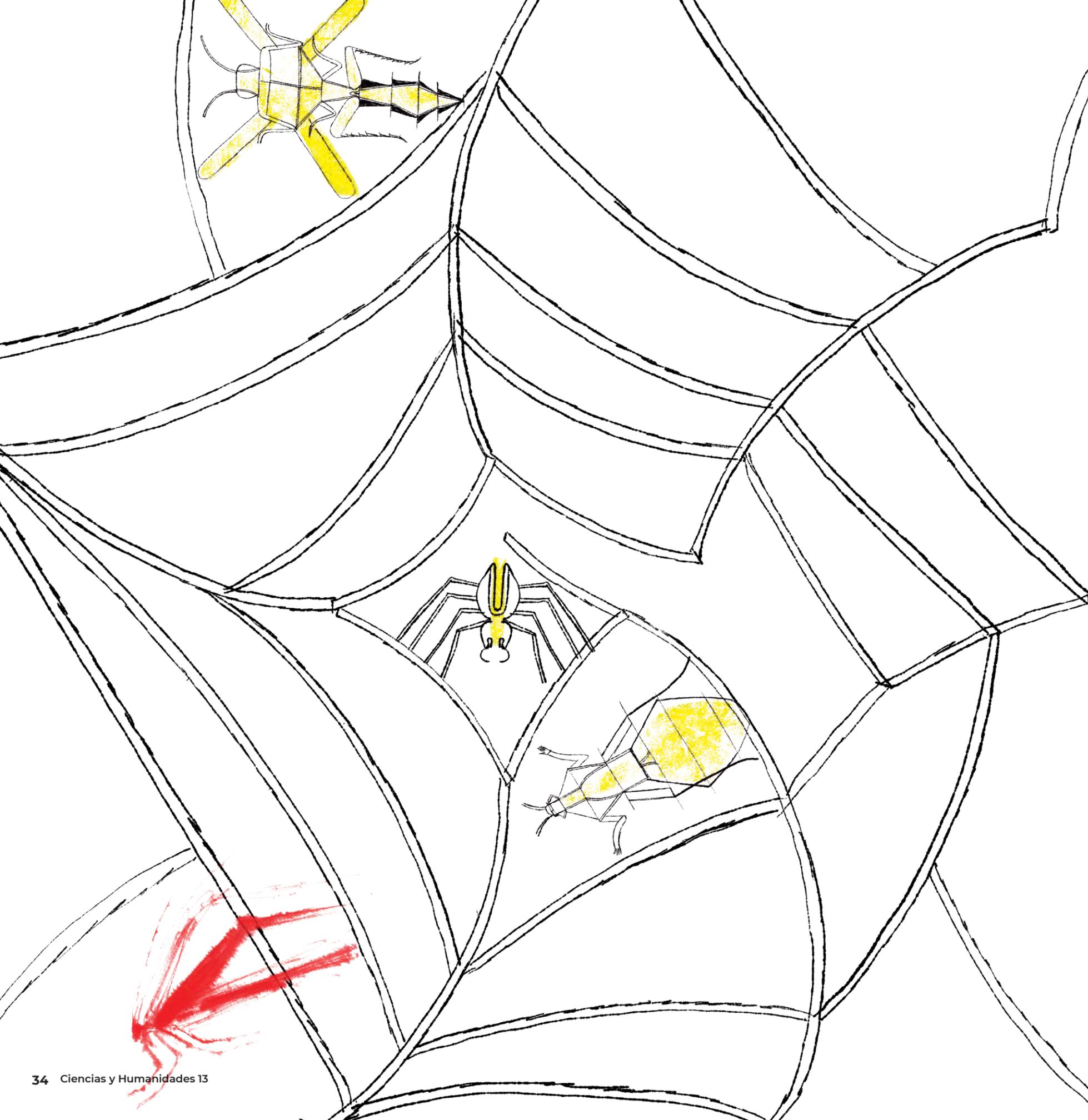
Principales resultados

Para elaborar este enorme mapa tridimensional del universo, desarrollamos un instrumento que contiene 5000 fibras ópticas y lo montamos en el telescopio Mayall, ubicado en Tucson, Arizona. En todo momento, cada una de esas fibras toma una fotografía, por lo que se obtienen 5000 imágenes al mismo tiempo, y con ellas

determinamos el espectro de luz de cada galaxia o cuásar, lo que nos permite conocer no sólo su posición, sino también la velocidad relativa con respecto a nosotros. Nuestro modelo cosmológico predice que la distribución de galaxias no es aleatoria, sino que hay una estructura filamentaria y compleja que conecta a las diferentes regiones del universo, como en una gran telaraña, pues a grandes escalas cósmicas esta estructura se repite y parece ser homogénea. Ahora bien, para medir la expansión del universo podemos pensar que cada galaxia, por ejemplo, la Vía Láctea, se ubica en el centro de una gran esfera y, entonces, hay cascarones de galaxias a nuestro alrededor. Estas esferas, cuyos radios están determinados por el modelo cosmológico, crecen a la par que el universo, por lo que al medir el tamaño de las esferas en diferentes tiempos podemos calcular de una forma bastante precisa el crecimiento del universo.

La explicación más establecida describe a la energía oscura como una constante cosmológica, que corresponde a una densidad de energía





constante, por lo que no evoluciona en el tiempo. El impacto de esta constante cosmológica en la expansión del universo es sorprendente porque genera un efecto contrario a la gravedad impidiendo que el universo colapse y favoreciendo un crecimiento cada vez más rápido. El modelo actual del universo, denominado el modelo estándar Lambda-Cold Dark Matter (LCDM), corresponde a las partículas del modelo estándar adicionado con materia oscura fría (partículas que tienen una velocidad muy inferior a la de la luz) y energía oscura (Lambda). Sin embargo, los recientes resultados de DESI detectaron por primera vez que una energía oscura que cambia ligeramente en el tiempo se ajusta mejor con estas observaciones cosmológicas que el modelo LCDM. Este resultado es un parteaguas en la cosmología y requiere el análisis de una mayor cantidad de datos observacionales para confirmarlo.

Otro resultado interesante es la medición de la masa de los neutrinos, la cual resulta muy, pero muy pequeña. Los neutrinos tienen propiedades tales que casi no interactúan con los

demás objetos, por lo que es muy difícil conocerlos a detalle. En uno de los artículos recientes de la colaboración DESI hemos podido determinar las cotas más precisas de la masa de los neutrinos, ya que, aunque poco masivos, éstos se encuentran en el medio cósmico y su masa genera pequeños efectos gravitacionales que DESI pudo medir.

Estos ejemplos de algunos resultados obtenidos muestran la impresionante capacidad de DESI no sólo para explorar las propiedades de la expansión del vasto universo, sino también para conocer mejor su contenido, las misteriosas energía y materia oscuras, además de las propiedades más finas de las partículas conocidas. En definitiva, estamos viviendo tiempos emocionantes en los que las observaciones cosmológicas y los modelos teóricos se entrelazan para descifrar al cosmos. A este esfuerzo se ha unido México, en donde con proyectos como éste hacemos ciencia de frontera.

Conoce al equipo mexicano del proyecto:



La mecánica cuántica desmistificada

Ana María Cetto

Investigadora del Instituto de Física
de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Nada de lo que se ve
se ve a la vez en su totalidad.
Euclides (300 a. n. e.)

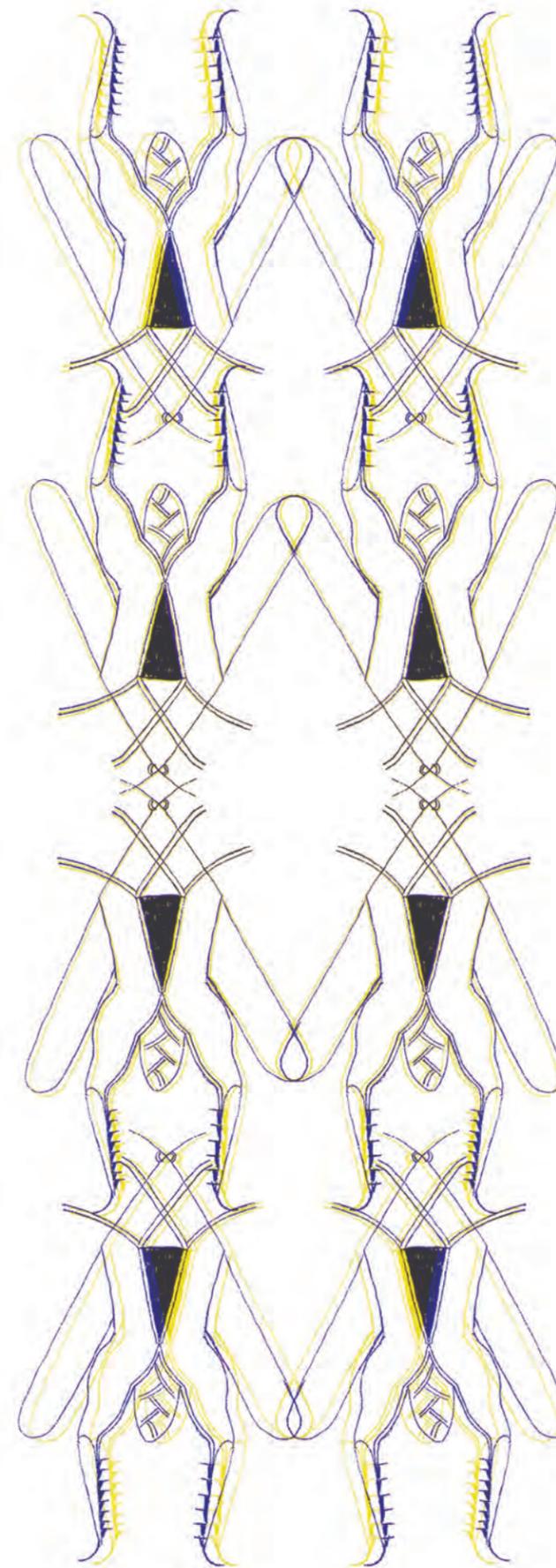
La mecánica cuántica, teoría inconclusa

Está por cumplirse un siglo del nacimiento formal de la mecánica cuántica, rama de la física iniciada en su versión matricial con el trabajo de Werner Heisenberg de 1925, y en su versión ondulatoria con las aportaciones de Erwin Schrödinger de 1926 –las dos caras del formalismo cuántico–, y que se ha desarrollado y extendido de manera formidable. Hoy es posible medir el gran poder de esta teoría por su capacidad predictiva y sus múltiples aplicaciones, dentro de la misma física y fuera de ella. Sin embargo, es una teoría incompleta porque describe los fenómenos del mundo cuántico, pero al no conocer las causas de éstos nos priva de entender su esencia.

Esta carencia esencial no sólo tiene consecuencias metafísicas –sobre nuestra forma de entender el mundo y de concebir la realidad–, sino también serias repercusiones para la física misma, ya que da lugar a grandes lagunas que se llenan con postulados *ad hoc* y con elementos interpretativos *ad libitum* ajenos a la física y en ocasiones opuestos a ella. Algunos de estos elementos, al ser afirmados con contundencia por destacados integrantes de la comunidad científica, adquieren credibilidad ante el gran público. El gusto por las paradojas asociadas a la mecánica cuántica es una manifestación de esta situación insatisfactoria.

No obstante, la mayoría de quienes se dedican a esta área no piensan así, o bien no les importa o no les interesa. Detenerse en los fundamentos, en las causas de los fenómenos cuánticos, les distraería innecesariamente de sus cálculos, sus experimentos o sus aplicaciones de la teoría y, en consecuencia, les haría mucho más difícil publicar sus trabajos y recibir reconocimiento por ello.

Los misterios a los que me referiré a continuación están vinculados a lo incompleto de la teoría. Y para no dejar a oscuras a quienes leen esto, como promete el título del artículo, sugeriré cómo se puede descorrer el velo de los misterios de la mecánica cuántica completándola con



un elemento *físico* que la teoría actual ha dejado de lado. A esta labor nos hemos dedicado durante más de 50 años, en el Instituto de Física de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), un grupo pequeño que se llama Fundamentos Físicos y Matemáticos de la Mecánica Cuántica.

La siguiente lista es inevitablemente incompleta, pero representativa de las preguntas fundamentales que la mecánica cuántica ha puesto al descubierto. Como se verá a continuación, de manera breve y esquemática, cada una de estas preguntas encierra un misterio a la espera de ser resuelto:

- La estabilidad atómica.
- La dualidad partícula-onda.
- La naturaleza de la función de onda.
- La no localidad.
- Las fluctuaciones cuánticas.
- El «colapso» de la función de onda.
- El cambio de variables c a variables q (operadores).
- El principio de exclusión.
- El entrelazamiento.

La estabilidad atómica

En 1913, Niels Bohr da un gran paso al introducir su modelo cuántico para el átomo de hidrógeno (Figura 1), con el cual obtiene una fórmula para calcular las energías de los estados que no sólo reproduce las líneas espectrales ya conocidas, sino que predice todo el resto. Su modelo va acompañado de dos postulados: los electrones atómicos ocupan órbitas *estacionarias* (cuantizadas) y los electrones *saltan instantáneamente* de una órbita a otra.

Preguntas: 1) si las cargas aceleradas pierden energía por radiación, ¿cómo es que la órbita se mantiene estable y el electrón no pierde energía hasta chocar con el núcleo? 2) ¿Cómo es que un electrón puede pasar instantáneamente de una órbita a otra, sin ocupar puntos intermedios?

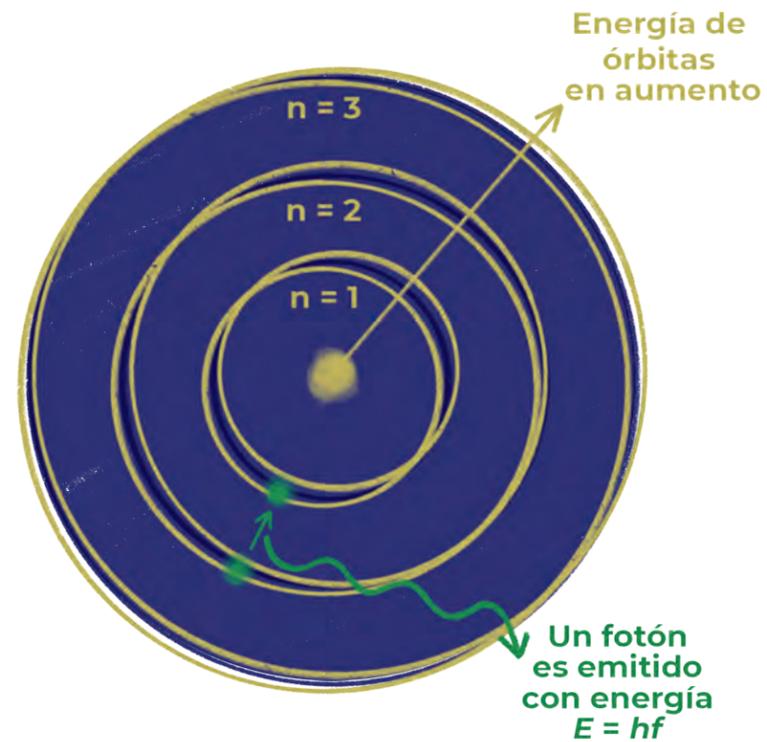


Figura 1. Los electrones ocupan órbitas estacionarias de energías definidas y saltan de una a otra al emitir o absorber un cuanto de energía. Fuente: adaptado del modelo cuántico del átomo de Niels Bohr, desarrollado en 1913.

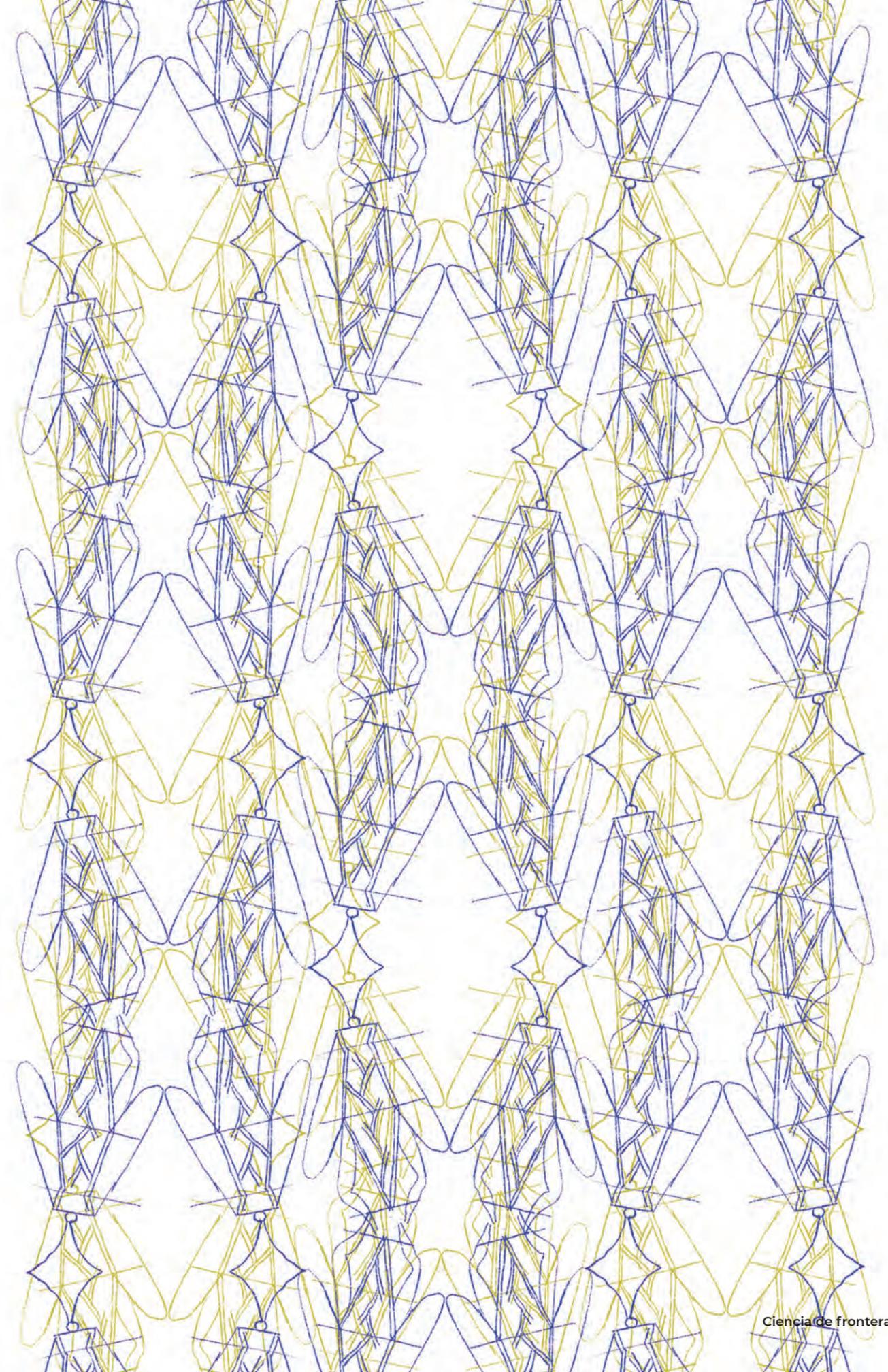
La dualidad partícula-onda

En 1923, Louis de Broglie defiende su tesis doctoral con las siguientes propuestas: una partícula de masa m que viaja con velocidad v lleva asociada una longitud de onda λ , cuyo tamaño está dado por la fórmula $\lambda = h/mv$, donde h es la constante de Planck (la cual se caracteriza por su valor extremadamente pequeño). Por consiguiente, un haz de partículas puede dar lugar a patrones de difracción (por cristales) e interferencia (por una doble rendija).

Preguntas: 1) ¿a qué se deben las propiedades ondulatorias de los electrones y de qué sustancia están hechas las ondas? 2) ¿Cuándo se «comportan» los electrones como onda y cuándo como partícula?

La naturaleza de la función de onda

En 1926, Erwin Schrödinger publica una serie de cuatro artículos en los que establece la ecuación diferencial que lleva su nombre y cuya solución es la llamada función de onda (ψ). La ecuación de Schrödinger, base de la mecánica



cuántica en su versión ondulatoria, tiene como solución a la función de onda, la cual se refiere al comportamiento de las partículas.

Preguntas: 1) ¿cuál es el origen de la ecuación de Schrödinger, de dónde se deriva? y 2) ¿es ψ un ente físico o meramente matemático?

Las fluctuaciones cuánticas

En 1925, Werner Heisenberg publica su trabajo con el que da inicio el formalismo matricial (algebraico) de la mecánica cuántica. Tiene dos implicaciones centrales: el producto de las dispersiones de las variables de posición y momento (x y p) siempre es mayor que cero, lo que indica la existencia de fluctuaciones; y la desigualdad que debe cumplir el producto de las dispersiones es, según el propio Heisenberg, un principio inviolable (Figura 2).

Preguntas: 1) ¿a qué se deben las fluctuaciones cuánticas; cuál es su origen? y 2) si son inevitables, ¿significa que la naturaleza es acausal e indeterminista? y que «Dios no



Figura 2.
La desigualdad de Heisenberg expresa la inevitabilidad de las fluctuaciones. ¿Acaso significa que la naturaleza es indeterminista por esencia?

juega a los dados», como le reclama Albert Einstein a Max Born (2004).

El cambio de variables c a variables q (operadores)

En el formalismo matricial de la mecánica cuántica, las variables dinámicas (como x y p) se transforman en operadores que no conmutan, es decir, $[x, p] = xp - px = i\hbar/2\pi$. De acuerdo con un postulado básico de Heisenberg, sólo tienen sentido las variables que se pueden observar y, como x y p no conmutan, no se pueden observar simultáneamente, por lo que deja de tener sentido hablar de trayectorias.

Preguntas: 1) ¿qué representan físicamente los operadores y de dónde surgen?; es decir, ¿cuál es el origen de la no conmutación de x y p ? 2) ¿Acaso las partículas dejan de seguir trayectorias, o esto se explica por nuestra imposibilidad de conocerlas?

El «colapso» de la función de onda

En el histórico V Congreso de Solvay de 1927, toma carta de naturalización la interpretación de Copenhague, con Bohr a la cabeza, según la cual la función de onda se «colapsa» con la medición u observación, por lo que viola la ecuación de Schrödinger. Es un efecto físico no local, instantáneo e irreversible.

Preguntas: 1) ¿cómo entra en la ecuación de Schrödinger (que es reversible) el observador o el instrumento de medición? y 2) ¿en qué momento se colapsa ψ , cuando el aparato mide o cuando se lee el resultado?

La no localidad

Una consecuencia directa de la ecuación de Schrödinger es que la función de onda en un punto dado, es decir, $\psi(x)$, depende de las condiciones del sistema en todo el espacio. En el ejemplo ilustrado en la figura 3, ψ es afectada *no localmente* por la presencia de la barrera. Esto se traduce en la aparición de un «potencial cuántico» sobre la partícula, que depende de la propia $\psi(x)$.

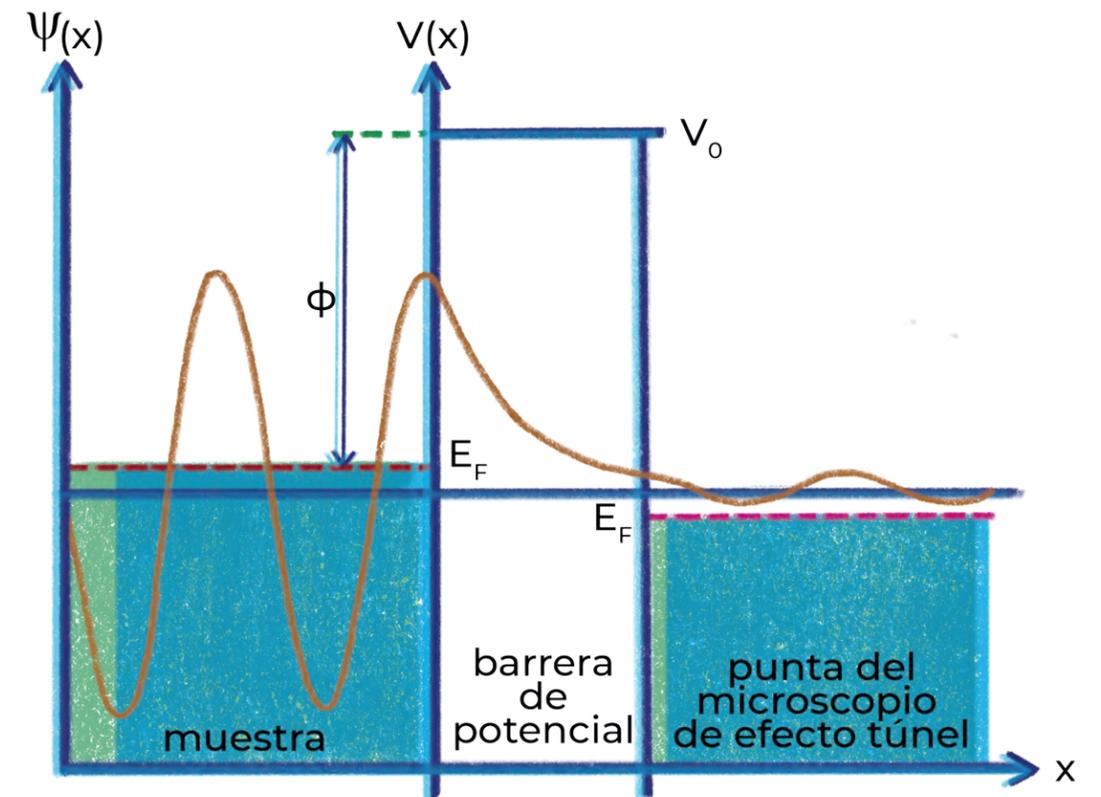
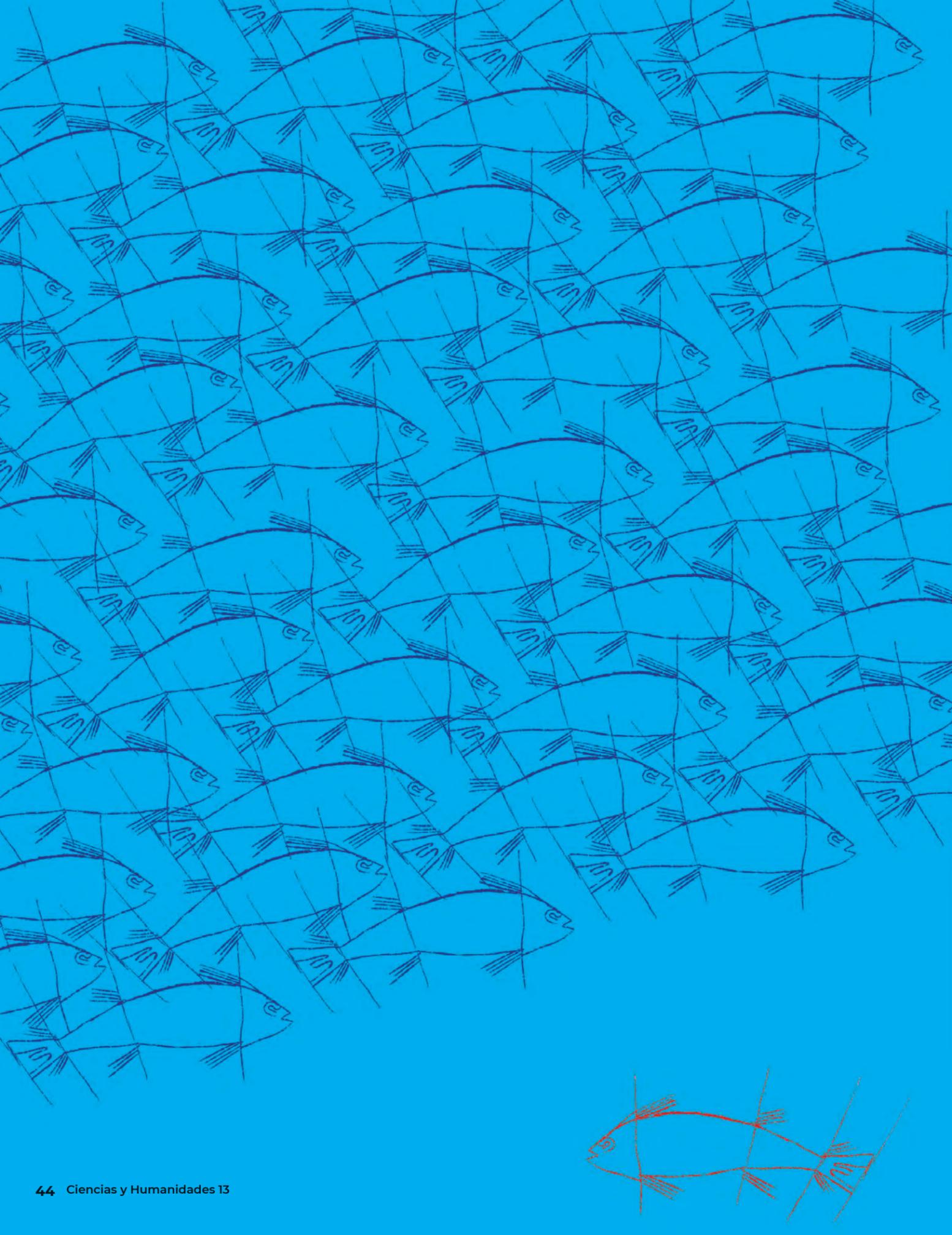


Figura 3.
El efecto no local de una barrera de potencial sobre la función de onda (ψ).

Preguntas: 1) ¿cómo se explica este efecto no local sobre las partículas? 2) ¿Se viola entonces el principio fundamental de localidad de la física (clásica)?

El principio de exclusión

Postulado por Wolfgang Pauli en 1925, este principio trascendental es la base de la tabla periódica de los elementos y del comportamiento estadístico de los componentes del átomo, pues establece que dos electrones que forman parte de un sistema no pueden ocupar *el mismo estado cuántico*. El principio se aplica también al protón, al neutrón y a otras partículas de espín semientero (fermiones).

Preguntas: 1) ¿cuál es el origen *físico* del principio de exclusión? y 2) ¿acaso los electrones interactúan de forma no local y se repelen inexorablemente cuando quieren ocupar el mismo estado?

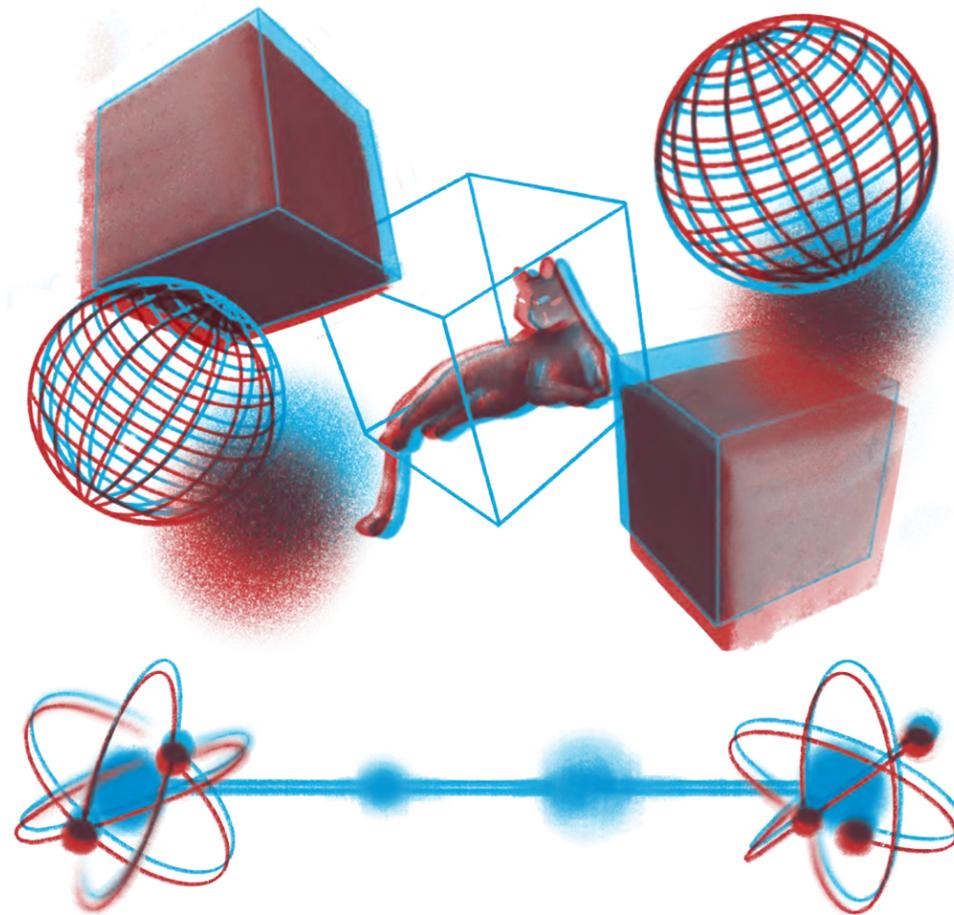
El entrelazamiento

Una propiedad importante de la ecuación de Schrödinger es su linealidad. Gracias a ella, ψ puede ser una combinación lineal de dos o más soluciones, por lo que da lugar a *interferencias*. Un sistema de dos o más partículas iguales puede encontrarse en un estado *entrelazado*, que presenta correlaciones no clásicas entre las variables (Figura 4).

Preguntas: 1) ¿Cuál es el mecanismo físico del entrelazamiento? 2) ¿Acaso la correlación cuántica implica una interacción no local instantánea entre partículas, o sea, una «acción fantasmal a distancia», conforme a las palabras críticas de Einstein (Einstein y Born, 2004); o, peor aún, la pérdida de la realidad objetiva, según afirman no pocos físicos?

Figura 4.

El entrelazamiento cuántico es la base de la computación y criptografía cuánticas. Conocido popularmente por la paradoja del gato de Schrödinger, el entrelazamiento se pierde en el ámbito macroscópico debido a la decoherencia.



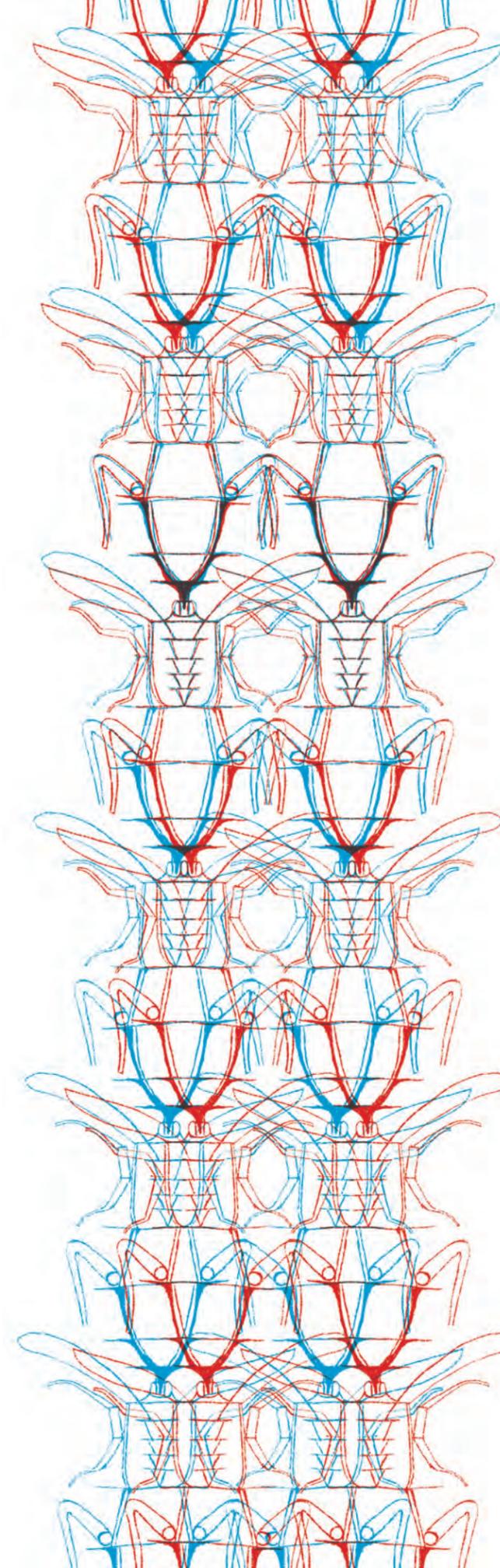
Cómo completar la mecánica cuántica

Ante el éxito arrollador de la teoría a partir de los trabajos de Heisenberg y Schrödinger, cabría pensar que pronto surgirían esfuerzos por identificar las *causas* de los fenómenos cuánticos, su *esencia misma*. Pero no fue así; los extensos y a veces acalorados debates interpretativos que tuvieron lugar en conferencias, artículos, reuniones personales, intercambios epistolares, o incluso en el mencionado Congreso de Solvay, más que aclarar los misterios contribuyeron a que se adoptaran ciertas interpretaciones como «explicaciones» (normalmente sin base física), o bien que se renunciara a la posibilidad de entender. Éste es el precio que ha pagado la teoría por el éxito de su formalismo.

Sin embargo, lo interesante es que no hay que ir muy lejos para identificar una posible causa física de los fenómenos cuánticos, como veremos a continuación. Para ello, recordemos los trabajos de Max Planck, quien en 1900 introdujo la noción de «cuanto» –junto con la constante h que lleva su nombre– para explicar el espectro de la radiación térmica (Figura 5). Diez años más tarde, el mismo Planck se dio cuenta de que a su fórmula de la energía de radiación le faltaba un término que no aparece en la curva de la figura 5, porque es energía *atérmica*, que existe incluso a una temperatura de cero absoluto.

Éste es el llamado campo de punto cero (CPC), que porta una energía $E_0 = (1/2)h\omega$ por cada modo de oscilación de frecuencia ω . Cuando podríamos creer que todo movimiento se congela, ¡resulta que el vacío está lleno de radiación electromagnética! En la teoría cuántica moderna se habla de fluctuaciones del vacío o fotones virtuales; aquí se le está dando un sentido físico real y concreto.

En 1916, Walther Nernst conjeturó que el CPC impide que los electrones pierdan toda su energía y los átomos se colapsen, y para el radio de la órbita del átomo de hidrógeno obtuvo justo el tamaño predicho por Bohr. Pasados 47 años, su observación la recogió Trevor Marshall, quien la aplicó al oscilador armónico (problema matemáticamente mucho más sencillo que el atómico) y demostró su validez.



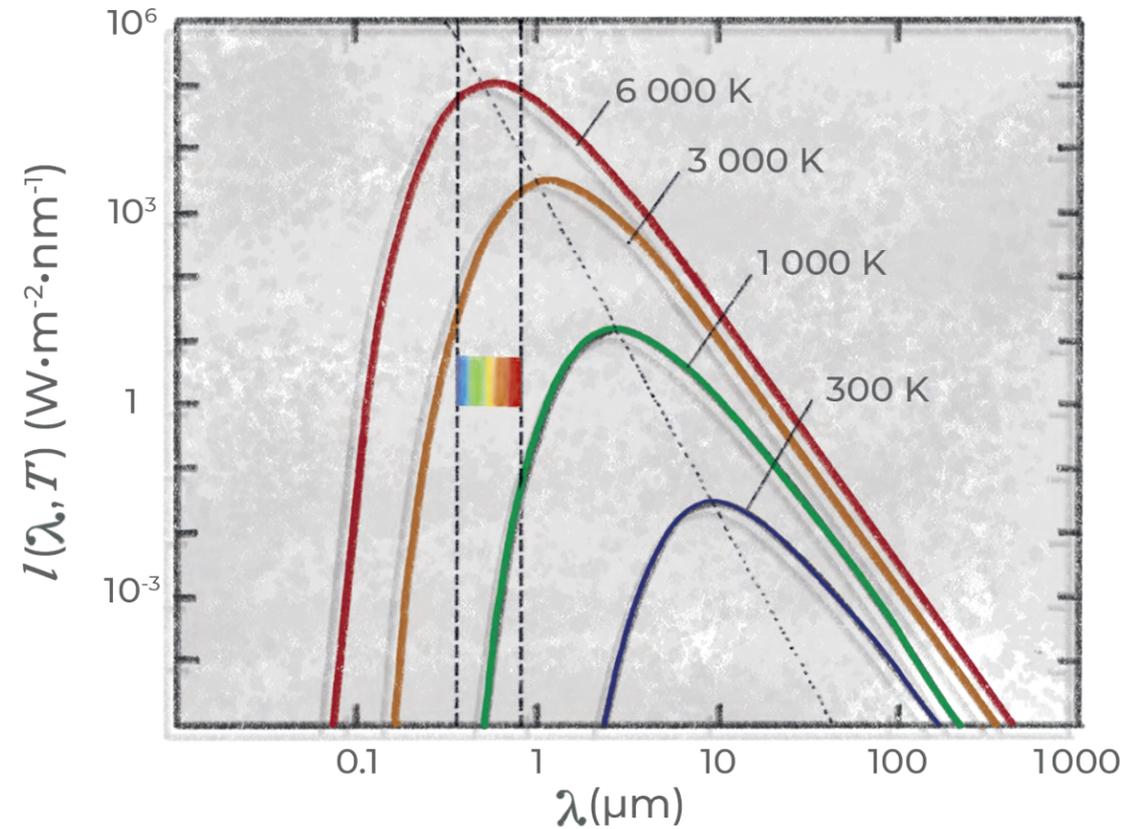


Figura 5. Curvas de intensidad de la radiación térmica en función de la frecuencia, a diferentes temperaturas. La radiación remanente a temperatura 0 K no aparece en la gráfica. Fuente: adaptado de Stack Exchange (2021).

Gracias al CPC –que al ser un campo fluctuante, produce estocasticidad–, el movimiento de los electrones no se congela, y el oscilador adquiere ciertas propiedades cuánticas (Figura 6).

Así nace la denominada electrodinámica estocástica, a cuyo desarrollo nos hemos dedicado en el Instituto de Física de la UNAM, a la par con colegas de otras latitudes. Pero antes de hablar de ella veamos brevemente qué tipo de estocasticidad encierra la mecánica cuántica.

En 1966, Edward Nelson formula una teoría estocástica en términos de una segunda ley de Newton que involucra dos velocidades, obtenidas por promediado de grano grueso (como cuando se trabaja con imágenes pixeladas) de trayectorias aleatorias: la velocidad de flujo v , y una velocidad difusiva u , debida a las variaciones en la densidad del medio. Al postular que la difusión es proporcional a la constante de Planck, Nelson obtiene la ecuación de Schrödinger, con lo que muestra que la mecánica cuántica es un proceso estocástico. Como v y u son cantidades promedia-

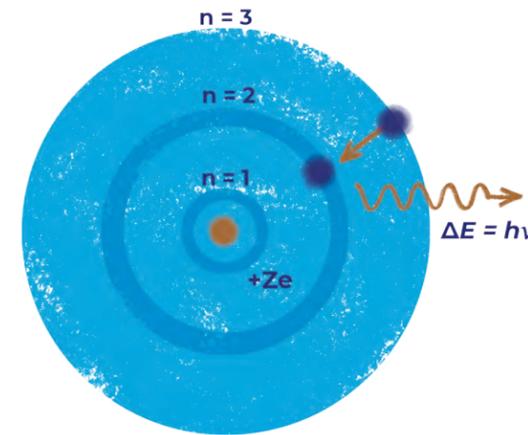
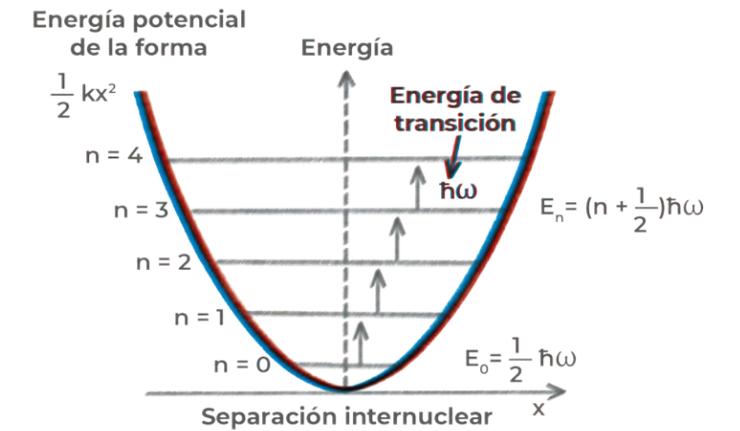


Figura 6. Los electrones se mantienen en sus órbitas gracias a la intervención del campo de punto cero. El estado mínimo de movimiento de un oscilador no es el reposo; posee una energía diferente de cero. Fuente: adaptado del modelo atómico de Niels Böhrr y del oscilador armónico cuántico.



das, la ecuación de Schrödinger tiene un carácter *estadístico*, lo que significa que debemos cuidarnos de asignarle un sentido individual a ψ (como se hace al afirmar que la medición «colapsa» la función de onda); cuando hablamos de «un electrón», nos referimos a un elemento del conjunto estadístico (ensamble) de electrones preparados en el mismo estado cuántico.

En 1968 demostramos que la mecánica cuántica es un proceso estocástico *diferente* del movimiento browniano (De la Peña *et al.*, 2015): en tanto que el segundo es difusivo e irreversible, la primera describe un proceso *reversible* en el tiempo. En ambos casos la estocasticidad no es intrínseca; es la forma que tenemos de describir en física (como en otras áreas) un proceso en el que intervienen demasiadas variables cuyas propiedades se conocen sólo estadísticamente.

Pero la teoría estocástica de la mecánica cuántica está incompleta, porque no identifica el origen de la estocasticidad... Aquí es donde entra el CPC: además de ser fuente

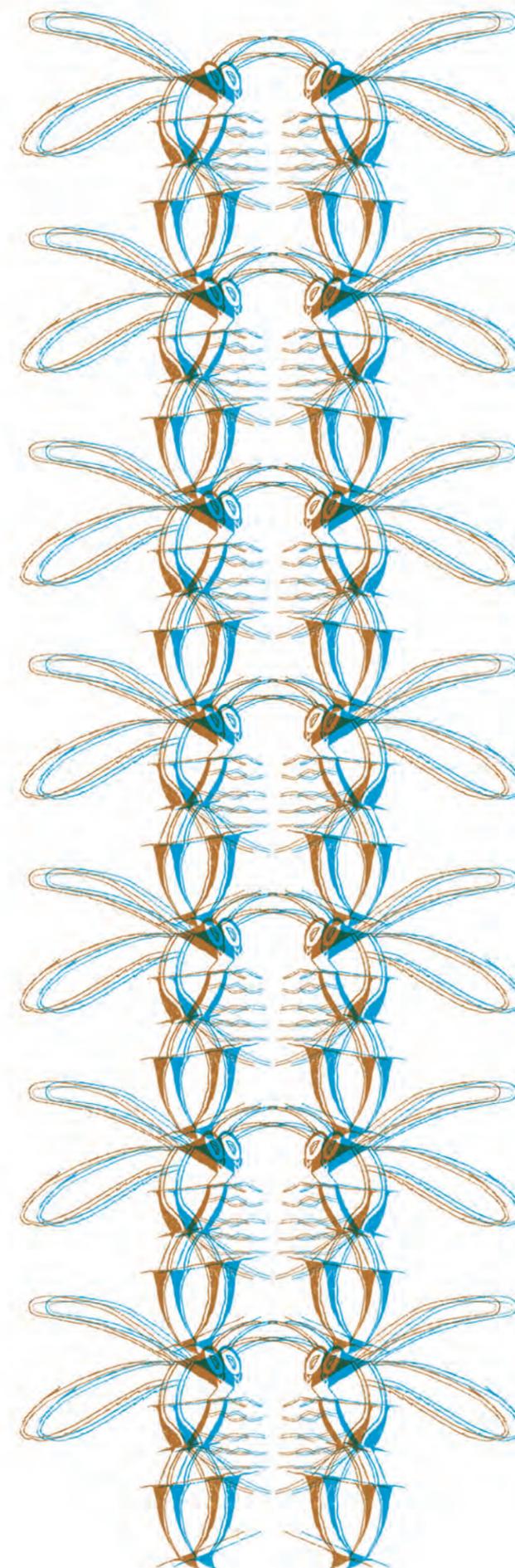


de aleatoriedad, introduce un elemento ondulatorio, puesto que el campo está compuesto de ondas en permanente interacción con las partículas. Por añadidura, contiene la constante de Planck, que en la teoría estocástica se tuvo que introducir «a mano». En vez de buscar por separado soluciones para cada uno de los misterios, todo parece apuntar al CPC como la fuente primaria de la cuantización de la materia. Aun así, desarrollar la electrodinámica estocástica sobre esta base no ha sido para nada sencillo, sino que ha tomado mucho tiempo y esfuerzo, pero los resultados son hartamente estimulantes, además de que hemos aprendido mucho en el camino.

La mecánica cuántica desmistificada

Por limitaciones de espacio, se presentan a continuación en una lista los resultados y las conclusiones más sobresalientes de la teoría. Las personas interesadas en el tema pueden consultar las referencias bibliográficas.

- Los estados estacionarios del átomo son resultado del balance energético entre partícula y campo.
- En un estado estacionario, el electrón responde de manera resonante a ciertos modos del campo.

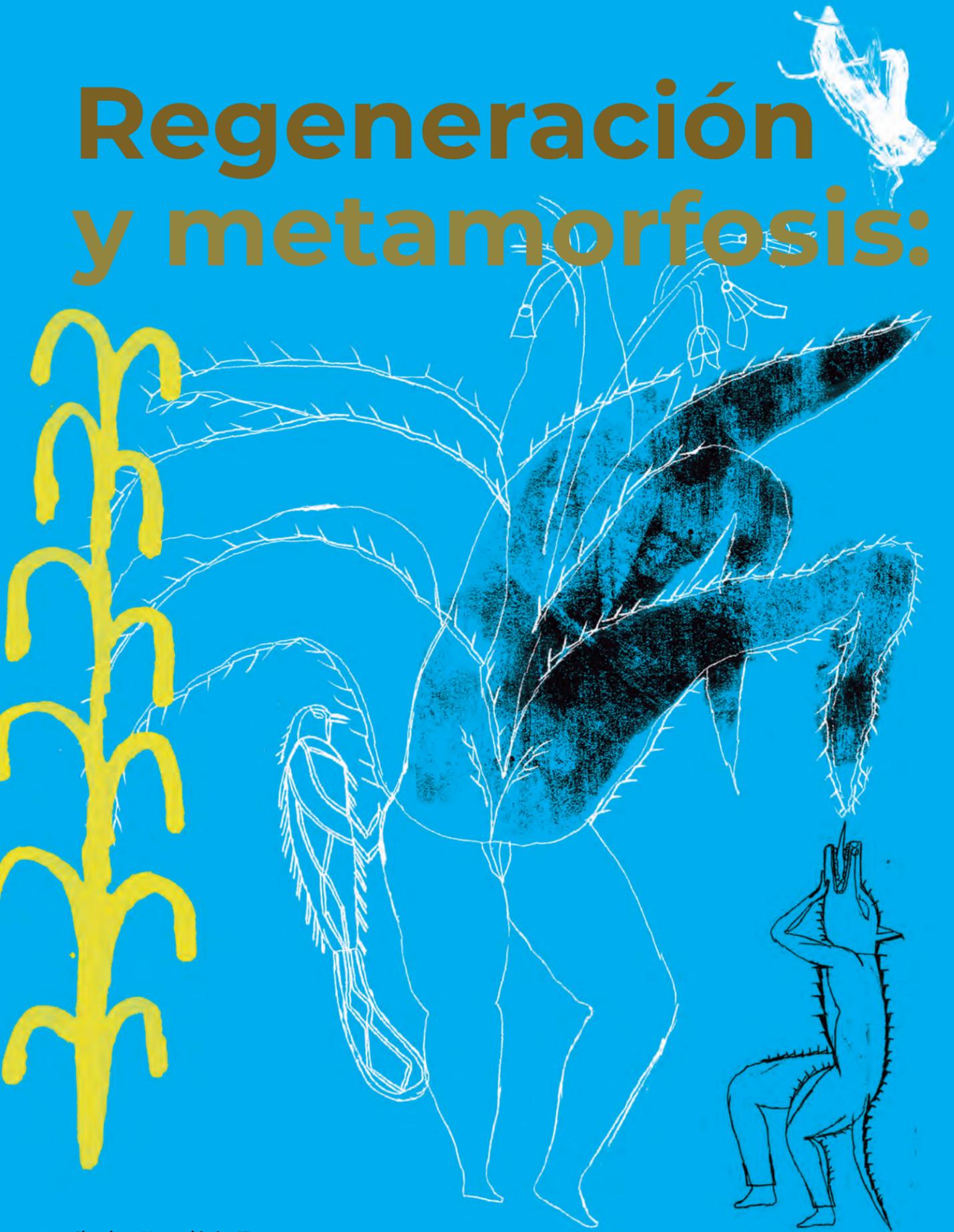


- En el proceso (irreversible) de evolución del sistema hacia el régimen estacionario, las variables x y p pasan a ser funciones de respuesta de la partícula, lo que da lugar a los operadores cuánticos.
- Se *deriva* el conmutador básico $[x,p]$, con lo que la mecánica matricial de Heisenberg adquiere *sentido físico*.
- Al involucrar promedios de grano grueso, la mecánica cuántica no alcanza a describir el movimiento fino de las partículas, por lo que su tratamiento es estadístico.
- El azar no es inherente a la naturaleza, sino producto de la descripción.
- El CPC introduce el elemento *ondulatorio* en la dinámica de las *partículas*.
- La cuantización de la materia y del campo emerge como resultado de la interacción entre ambos.
- La interacción de dos partículas con el mismo CPC da lugar a estados entrelazados.
- El campo de fondo sirve de *mediador* entre partículas iguales que se conectan a él, lo cual explica el principio de exclusión entre fermiones.
- Al excluir al CPC, la descripción que hace la mecánica cuántica resulta *no local* y *acausal*.
- La teoría subyacente, sin embargo, es *local*, *causal*, *realista* y *objetiva*.
- La mecánica cuántica no es una teoría acabada; hay espacio para una nueva física...

Referencias

- De la Peña, L., Cetto, A. M. y Valdés-Hernández, A. (2015). *The Emerging Quantum. The physics behind quantum mechanics*. Springer Verlag.
- Einstein, A. y Born, M. (2004). *Born-Einstein Letters 1916-1955*. Palgrave-Macmillan.
- Stack Exchange. (2021). Why does the sky after sunset mimic the blackbody spectrum? *Stack Exchange*. <https://physics.stackexchange.com/questions/618713/why-does-the-sky-after-sunset-mimic-the-blackbody-spectrum>

Regeneración y metamorfosis:



el ajolote como caso de estudio

Annie Espinal-Centeno

Alfredo Cruz-Ramírez

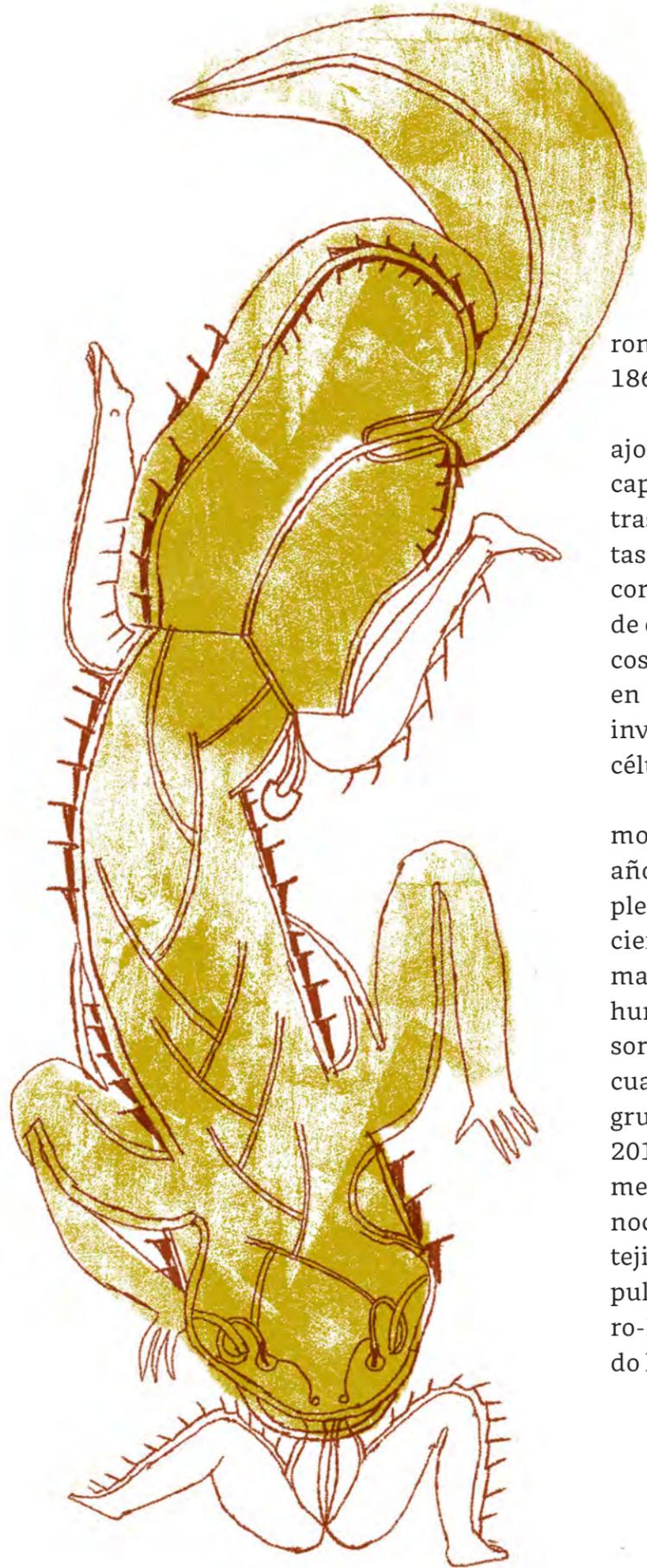
Investigadores del Laboratorio de Complejidad Molecular y del Desarrollo, Unidad de Genómica Avanzada-Laboratorio Nacional de Genómica para la Biodiversidad del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados, sede Irapuato.



El ajolote o axolote (*Ambystoma mexicanum*) es una especie de anfibio endémico de México. El género *Ambystoma* incluye 32 especies que se distribuyen desde el suroeste de Alaska hasta el centro de nuestro país. En diferentes cuerpos de agua dulce desde Chihuahua hasta Puebla, viven 18 especies, de las cuales 16 son endémicas y dos se encuentran también en Estados Unidos y Canadá.

La importancia del ajolote para las culturas originarias, especialmente en las de la zona central y en las del valle de México, se relaciona históricamente con su uso como alimento, medicamento y objeto ceremonial. Pero con el paso de los años, el *axolotl* (vocablo náhuatl que significa «monstruo de agua») se convirtió en uno de los vertebrados acuáticos más estudiados del planeta. Todo inició en 1803, cuando el naturalista y explorador alemán Alexander von Humboldt, en una expedición a México, colectó y envió hasta París dos organismos preservados en alcohol, para que el profesor Georges Cuvier comenzara su estudio y clasificación. En Francia los consideraron interesantes, por lo que en 1864 se llevaron 34 ajolotes vivos del lago de Xochimilco al Museo Nacional de Historia Natural, y en 1865 el profesor herpetólogo Auguste Duméril publicó un artículo en el que describió un hallazgo fascinante y original: al cortarles las branquias a los ajolotes éstas volvie-





ron a crecer: se regeneraron (Duméril, 1865 y 1866; Reiß, 2022).

Más de 150 años después, sabemos que el ajolote es uno de los vertebrados con mayor capacidad regenerativa y que puede reponer, tras un evento de amputación o daño, sus patas, cola, médula espinal y hasta regiones del corazón o del cerebro. Además, es un modelo de estudio para desentrañar procesos biológicos como la embriogénesis y la metamorfosis; en años recientes también ha sido útil para investigar el envejecimiento, el cáncer y las células madre (Torres-Dimas *et al.*, 2022).

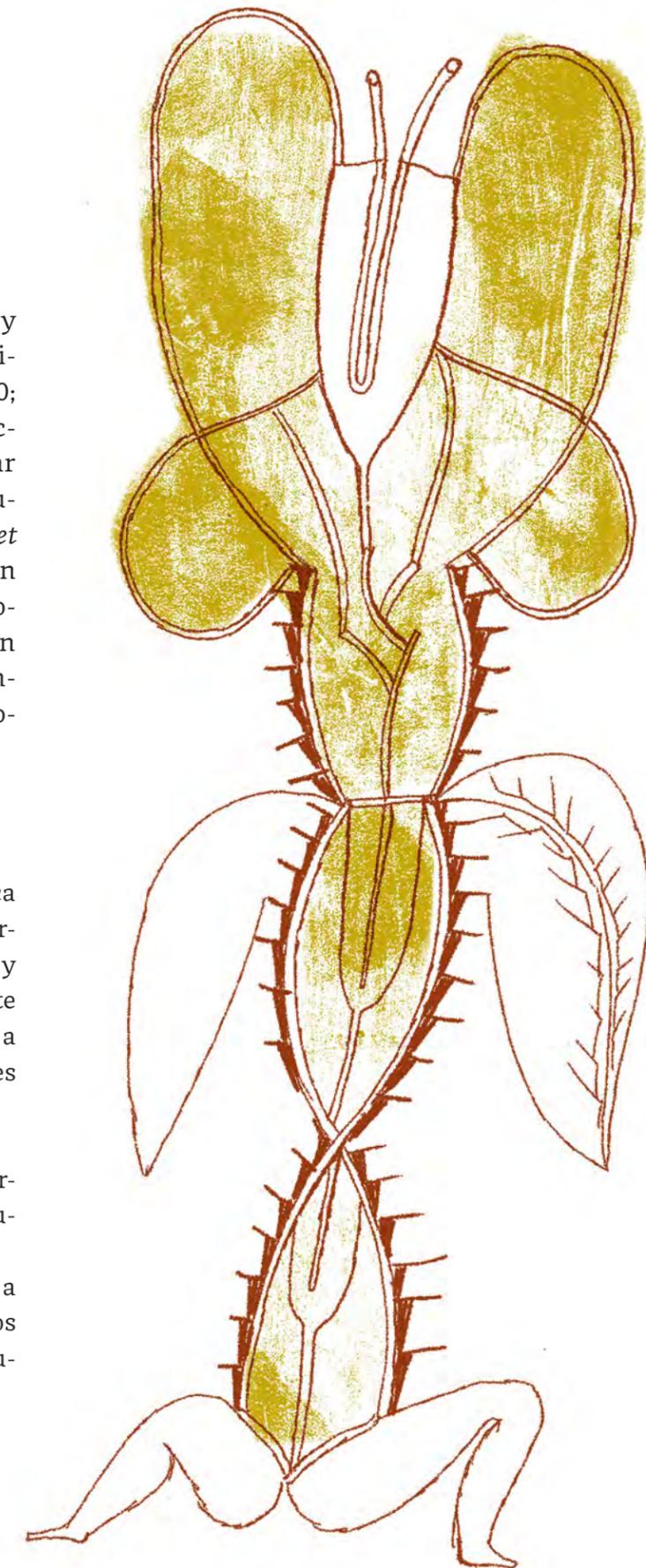
A pesar de su importancia actual como modelo de estudio, hasta apenas hace seis años fue posible secuenciar el genoma completo del ajolote. Esto implicó un gran reto científico y técnico, pues se trata de un genoma gigante: 10 veces más grande que el del humano. Para lograrlo se requirió de un consorcio internacional multidisciplinario, en el cual México estuvo representado por nuestro grupo de investigación (Nowoshilow *et al.*, 2018). En la última década, se han hecho numerosos estudios de expresión genética, conocidos como transcriptomas, de diferentes tejidos y órganos del ajolote: hígado, corazón, pulmón, vaso, cerebro, entre otros (Caballero-Pérez *et al.*, 2018). También se han obtenido los perfiles transcripcionales en diferentes

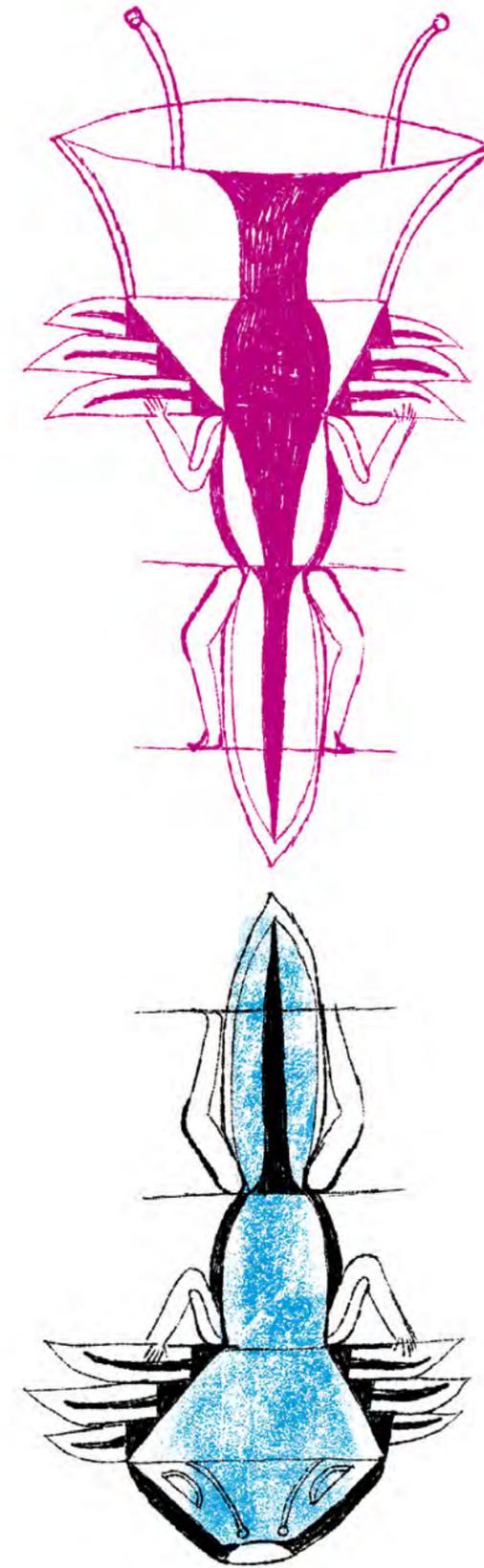
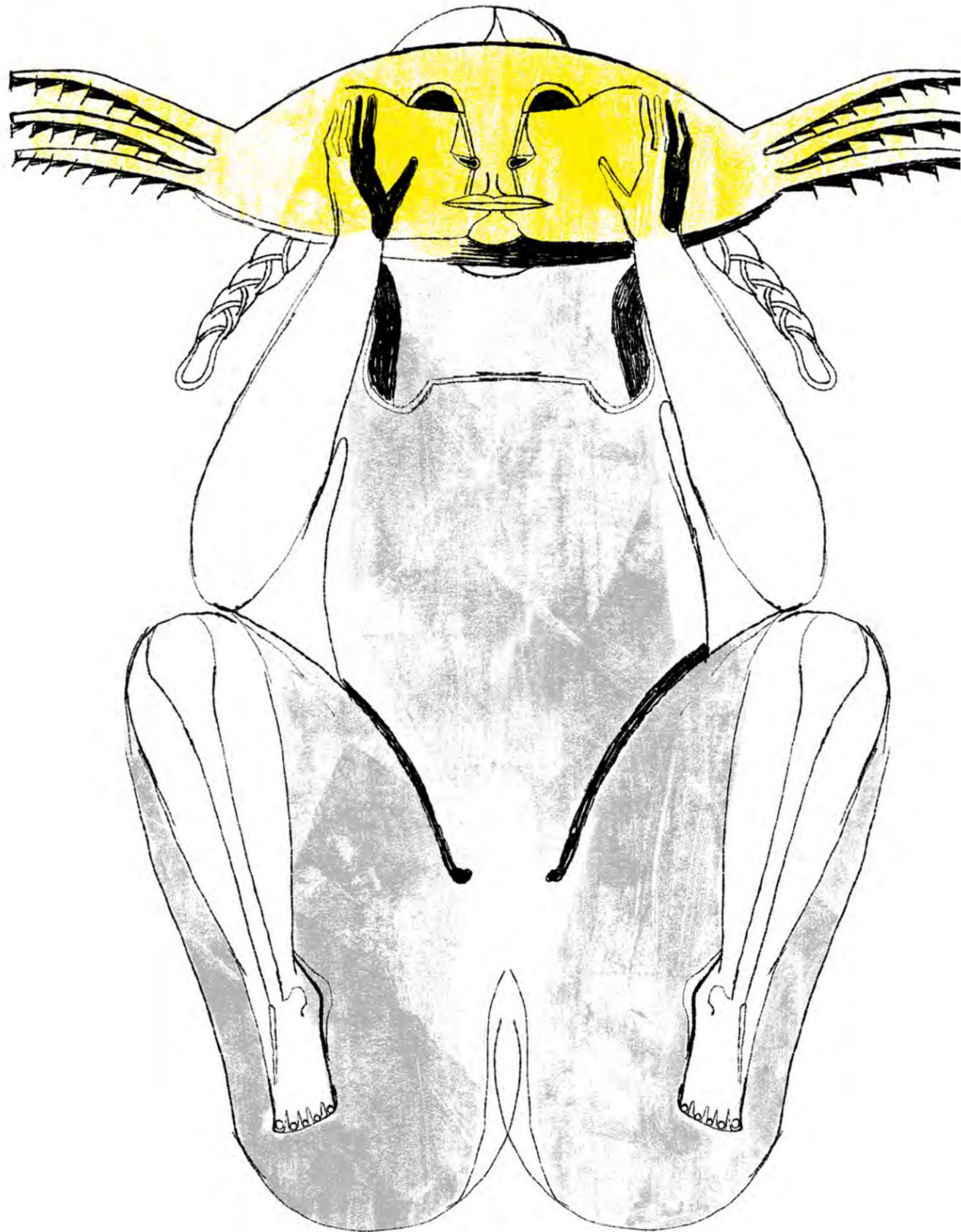
etapas de la embriogénesis, la regeneración y la metamorfosis, incluso a nivel de célula única, o *single cell* (Palacios-Martínez *et al.*, 2020; Ye *et al.*, 2022). De igual forma, las nuevas tecnologías han hecho posible perfilar y estudiar los programas proteómicos y metabólicos durante la regeneración (Varela-Rodríguez *et al.*, 2020). Toda esta información es de gran utilidad para comprender las dinámicas moleculares en la expresión de genes, producción de proteínas y biosíntesis de metabolitos, tanto en la regeneración como en la metamorfosis de esta especie.

Metamorfosis: cambio de estilo de vida

La metamorfosis es un proceso que implica múltiples cambios morfofisiológicos en los organismos para dejar atrás la etapa larvaria y alcanzar la madurez. Esta capacidad, presente en la mayoría de los anfibios e insectos, ayuda a distinguir tres grupos en las distintas especies de ajolotes y los también llamados achoques:

- 1 Los metamórficos obligados, cuya metamorfosis se presenta cuando alcanzan la madurez sexual.
- 2 Los metamórficos facultativos, que llevan a cabo el proceso en respuesta a los cambios de factores ambientales como la temperatu-





ra, la escasez de alimento o el incremento de depredadores, a manera de estrategia para buscar mejores condiciones, lo cual consiste en dejar atrás el cuerpo de agua donde habitan y explorar la vida terrestre en forma de salamandra.

- 3 Los pedomórficos, que por ser incapaces de hacer la metamorfosis son los más susceptibles, ya que todo su ciclo de vida ocurre en el agua y deben adaptarse a esas condiciones o morir. Además de *A. mexicanum*, otras tres especies endémicas de México son neoténicas o pedomórficas: *A. dumerilii* (achoque o ajolote de Pátzcuaro), *A. Taylori* (ajolote de Alchichica) y *A. andersoni* (ajolote jaguar).

Si bien *A. mexicanum* es una especie pedomórfica, se puede inducir su metamorfosis de manera artificial al agregar la hormona tiroidea (HT) en su medio. En distintos anfibios, la HT activa múltiples genes que participan en los programas moleculares relacionados con la desaparición de las características larvarias y el desarrollo de los rasgos adultos. Esto ocurre mediante la inducción de varios procesos de reprogramación celular, como diferenciación y apoptosis, que derivan en la remodelación de tejidos y la maduración de órganos. El paso de una vida en el hábitat acuático al terrestre requiere cambios drásticos, principalmente en los sistemas respi-



ratorio, nervioso, digestivo, excretorio y reproductivo.

En su fase acuática, el ajolote respira principalmente por la piel y las branquias, y en menor medida por los pulmones. En el proceso de metamorfosis, las branquias se absorben y la piel se engruesa, debido a la formación de epitelio escamoso queratinizado. Tras ello, el ajolote terrestre respira principalmente por los pulmones, los cuales durante la metamorfosis han crecido y generado más células alveolares, que son necesarias para el intercambio gaseoso de oxígeno (O₂) y dióxido de carbono (CO₂).

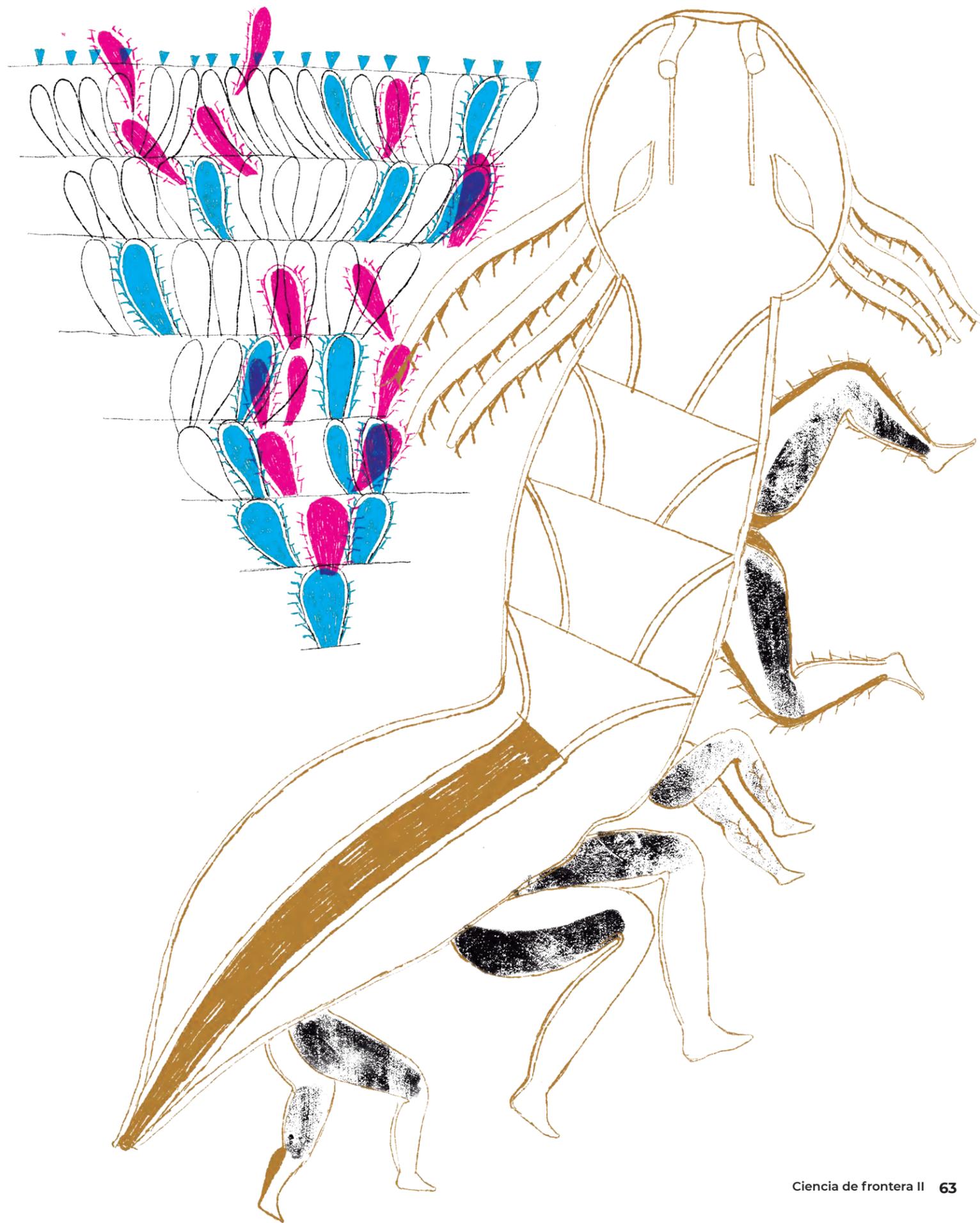
En organismos metamórficos juveniles, los niveles de HT se mantienen bajos, por regulación negativa en el hipotálamo y la hipófisis. En la etapa adulta se desreprime tal regulación y los niveles de HT aumentan, lo cual induce los cambios descritos. Las especies pedomórficas evolucionaron mediante la modificación de los mecanismos centrales y periféricos en la regulación de la HT, al mantener niveles bajos o alterar la sensibilidad a ella, incluso al llegar a la madurez sexual (Voss *et al.*, 2012). La metamorfosis implica eventos celulares importantes, como la remodelación de tejidos y órganos (Olejnickova *et al.*, 2021), entre otros fenómenos interesantes cuyo estudio nos permite entender cómo cambian los tejidos o maduran los órganos en el tránsito de un estilo de vida acuático a uno te-

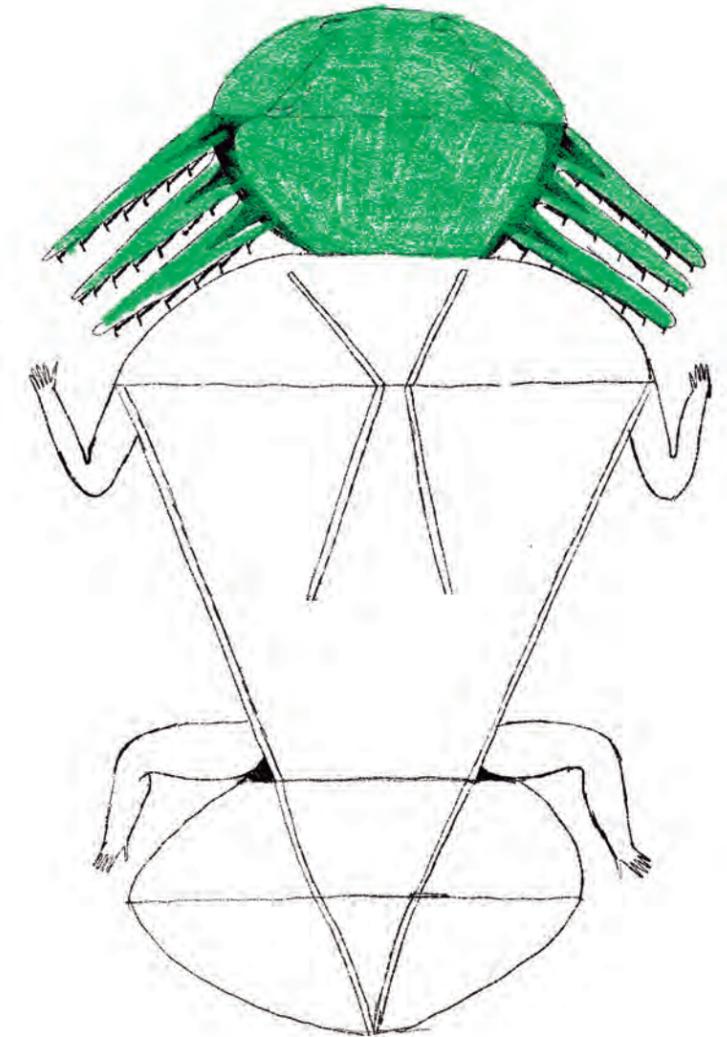
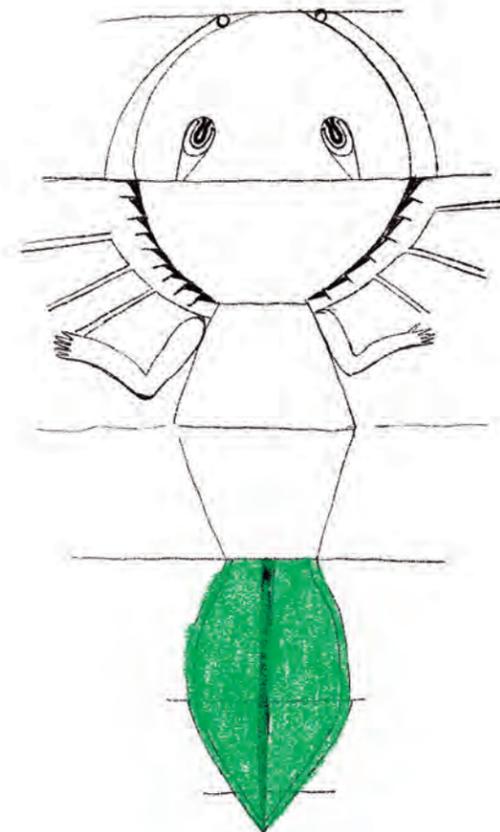
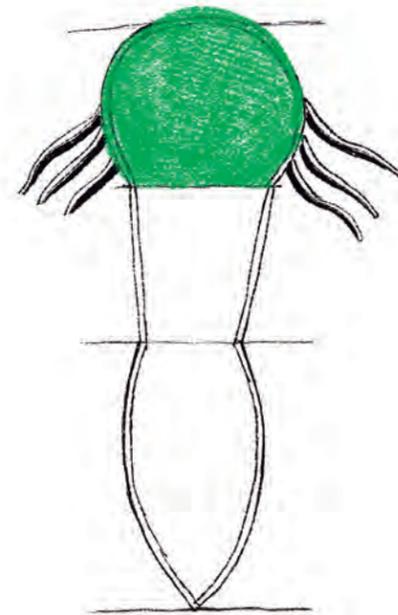
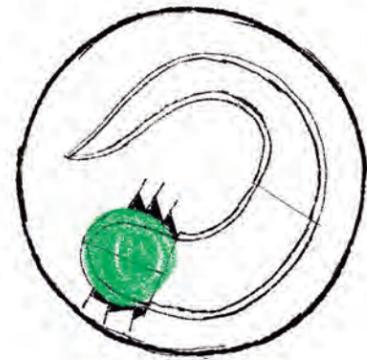
rrestre, parecido a la transición que hace el humano al nacer.

Regeneración: integridad ante la adversidad

Mediante el proceso de regeneración se pueden recuperar las células y los tejidos que han sufrido algún daño, o bien pueden reconstruirse por completo estructuras y órganos amputados. En la filogenia animal, la regeneración se presenta en la mayoría de los clados, pero es variable. En algunos organismos, está restringida a reponer sólo ciertos tejidos; tal es el caso de los mamíferos, que podemos regenerar la piel, las uñas, el cabello y partes del hígado. Por otro lado, los anfibios urodelos (salamandras y tritones) tienen una capacidad superlativa entre los vertebrados, ya que pueden regenerar extremidades completas y algunos órganos, como la médula espinal, regiones del cerebro y el corazón. Entre los invertebrados hay ciertos organismos, como las hidras, las planarias o las estrellas de mar, que tienen una capacidad aún mayor: pueden regenerar el cuerpo completo a partir de un pequeño fragmento.

Los ajolotes reconstituyen sus extremidades y la médula espinal mediante una forma de regeneración denominada epimorfosis. Este proceso se caracteriza por la generación de una estructura en forma de domo, compuesta por una





población de células indiferenciadas con alta capacidad proliferativa, llamada blastema. El axolote regenera una extremidad mediante varios pasos subsecuentes, que en su etapa juvenil de 8 cm toman aproximadamente 30 días. Podemos resumir las etapas en:

- 1 Sanado de la herida.
- 2 Desdiferenciación.
- 3 Rediferenciación celular.

Si alguna parte del proceso no ocurre de forma armoniosa, no se producirá una regeneración de la extremidad que sea exitosa y funcional.

Lo primero es el sanado de la herida, mediante la migración de las células epiteliales aledañas a la zona dañada para cubrirla, y así proteger al organismo de una infección por bacterias u hongos. En esta etapa participan los macrófagos, que envían señales antiinflamatorias para evitar la cicatrización, dado que los

organismos que forman cicatriz no pueden regenerar.

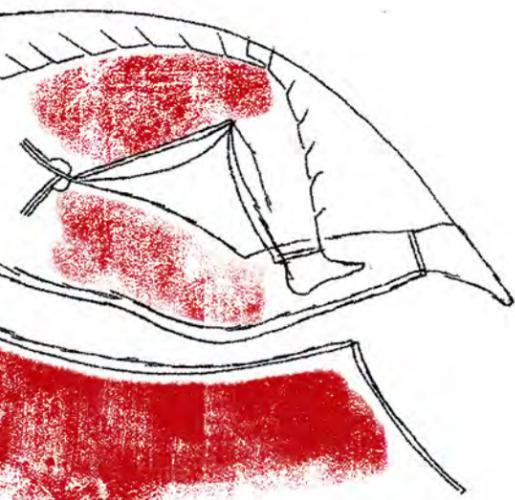
Posteriormente ocurre la innervación hasta el epitelio de la herida y la formación de la capa epitelial apical, que funciona como un centro organizador que envía múltiples señales moleculares para que las células diferenciadas de distintos linajes –entre ellos las de músculo y de tejido conectivo, mayoritariamente fibroblastos– se reprogramen a un estado indiferen-

ciado, activen el ciclo celular y proliferen (Espinal-Centeno *et al.*, 2020). Además de las células desdiferenciadas, que mantienen cierta memoria de linaje, las células troncales quiescentes que residen en el muñón entran a un estado proliferativo y contribuyen a la formación del blastema.

También en esta etapa se inducen metaloproteinasas que degradan la matriz extracelular para que las células migren y formen un pa-

trón de la extremidad faltante. Una vez formado el patrón, las células altamente proliferativas se rediferenciarán para formar parte de los tejidos de los que provienen, mientras que las células en el blastema, que vienen de fibroblastos, pueden transdiferenciarse en distintos linajes celulares y proveer a los diversos tejidos en la nueva extremidad.

Así, el uso del ajolote como modelo de estudio en vertebrados para desvelar a nivel celular y molecular fenómenos como la regeneración y la metamorfosis está generando conocimiento nuevo con potencial de aplicación en biomedicina y medicina regenerativa, lo cual nos llama a invertir tiempo y recursos en la conservación de este anfibio –que además está en peligro de extinción–, y seguir apoyando su uso como modelo experimental extraordinario. Por estas razones, el ajolote es una parte muy importante de la riqueza biocultural y científica de México.



Referencias

- Caballero-Pérez, J., Espinal-Centeno, A., Falcon, F., García-Ortega, L. F., Curiel-Quesada, E., Cruz-Hernández, A., Bako, L., Chen, X., Martínez, O., Arteaga-Vázquez, M. A., Herrera-Estrella, L. y Cruz-Ramírez, A.** (2018). Transcriptional landscapes of Axolotl (*Ambystoma mexicanum*). *Developmental Biology*, 433(2), 227-239. <https://doi.org/10.1016/j.ydbio.2017.08.022>
- Duméril, A.** (1865). Reproduction, dans la ménagerie des reptiles au Muséum d'Histoire Naturelle, des axolotls, batraciens, urodèles à branchies persistantes de Mexico (*Siredon mexicanus*, vel Humboldtii), qui n'avaient encore jamais été vus vivants en Europe. *Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences*, 60, 765-767.
- _____. (1866). Observations faites a la menagerie des reptiles du Muséum d'Histoire Naturelle sur reproduction des axolotls, batraciens urodèles a branchies exterieures et sur les metamorphoses qu'ils y ont subies. *Bulletin de la Société Impériale Zoologique d'Acclimatation*, 2, 79-89.
- Espinal-Centeno, A., Dipp-Álvarez, M., Saldaña, C., Bako, L. y Cruz-Ramírez, A.** (2020). Conservation analysis of core cell cycle regulators and their transcriptional behavior during limb regeneration in *Ambystoma mexicanum*. *Mechanisms of Development*, 164, 103651. <https://doi.org/10.1016/j.mod.2020.103651>
- Nowoshilow, S., Schloissnig, S., Fei, J. F., Dahl, A., Pang, A. W. C., Pippel, M., Winkler, S., Hastie, A. R., Young, G., Roscito, J. G., Falcon, F., Knapp, D., Powell, S., Cruz, A., Cao, H., Habermann, B., Hiller, M., Tanaka, E. M. y Myers, E. W.** (2018). Author Correction: The axolotl genome and the evolution of key tissue formation regulators. *Nature*, 559(7712), E2. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0141-z>

- Olejnickova, V., Kolesova, H., Bartos, M., Sedmera, D. y Gregorovicova, M.** (2021). The Tale-Tell Heart: Evolutionary tetrapod shift from aquatic to terrestrial life-style reflected in heart changes in axolotl (*Ambystoma mexicanum*). *Developmental Dynamics: An Official Publication of the American Association of Anatomists*, 251(6), 1004-1014. <https://doi.org/10.1002/dvdy.413>
- Palacios-Martínez, J., Caballero-Pérez, J., Espinal-Centeno, A., Márquez-Chavoya, G., Lomelí, H., Salas-Vidal, E., Schnabel, D., Chimal-Monroy, J. y Cruz-Ramírez, A.** (2020). Multi-organ transcriptomic landscape of *Ambystoma velasci* metamorphosis. *Developmental Biology*, 466(1-2), 22-35. <https://doi.org/10.1016/j.ydbio.2020.08.002>
- Reiß, C.** (2022). Cut and Paste: The Mexican Axolotl, Experimental Practices and the Long History of Regeneration Research in Amphibians, 1864–Present. *Frontiers in Cell and Developmental Biology*, 10, 786533. <https://doi.org/10.3389/fcell.2022.786533>
- Torres-Dímas, E., Cruz-Ramírez, A. y Bermúdez-Cruz, R. M.** (2022). Cancer in Amphibia, a rare phenomenon? *Cell Biology International*, 46(12), 1992-1998. <https://doi.org/10.1002/cbin.11888>
- Varela-Rodríguez, H., Abella-Quintana, D. G., Espinal-Centeno, A., Varela-Rodríguez, L., Gómez-Zepeda, D., Caballero-Pérez, J., García-Medel, P. L., Briebe, L. G., Ordaz-Ortiz, J. J. y Cruz-Ramírez, A.** (2020). Functional Characterization of the Lin28/let-7 Circuit During Forelimb Regeneration in *Ambystoma mexicanum* and Its Influence on Metabolic Reprogramming. *Frontiers in Cell and Developmental Biology*, 8, 562940. <https://doi.org/10.3389/fcell.2020.562940>
- Voss, S. R., Kump, D. K., Walker, J. A., Shaffer, H. B. y Voss, G. J.** (2012). Thyroid hormone responsive QTL and the evolution of paedomorphic salamanders. *Heredity*, 109(5), 293-298. <https://doi.org/10.1038/hdy.2012.41>

- Ye, F., Zhang, G., Weigao, E., Chen, H., Yu, C., Yang, L., Fu, Y., Li, J., Fu, S., Sun, Z., Fei, L., Guo, Q., Wang, J., Xiao, Y., Wang, X., Zhang, P., Ma, L., Ge, D., Xu, S., Caballero-Pérez, J., ... Guo, G.** (2022). Construction of the axolotl cell landscape using combinatorial hybridization sequencing at single-cell resolution. *Nature Communications*, 13(1), 4228. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-31879-z>



El neuroconectoma en la era de la psiquiatría molecular

Antony Boucard

Profesor investigador de neurociencia en el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados, Instituto Politécnico Nacional.



El interés por el estudio del cerebro se remonta a tiempos inmemoriales en los que el ser humano desarrolló su curiosidad por la anatomía, y con ello sentó las bases de la medicina. Un antiguo papiro egipcio que data de 1700-3000 a. n. e., erróneamente llamado papiro quirúrgico de Edwin Smith en honor a su último propietario, es conocido como la primera descripción documentada del cerebro, en la que un médico antiguo denotó lo que en la terminología moderna se conoce como los numerosos surcos y circunvoluciones. Si bien nuestra comprensión de la función del cerebro y sus componentes ha evolucionado desde la época del antiguo Egipto, hasta la fecha continúa como una cuestión de intensa investigación.

Sinaptogénesis o formación de las sinapsis neuronales

Las funciones principales del cerebro dependen de la red formada entre las numerosas células que componen sus circuitos: las neuronas y las células gliales. Éstas se comunican principalmente mediante estructuras llamadas sinapsis, las cuales se consideran las unidades funcionales mínimas del sistema nervioso. La precisión con la que se forman las sinapsis –proceso denominado sinaptogénesis– determina la base de las funciones del sistema. Las reglas de conectividad entre grupos de neuronas y entre neuronas y células gliales dependen de diferentes conjuntos

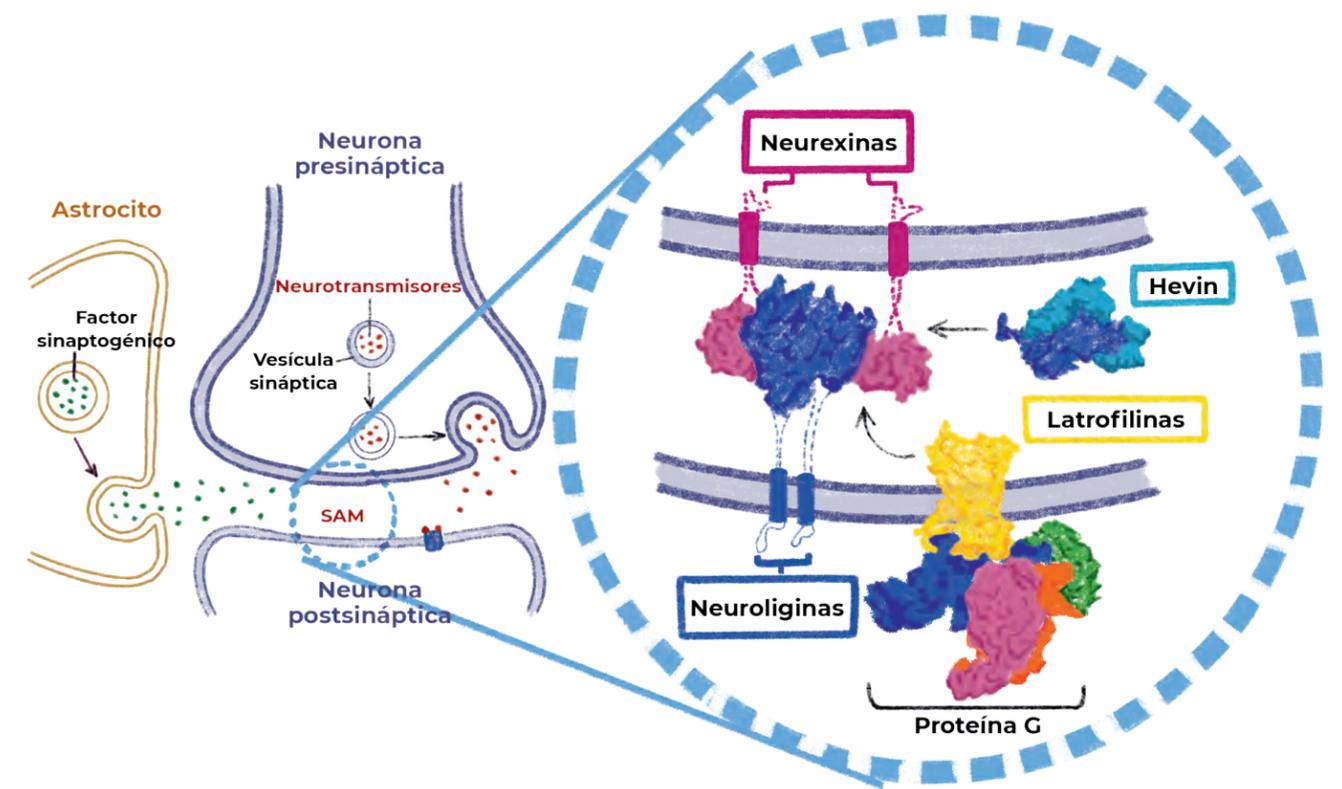
de moléculas con distintas funciones que intervienen en cuatro pasos consecutivos fundamentales (Gerrow y El-Husseini, 2006):

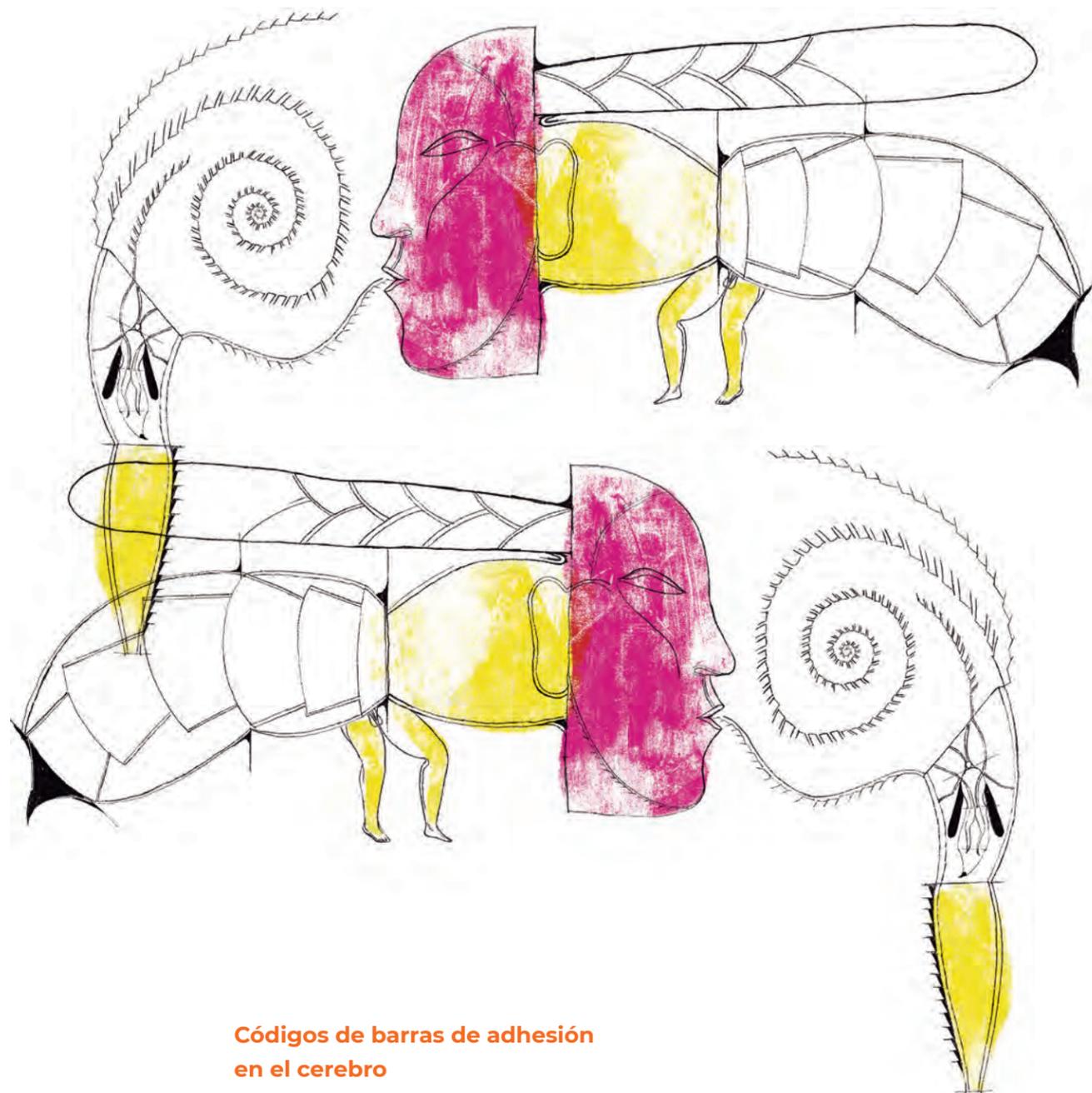
- 1 Migración y elongación: un gradiente establecido de moléculas «guía» permite que las neuronas y las células gliales exploren su entorno. Las neuronas forman estructuras alargadas que actúan como brazos y manos en crecimiento, las cuales mejoran sus capacidades de exploración y son la base de la polaridad celular (que es esencial para la migración y la elongación), así como de la especialización necesaria para la formación de las sinapsis.
- 2 Selección del objetivo: se trata de un proceso que establece el patrón de conectividad necesario para la distribución espacial de las áreas del cerebro y su interrelación.
- 3 Contactos intercelulares: éstos desempeñan la función de «ganchos» moleculares pertenecientes a una gran familia de proteínas de membrana con propiedades adhesivas, denominadas moléculas de adhesión sináptica, las cuales se expresan en las células que están en contacto, y cambian su localización, orientación, organización y microestructura para afinar las conexiones sinápticas que a menudo implican la formación de interacciones proteína-proteína a través de cada membrana celular que está en contacto, con lo

que se unen ambos conjuntos de membranas. Las numerosas moléculas de adhesión definen estructuralmente las sinapsis y aseguran su estabilidad por medio de interacciones proteína-proteína heterofílicas; con ello, determinan el distanciamiento intercelular característico de la hendidura sináptica (vista microscópicamente como un espacio entre las células en contacto) y mantienen la asimetría entre los dos principales componentes celulares de la sinapsis: los compartimentos presináptico y postsináptico (Figura 1, izquierda).

- 4 Maduración: al avanzar este paso, las sinapsis químicas se constituyen de tal manera que el compartimento presináptico acumula vesículas con neurotransmisores específicos que luego se pueden liberar dentro de la hendidura sináptica para establecer una comunicación química con el compartimento postsináptico, encargado de recibir y decodificar dichas señales químicas mediante el uso de receptores de membrana específicos para cada señal.

Figura 1. Comportamientos presináptico y postsináptico (izquierda); acercamiento a la formación y el mantenimiento de las sinapsis (derecha). Fuente: adaptado de imágenes generadas con BioRender. Nota: SAM, moléculas de adhesión sináptica.





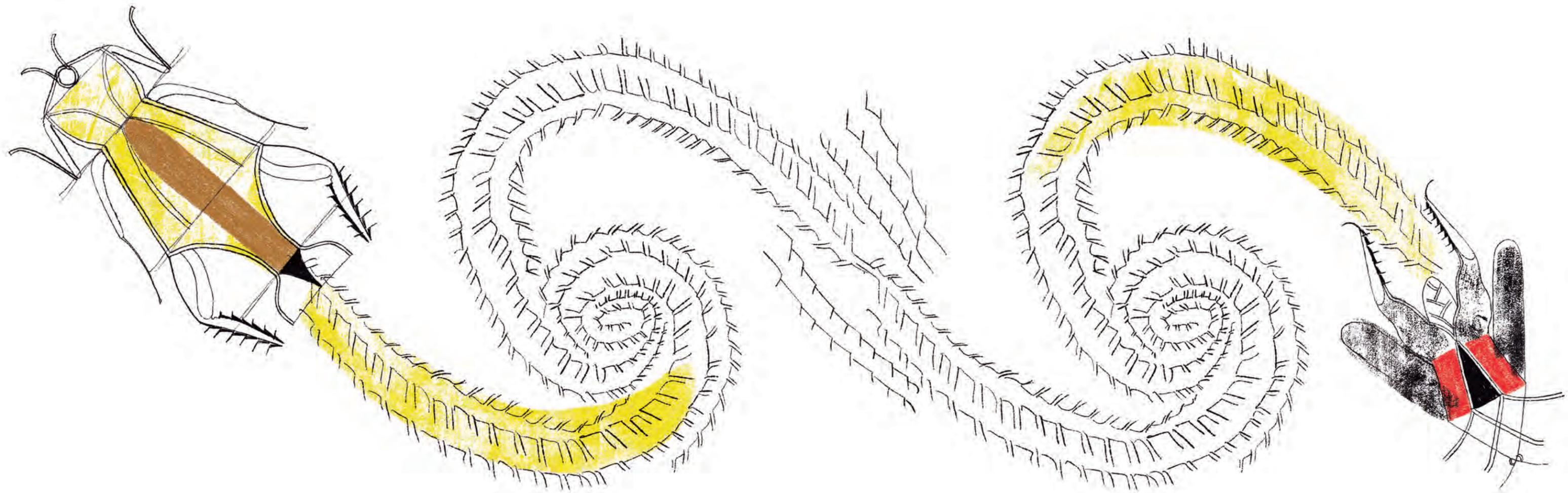
Códigos de barras de adhesión en el cerebro

El papel de las moléculas de adhesión sináptica en cada uno de los eventos de la sinaptogénesis se ha evaluado mediante diferentes enfoques experimentales orientados a descifrar el código de adhesión cerebral. El objetivo es la identificación bioquími-

ca de los complejos moleculares que describan qué conjunto específico de éstas interactúa con cuál otro a través de la hendidura sináptica. A partir de estos enfoques, se identificaron dos familias importantes de pares de moléculas de adhesión sináptica:







neurexinas y neuroliginas, las cuales forman un código de adhesión con base en su patrón de reconocimiento mutuo durante la sinapsis y en su capacidad para localizarse de una forma diferencial en los compartimentos sinápticos: las neurexinas en el presináptico y las neuroliginas en el postsináptico. Este patrón de interacción heterofílica también explica su participación en la definición de la naturaleza asimétrica de las sinapsis, debido a su capacidad para reclutar diferentes conjuntos de moléculas en sus respectivos compartimentos y, por lo tanto, inducir un nivel de maduración distinto que es propio de cada compartimento.

El refinamiento del código de adhesión se produce por un empalme

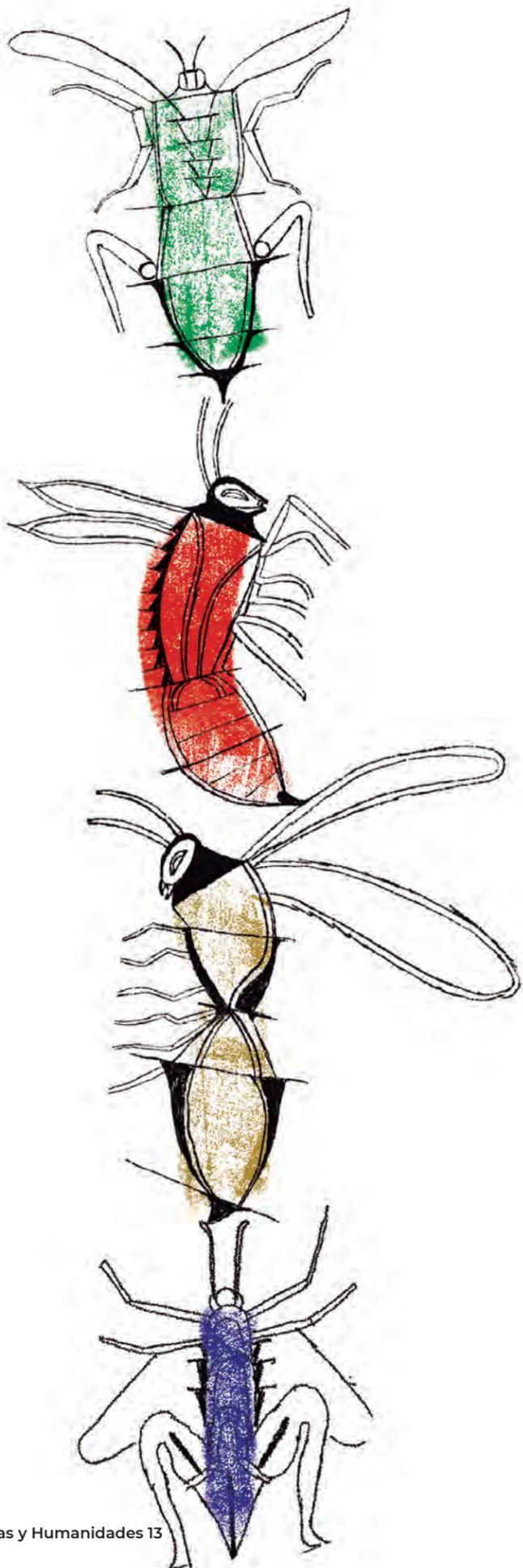
alternativo, evento transcripcional destinado a diversificar los productos de un gen determinado mediante el uso alternativo de sus exones, lo cual da como resultado que la misma proteína presente diferentes conformaciones. Así, el empalme alternativo diversifica la función de las moléculas de adhesión sináptica al generar nuevas propiedades de adhesión para una de ellas en particular. Por ejemplo, las neurexinas sólo pueden interactuar con las neuroliginas si las primeras carecen de un dominio externo, que se elimina mediante un empalme alternativo, pero cuando las neurexinas incluyen ese dominio pueden unirse a otras de estas moléculas. Esta característica se volvió fundamental para comprender la di-

versidad sináptica, dado que hay más de 10 000 millones de neuronas interconectadas en el cerebro que dan lugar, probablemente, a cientos de miles de millones de contactos sinápticos. Por lo tanto, la hipótesis que respalda los códigos de barras de adhesión en las sinapsis infiere que cada sinapsis podría estar definida molecularmente por una combinación específica de pares de moléculas de adhesión sináptica.

El descubrimiento de nuevos contactos heterofílicos amplía el código de barras

Como moléculas de adhesión sináptica prototípicas, las neurexinas se componen de muchos dominios or-

ganizados como módulos, así como un collar de perlas que expone individualmente cada una de ellas. Esta característica planteó la posibilidad de que pudieran interactuar con ligandos adicionales. En la renovada búsqueda de ligandos se identificó otra familia de este tipo de moléculas (las latrofilinas) como un nuevo socio de adhesión para las neurexinas (Boucard *et al.*, 2012). Este hallazgo amplió el papel de las neurexinas en la sinapsis, ya que las latrofilinas pueden estabilizar el contacto entre células y, por esto, actuar como un socio adhesivo funcional. Hasta la fecha se han descubierto numerosos ligandos neuronales adicionales para las neurexinas, como cerebelinas, proteínas transmembrana repetidas ricas en



leucina, distroglicano, calsinteninas, neuroxofilinas, proteínas relacionadas con la anhidrasa carbónica 10/11, receptores $GABA_A$ R, miembros de la superfamilia de inmunoglobulinas 21, entre otros (Sudhof, 2021). Además de las moléculas neuronales, se descubrió que un factor sinaptogénico secretado por los astrocitos, con el nombre de Hevin/SPARCL1, ayuda a cerrar el contacto entre pares no complementarios de neurexinas y neuroliginas, con lo cual se denota la contribución de las células gliales en la estabilización de las sinapsis. Este esfuerzo en curso revela la gran diversidad de familias de ligandos que pueden interactuar con las neurexinas y ampliar de esta manera el papel de esta molécula de adhesión sináptica prototípica en la formación y el mantenimiento de las sinapsis (Figura 1, derecha).

Trastornos neuropsiquiátricos asociados con la función de las moléculas de adhesión sináptica

La conectividad neuronal o neuroconectoma (que comprende las interacciones entre neuronas y células gliales) ensambla regiones cerebrales vecinas y distantes para constituir redes que integran el comportamiento humano, en cuya configuración

interviene una amplia gama de este tipo de moléculas debido a su función esencial en la formación de sinapsis. La importancia de las moléculas de adhesión sináptica en la fisiología del cerebro humano puede destacarse por su asociación con ciertos trastornos del desarrollo neurológico. De hecho, las alteraciones en los genes codificantes de neurexinas y neuroliginas se han relacionado con el desarrollo del trastorno del espectro autista, una condición que afecta las interacciones sociales debido a la incapacidad del individuo para reconocer adecuadamente las señales socialmente establecidas, lo que resulta en manifestaciones emocionales inapropiadas. Dicho padecimiento es uno de los trastornos psiquiátricos más comunes en los niños y origina una gran cantidad de problemas que representan un enorme desafío para alcanzar su efectiva inclusión en todos los ámbitos de la sociedad.

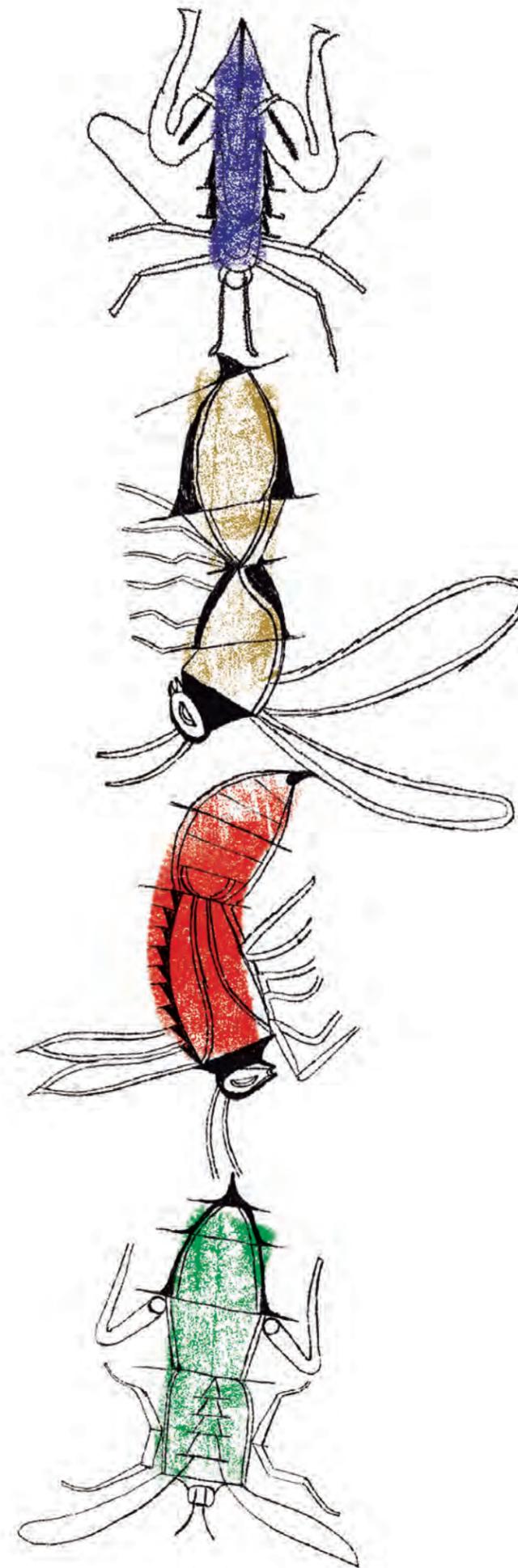
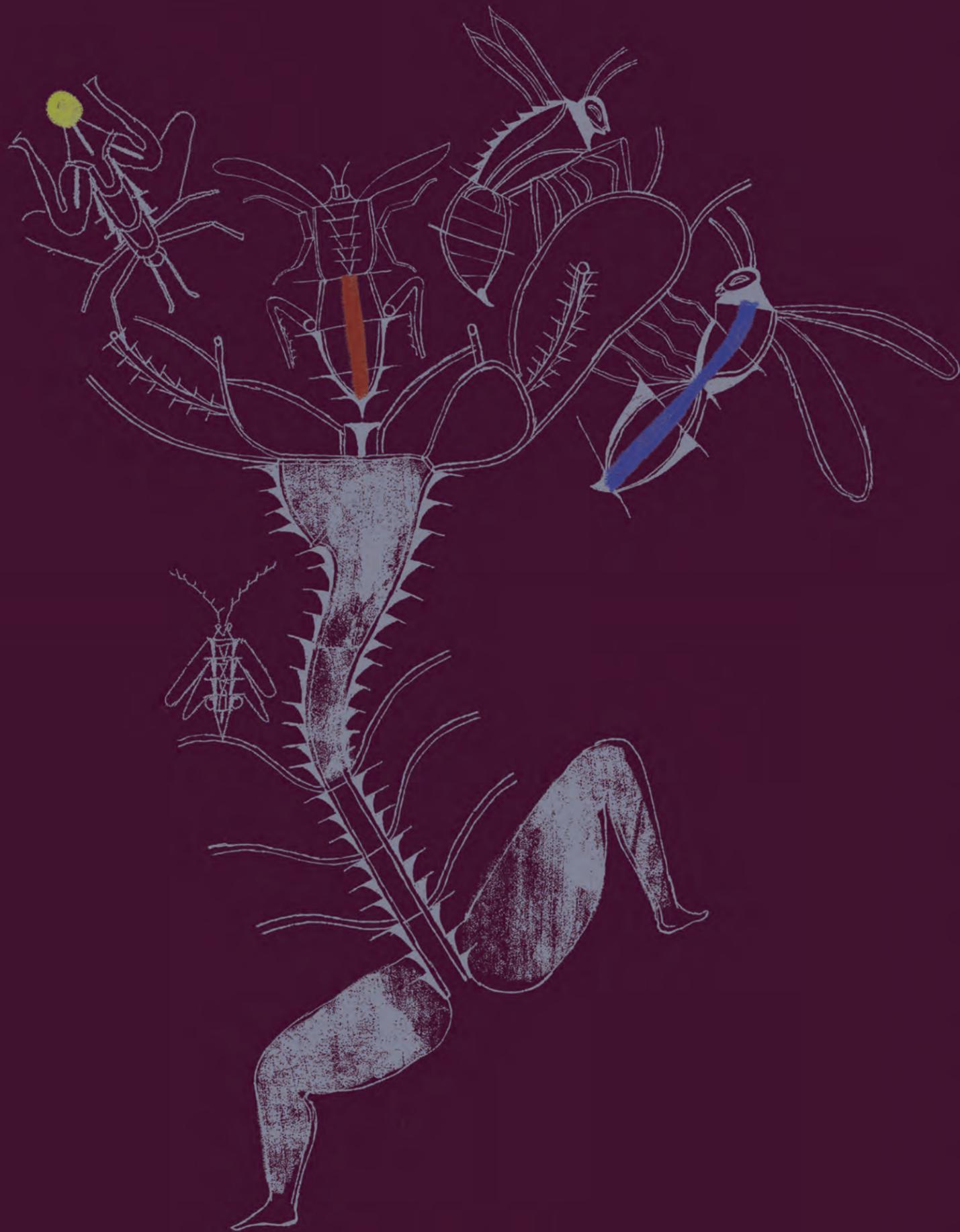
Se cree que la contribución genética de las neurexinas y neuroliginas para el trastorno mencionado es relativamente rara, ya que se espera que esté presente en menos del 0.2% de los pacientes diagnosticados (Khoja *et al.*, 2023). Sin embargo, esta frecuencia aparentemente baja podría no revelar el panorama completo. Considerando su patrón de interacción con

una amplia gama de moléculas de adhesión sináptica, puede concebirse que cualquier tipo de alteración en los genes que constituyen compañeros de interacción de neurexinas/neuroliginas podría afectar la misma vía molecular. De hecho, se han encontrado alteraciones en el gen de la latrofilina en pacientes con trastorno del espectro autista, pero también en otros casos diagnosticados con discapacidad intelectual o con trastorno por déficit de atención con hiperactividad, una afección caracterizada por la impulsividad y capacidad de atención mal dirigida (Vitobello *et al.*, 2022).

Así, estos descubrimientos proporcionan nuevos objetivos moleculares basados en las moléculas de adhesión sináptica como alternativas viables para el desarrollo de tratamientos farmacológicos de diversos trastornos neuropsiquiátricos.

Agradecimientos

A la Secretaría de Educación, Ciencia, Tecnología e Innovación de la Ciudad de México mediante el proyecto Sectei/165/2023: «Vínculo Genético entre Predisposición a la Obesidad y Trastorno por Déficit de Atención con Hiperactividad».



Referencias

- Boucard, A. A., Ko, J. y Sudhof, T. C.** (2012). High affinity neurexin binding to cell adhesion G-protein-coupled receptor CIRLI/latrophilin-1 produces an intercellular adhesion complex. *J Biol Chem*, 287(12), 9399-9413. <https://doi.org/10.1074/jbc.M111.318659>
- Gerrow, K. y El-Husseini, A.** (2006). Cell adhesion molecules at the synapse. *Front Biosci*, 11, 2400-2419. <https://doi.org/10.2741/1978>
- Khoja, S., Haile, M. T. y Chen, L. Y.** (2023). Advances in neurexin studies and the emerging role of neurexin-2 in autism spectrum disorder. *Front Mol Neurosci*, 16. <https://doi.org/10.3389/fnmol.2023.1125087>
- Sudhof, T. C.** (2021). The cell biology of synapse formation. *J Cell Biol*, 220(7). <https://doi.org/10.1083/jcb.202103052>
- Vitobello, A., Mazel, B., Lelianova, V. G., Zangrandi, A., Petitto, E., Suckling, J., Salpietro, V., Meyer, R., Elbracht, M., Kurth, I., Eggermann, T., Benlaouer, O., Lall, G., Tonevitsky, A. G., Scott, D. A., Chan, K. M., Rosenfeld, J. A., Nambot, S., Safraou, H., ... Ushkaryov, Y.** (2022). ADGRL1 haploinsufficiency causes a variable spectrum of neurodevelopmental disorders in humans and alters synaptic activity and behavior in a mouse model. *Am J Hum Genet*, 109(8), 1436-1457. <https://doi.org/10.1016/j.ajhg.2022.06.011>

La evolución de dos géneros mexicanos de cícadas: *Dioon* y *Ceratozamia*

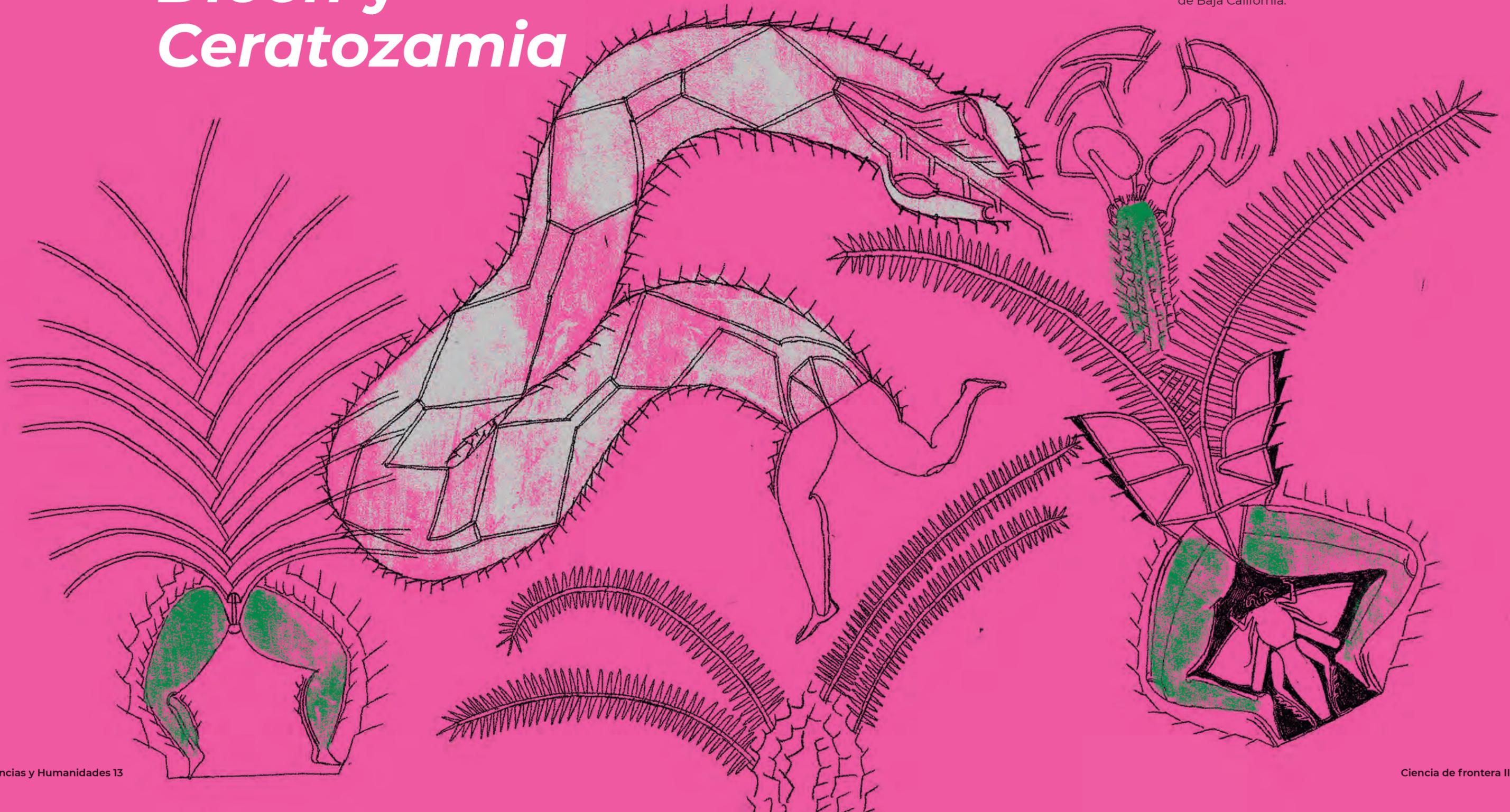
Dioon y *Ceratozamia*

Jorge González-Astorga

Investigador del Laboratorio de Genética de Poblaciones, Red de Biología Evolutiva, Instituto de Ecología, A. C.

Anwar Medina-Villarreal

Técnico académico del Herbario de la Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Baja California.



Dedicamos este artículo a tres incansables trabajadores de las cícadas mexicanas: Andrés Vovides, Carlos Iglesias y Miguel Ángel Pérez-Farrera.

Las cícadas (Cycadales) son plantas con semilla que surgieron hace 270 millones de años en el Pérmico de la era paleozoica, por lo que se les conoce como «fósiles vivientes», aunque este atributo se ha puesto en duda recientemente debido a que las especies vivas presentan una gran diversidad en la morfología de las hojas en todo su ámbito de distribución (Coiro y Seyfullah, 2024). Hay evidencias de que ocurrieron dos eventos importantes en la evolución profunda de estas plantas: la asociación con bacterias fijadoras de nitrógeno (Kipp *et al.*, 2023) y la duplicación del genoma completo del ancestro común de las especies actuales, que surgieron de rápidas radiaciones en los últimos 11 a 20 millones de años durante el Mioceno, cuando el clima en el planeta era más seco y frío que ahora (Liu *et al.*, 2022).

A la fecha se conocen 375 especies pantropicales que se encuentran distribuidas en 10 géneros: *Bowenia* (dos especies), *Ceratozamia* (40 especies), *Cycas* (119 especies), *Dioon* (18 especies), *Encephalartos* (65 especies), *Lepidozamia* (dos especies), *Macrozamia* (41 especies), *Microcycas* (una especie), *Stangeria* (una especie) y *Zamia* (86 especies); dos tercios de ellas se encuentran en la lista roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, por lo que es el orden de plantas más amenazado del mundo (Calonje *et al.*, 2023). En el Neotró-

pico, México es el mayor centro de diversidad de cícadas, con tres géneros: *Dioon*, *Ceratozamia* y *Zamia*.

Estudios en México

Hace 40 años dio inicio el estudio científico de las cícadas mexicanas con la publicación del fascículo 26 de la *Flora de Veracruz* (Vovides *et al.*, 1983). A partir del presente siglo, en colaboración con otras personas investigadoras y estudiantes, llevamos a cabo exploraciones exhaustivas para buscar poblaciones en todo el país, lo que ha proporcionado una gran cantidad de información sobre la historia natural de las cícadas y ha generado preguntas e hipótesis evolutivas a nivel de especies y entre especies; de ahí la importancia del trabajo de campo.

En este sentido, hace 20 años iniciamos el estudio de *Dioon edule* (Figura 1) en todo su ámbito de distribución: a lo largo de la Sierra Madre Oriental, en Nuevo León, Tamaulipas, San Luis Potosí, Querétaro y Veracruz, donde evaluamos la variación morfológica y genética interna y entre poblaciones. Los resultados mostraron que las poblaciones del norte (Nuevo León y parte de Tamaulipas) tienen en promedio menos diversidad genética que las del centro y sur (San Luis Potosí, Querétaro y Veracruz). La reducción de los tamaños poblacionales efecti-



Figura 1. *Dioon edule* en Monte Oscuro, Veracruz, México. Fuente: adaptado de una fotografía de Jorge González-Astorga.





Figura 2.
Dioon merolae en la Sepultura, Chiapas, México.
Fuente: adaptado de una fotografía de Jorge González-Astorga.



Figura 3.
Plantas de la especie *Ceratozamia brevifrons*.
Aspecto general de las hojas (derecha) y estructuras reproductoras: cono masculino (superior izquierda) y cono femenino (izquierda inferior).
Fuente: adaptado de fotografías de Anwar Medina-Villarreal.

vos, con el inicio de la glaciación del Pleistoceno (hace alrededor de 20 000 años), potenció el aislamiento reproductivo de *D. angustifolium*, que configura un ejemplo de especiación relativamente rápida en un grupo de plantas de larga vida (González-Astorga *et al.*, 2003 y 2005). No obstante, esto se ha discutido recientemente, a partir de los patrones de distribución geográfica de las especies de *Dioon*, considerando a la aridificación como un proceso de cambio climático antiguo que desempeñó un papel fundamental en el aislamiento reproductivo de las diferentes poblaciones y especies del género (Gutiérrez-Ortega *et al.*, 2024).

Hasta ahora se han estudiado varias especies de *Dioon* a nivel poblacional asociadas a comunidades humanas antiguas y actuales en México, donde se ha detectado que la constitución genética entre y dentro de las poblaciones está determinada, en parte, por su uso como alimento, su cultivo y su transporte entre varias localidades desde hace aproximadamente 3 000 años (Carrasco *et al.*, 2022). Esto explica el hecho de que entre las diversas poblaciones de *D. edule* a lo largo de la Sierra Madre Oriental se presente una diferenciación genética en promedio baja, como evidencia de la importancia del flujo génico (desplazamiento de genes) potenciado por el intercambio de productos. Además, a partir de la estructura genética local (Cabre-

ra-Toledo *et al.*, 2019) y arqueológica de restos de semillas de *Dioon*, en particular en el valle de Tehuacán-Cuicatlán (Carrasco *et al.*, 2022), hay indicios de que algunos ejemplares adultos fueron plantados por grupos precolombinos de la región, y hasta la fecha permanecen vivos (Figura 2).

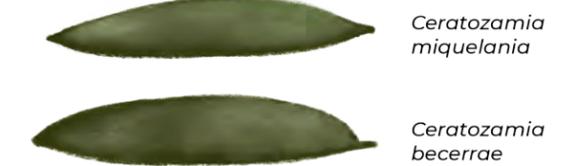
Por su parte, el género *Ceratozamia* (del griego *keratos*, «cuernos») debe su nombre al gran parecido que tiene con las plantas de su género hermano *Zamia*. La diferencia estriba en que el primero posee un par de proyecciones puntiagudas o «cuernos» en la cara de cada una de las escamas de sus conos o estróbilos (Figura 3), es el más diverso de las cícadas mexicanas –con 40 especies– y es el que tiene la mayor variación morfológica en sus hojas. Sus especies se distribuyen en el interior sombreado de los bosques húmedos de montaña y las selvas altas, desde México hasta Honduras.

En plantas adultas de este género coexisten formas extremas de hojas; por ejemplo, las hay anchas, como las de la especie *C. euryphyllidia* que habita las selvas de Veracruz y Oaxaca, y también hay hojas delgadas y largas, cual agujas, como las de *C. norstogii* en los bosques de encinos de Chiapas (Figura 4). Sin embargo, en la juventud de todas las especies, sus hojas son indistinguibles.

Especies con formas extremas



Especies paedomórficas



Especies peramórficas

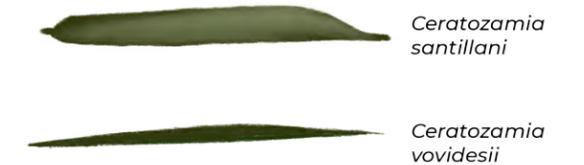


Figura 4.
Variación morfológica foliar de *Ceratozamia*.
Fuente: adaptado de un gráfico elaborado por los autores.

Investigaciones recientes

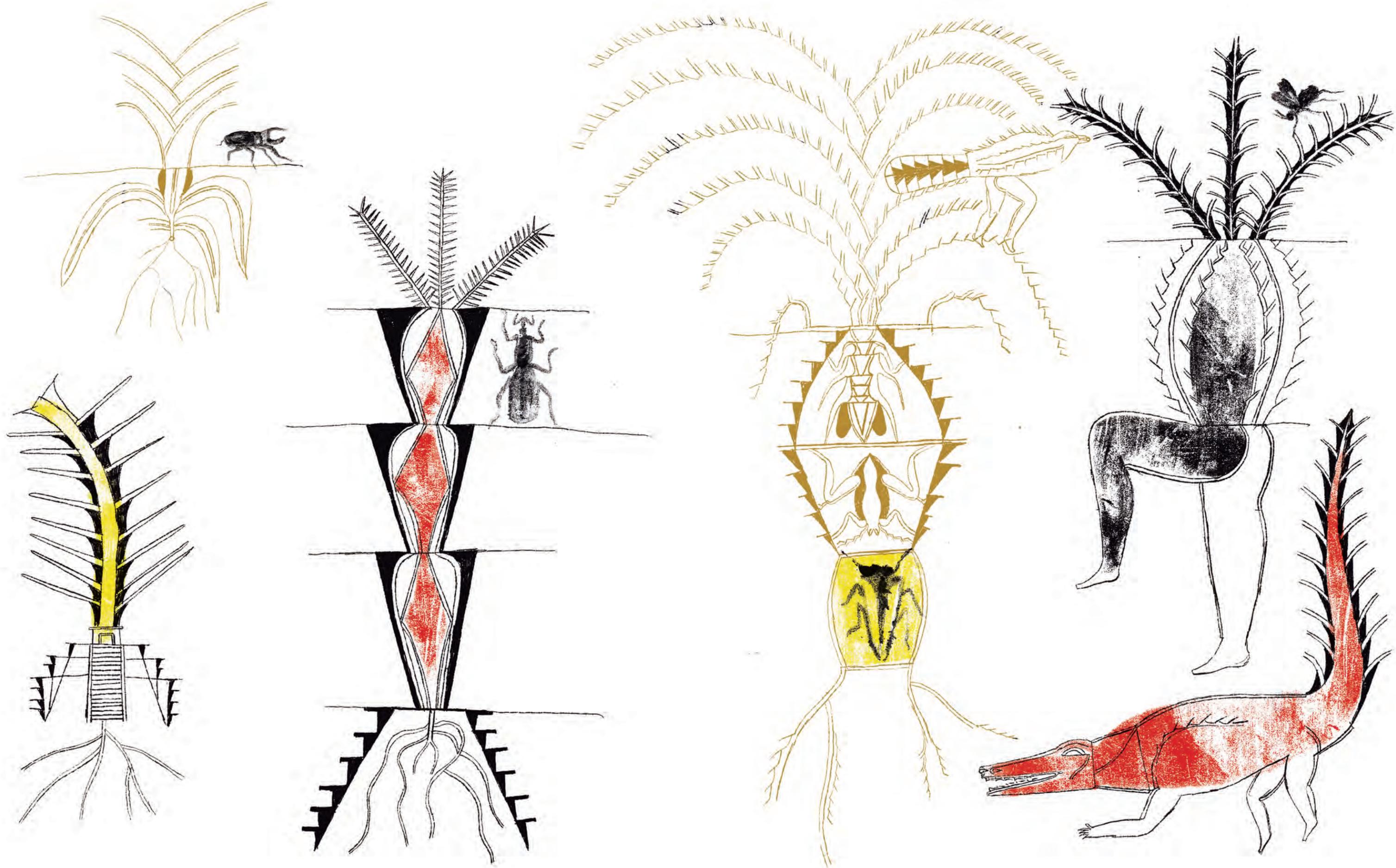
Los cicadólogos Dennis Stevenson, Sergio Sabato y Mario Vázquez-Torres (1986) propusieron una hipótesis sobre el origen de esta diversidad foliar en el género *Ceratozamia*, que habría tomado dos trayectorias. En la primera, estarían las especies que perpetúan las formas juveniles hasta la madurez, es decir, sólo crecimiento en tamaño; mientras que, en la segunda, las especies con formas adultas distintas a sus estados juveniles, esto es, un marcado desarrollo diferencial más que sólo crecimiento. Los autores citados acotaron lo último añadiendo que las formas adultas similares habrían evolucionado de manera independiente por efecto de presiones ambientales similares (Figura 5).

Con esto en mente, integrantes de los laboratorios de Genética de Poblaciones y de Sistemática Filogenética, ambos del Instituto de Ecología, A. C., decidimos poner a prueba la hipótesis (Medina-Villarreal *et al.*, 2019). Para ello, hicimos un amplio muestreo de todas las especies reconocidas hasta el momento, tanto morfológica como genéticamente. Con los datos moleculares, reconstruimos sus relaciones evolutivas o filogenéticas y estimamos sus tiempos de divergencia, con lo que elaboramos un análisis sobre el *tempo* y *modo* de evolución de sus caracteres. Los resultados apoyaron los modelos para explicar las ta-



sas con ritmos diferenciales en cada evento de especiación, modo al que se le conoce como evolución puntuada. Este proceso sucede cuando una de las ramas mantiene el carácter del ancestro y entra en un periodo de estasis morfológica, mientras que la rama hermana cambia de forma continuamente después del evento de especiación o aislamiento reproductivo, lo que a menudo está asociado en el nicho a cambios en las radiaciones adaptativas influenciadas por el entorno natural. Algunos ejemplos de especies hermanas paedomórficas –las cuales perpetúan la forma juvenil hasta la adultez– son *C. miqueliana-C. becerrae*, y de las especies peramórficas –las que son más distintas de lo esperado por su cercanía filogenética– son *C. sanitllani-C. vovidesii*. Por último, el modo de evolución puntuada detectado en el género *Ceratozamia* explica, en parte, el hecho de que especies distantes filogenéticamente sean más parecidas que otras más emparentadas.

Figura 5. Estado juvenil (arriba) y adulto (abajo) de dos especies del género *Ceratozamia*. Fuente: adaptado de fotografías de Anwar Medina-Villarreal.

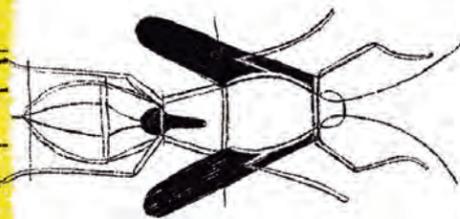




Conclusiones

Aquí mostramos dos facetas de la evolución de dos géneros de cícadas mexicanas: *Dioon* y *Ceratozamia*. En el primer caso abordamos el efecto de la última glaciación en el origen de *D. angustifolium* como un evento de rápida especiación en alopatría. También identificamos que, a partir de evidencias moleculares, paleobotánicas y arqueológicas, otras especies del centro y sur del país son y han sido usadas como alimento y en rituales religiosos, lo que ha modificado la estructura genética de sus poblaciones, potenciado por el intercambio de productos entre comunidades humanas desde hace al menos 3 000 años.

Para el caso del género *Ceratozamia*, describimos la propuesta del mecanismo de especiación por evolución puntuada que dio origen a la diversidad fenotípica actual. Inferimos que este mecanismo fue moldeado por selección-adaptación local, posiblemente en asociación al estrés hídrico y potenciado por procesos estocásticos, como deriva génica-endogamia en relación con los reducidos tamaños poblacionales característicos de estas plantas.



Referencias

- Cabrera-Toledo, D., González-Astorga, J., Vovides, A. P., Casas, A., Vargas-Ponce, O., Carrillo-Reyes, P., Nolasco-Soto, J. y Vega, E. (2019). Surviving background extinction: Inferences from historic and current dynamics in the contrasting population structures of two endemic Mexican cycads. *Population Ecology*, 61(1), 62-73. <https://doi.org/10.1002/1438-390X.1008>
- Calonje, M., Stevenson, D. W. y Stanberg, L. (2023). *The World List of Cycads*. <http://www.cycadlist.org>
- Carrasco, D., Cibrián-Jaramillo, A., Bonta, M. y Englehardt, J. D. (eds.). (2022). *Under the Shade of Thipaak*. University Press of Florida.
- Coiro, M. y Seyfullah, L. J. (2024). Disparity of cycad leaves dispels the living fossil metaphor. *Communications Biology*, 7, 328. <https://doi.org/10.1038/s42003-024-06024-9>
- González-Astorga, J., Vovides, A. P., Ferrer, M. e Iglesias, C. (2003). Population genetics of *Dioon edule* Lindl. (Zamiaceae, Cycadales): biogeographical and evolutionary implications. *Biological Journal of the Linnean Society*, 80(3), 457-467. <https://doi.org/10.1046/j.1095-8312.2003.00257.x>
- González-Astorga, J., Vovides, A. P., Cruz-Angón, A., Octavio-Aguilar, P. e Iglesias, C. (2005). Allozyme variation in the three extant populations of the narrowly endemic cycad *Dioon angustifolium* Miq. (Zamiaceae) from north eastern Mexico. *Annals of Botany*, 95(6), 999-1007. <https://doi.org/10.1093/aob/mci106>
- Gutiérrez-Ortega, J. S., Pérez-Farrera, M. A., Sato, M. P., Matsuo, A., Suyama, Y., Vovides, A. P., Molina-Freaner, F., Kajita, T. y Watano, Y. (2024). Evolutionary and ecological trends in the Neotropical cycad genus *Dioon* (Zamiaceae): An example of success of evolutionary stasis. *Ecological Research*, 39(2), 131-158. <https://doi.org/10.1111/1440-1703.12442>
- Kipp, M. A., Stüeken, E. E., Strömberg, C. A. E., Brightly, W. H., Arbour, V. M., Erdei, B., Hill, R. S., Johnson, K. R., Kvaček, J., McElwain, J. C., Miller, I. M., Slodownik, M., Vajda, V. y Buick, R. (2023). Nitrogen isotopes reveal independent origins of N₂-fixing symbiosis in extant cycad lineages. *Nature Ecology and Evolution*, 8, 57-69. <https://doi.org/10.1038/s41559-023-02251-1>
- Liu, Y., Wang, S., Li, L., Yang, T., Dong, S., Wei, T., Wu, S., Liu, Y., Gong, Y., Feng, X., Ma, J., Chang, G., Huang, J., Yang, Y., Wang, H., Liu, M., Xu, Y., Liang, H., Yu, J., ... Zhang, S. (2022). The *Cycas* genome and the early evolution of seed plants. *Nature Plants*, 8, 389-401. <https://doi.org/10.1038/s41477-022-01129-7>
- Medina-Villarreal, A., González-Astorga, J. y Espinosa de los Monteros, A. (2019). Evolution of *Ceratozamia* cycads: A proximate-ultimate approach. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 139, 106530. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2019.106530>
- Stevenson, D. W., Sabato, S. y Vázquez-Torres, M. (1986). A new species of *Ceratozamia* (Zamiaceae) from Veracruz, Mexico with comments on species relationships, habitats, and vegetative morphology in *Ceratozamia*. *Brittonia*, 38, 17-26. <https://doi.org/10.2307/2807413>
- Vovides, A. P., Rees, J. D. y Vázquez-Torres, M. (1983). *Flora de Veracruz. Zamiaceae*. Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos. <http://www1.inecol.edu.mx/publicaciones/resumenes/FLOVER/26-Vovides.pdf>

Preservar el remanente del sistema lagunar de la Ciudad de México

Marcela Rosas Chavoya

Investigadora de la Unidad Técnico Operativa de la Comisión de Recursos Naturales y Desarrollo Rural (CORENADR), Secretaría del Medio Ambiente (SEDEMA) de la Ciudad de México.

Columba Jazmín López Gutiérrez

Directora general de la CORENADR, SEDEMA.

Jorge Alberto Escandón Calderón

Subdirector de Capacitación para la Sustentabilidad en la CORENADR, SEDEMA.

Demian Vázquez Muñoz

Encargado de Información Estadística de la CORENADR, SEDEMA.



La Ciudad de México, considerada la quinta metrópoli más grande del mundo (United Nations Human Settlements Programme, 2012), es un sistema urbano caótico en donde se conserva un área vinculada –cultural, económica y socialmente– al agua (Canabal Cristiani y Narchi N., 2014). Los cuerpos de agua de Milpa Alta, Tláhuac y Xochimilco, ubicados al sur, se relacionan con al menos 13 pueblos originarios ligados por más de seis siglos al Sistema Lagunar del Valle de México, del cual actualmente sólo persiste un relictos o escaso remanente (Gobierno del Distrito Federal, 2012).

En 1987, la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura presentó la declaratoria de la Zona Patrimonio Mundial Natural y Cultural de la Humanidad en Xochimilco, Tláhuac y Milpa Alta (Figura 1), espacio que se ha convertido en uno de los bienes de mayor valor cultural y natural de América Latina (González Pozo, 2016), caracterizado por los cultivos agrícolas en un sistema de chinampas (hortalizas, plantas de ornato y flores) y la vegetación típica de los humedales, como ahuejote (*Salix bonplandiana*), lirio amarillo (*Nymphaea mexicana*), ahuehuate (*Taxodium mucronatum*), entre otras; además de constituir un área importante para aves nativas y migratorias.

Desde el siglo XVI, este sistema comenzó un proceso de transformación que ha puesto en riesgo su riqueza biológica, agrícola y cultural. Los principales factores que lo amenazan son la eutrofización –exceso de materia orgánica que genera un crecimiento acelerado de algas y otras plantas verdes que cubren la superficie del agua–, la con-

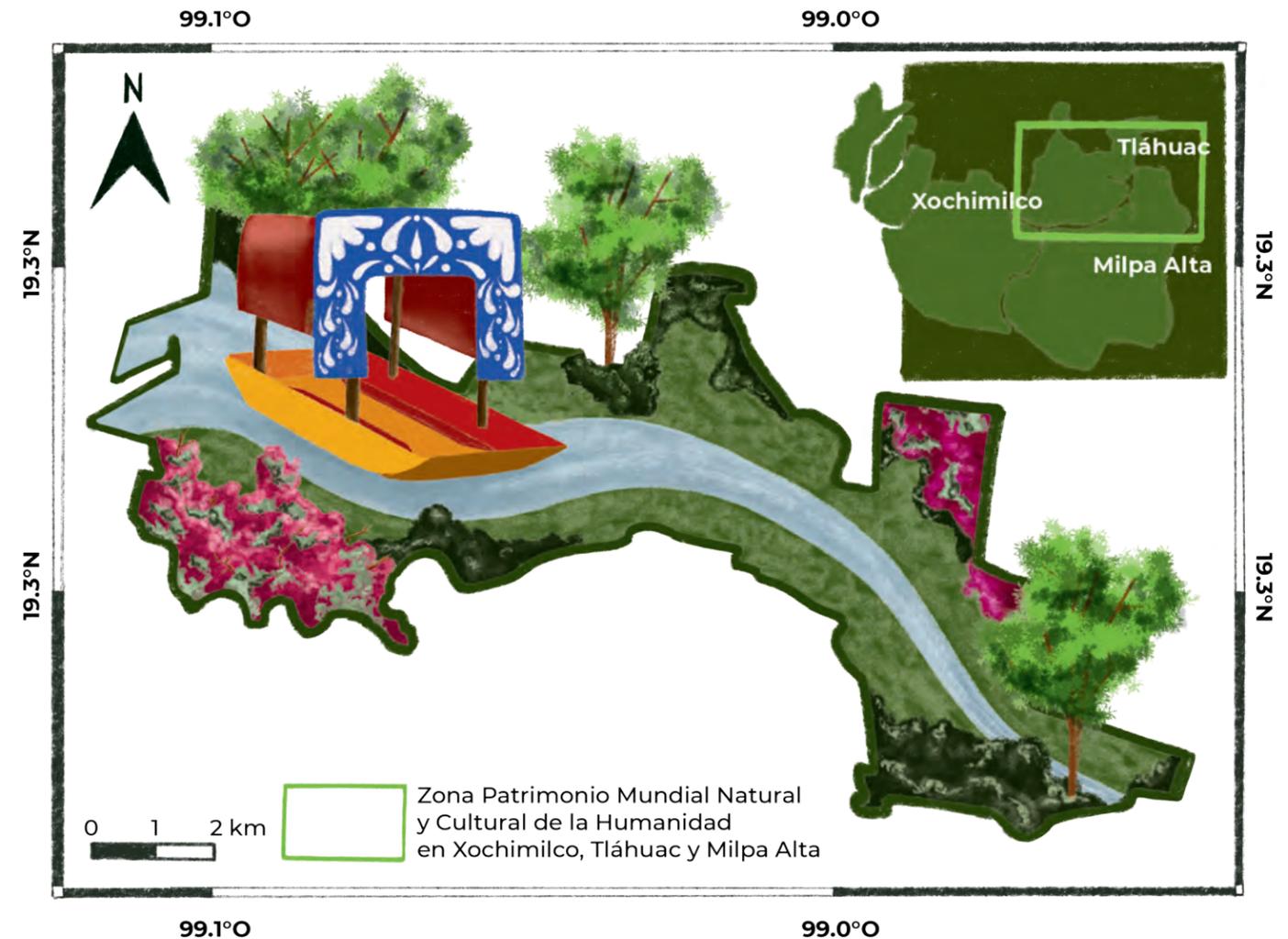
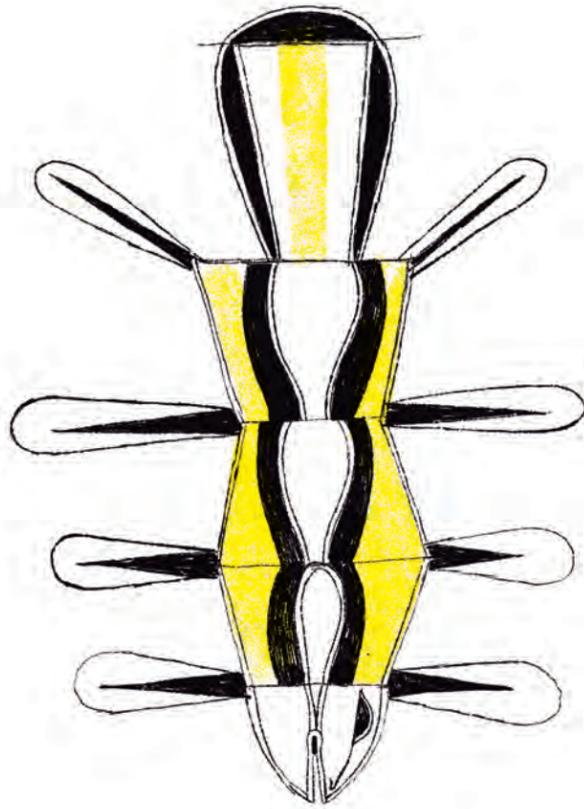


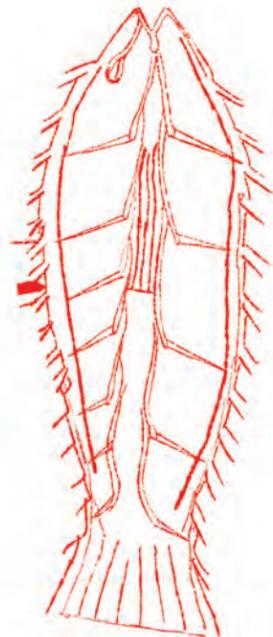
Figura 1.
Zona Patrimonio Mundial Natural y Cultural de la Humanidad en Xochimilco, Tláhuac y Milpa Alta.



taminación, la sedimentación, la salinización y el establecimiento de especies invasoras, sin mencionar los impactos del entorno urbano circundante (Merlín-Urbe *et al.*, 2013).

Los cuerpos de agua y los humedales asociados a ellos son de gran importancia por los servicios ecológicos que prestan, y son aún más relevantes en un contexto urbano como el de la Ciudad de México. Por ejemplo, los primeros son una valiosa herramienta para el enfriamiento y la mitigación del efecto «isla de calor» —aquel que se produce en áreas urbanas donde, por la actividad humana, se experimentan temperaturas más altas que en las zonas circundantes—. La presencia de cuerpos de agua puede implicar una disminución de hasta 3 °C por efecto de la evaporación (Merlín-Urbe *et al.*, 2013).

En 2022, la Resolución de Manejo Sustentable de Cuerpos de Agua de la Asamblea de Asuntos Ambientales de la Organización de las Naciones Unidas estableció como acciones fundamentales la colecta y el análisis de información sobre el estado de los recursos hídricos de cada región, debido a la enorme trascendencia que tienen. En ese marco, la Comisión de Recursos Naturales y Desarrollo Rural (CORENADR) monitorea de manera sistemática los cuerpos de agua de la Ciudad de México mediante imágenes satelitales para evaluar cuáles son los impactos de las intervenciones sociales y el efecto de las políticas públicas; además, con esta actividad impulsa el uso de la tecnología y las comunicaciones para el entendimiento y la atención de diversas problemáticas intersectoriales.



Análisis desde el espacio

La CORENADR analizó la dinámica de cambio de la Zona Patrimonio en Xochimilco, Tláhuac y Milpa Alta mediante imágenes del satélite Landsat 8, el cual orbita a más de 700 kilómetros de la superficie de la Tierra. Para ello, se utilizó información no sólo del espectro visible (rojo, verde y azul), sino también de otras bandas del espectro electromagnético, que permiten identificar condiciones particulares de la superficie.

Para cada uno de los años analizados (2012, 2018 y 2023) se seleccionó una escena, cuidando que las imágenes se hayan obtenido durante enero, ya que este mes se caracteriza por tener baja nubosidad, por lo que las imágenes satelitales poseen menor interferencia. Este tipo de análisis con base en la información satelital es ampliamente utilizado; sin embargo, se han hecho pocos ejercicios para esta zona en específico.

A partir de las imágenes se desarrolló una clasificación supervisada con el algoritmo *random forest* —un método basado en una gran cantidad de árboles de decisión, los cuales al combinarse resultan en un modelo muy preciso sobre las condiciones de la superficie terrestre— y enfocada, en este caso, en la identificación de los cuerpos de agua y humedales. Una vez que se cuantificó la superficie de espejo de agua para los tres momentos (2012, 2018 y 2023), se estimó la tasa de cambio respecto a áreas y porcentajes con una ecuación propuesta desde la Universidad de Oregón (2022), que permite identificar el porcentaje de expansión o disminución de algún tipo de superficie analizada.



Recuperar cuerpos de agua y canales

El conocimiento y análisis de las imágenes tomadas desde el espacio le ha permitido al equipo de geoestadística de la CORENADR evaluar las acciones de política pública (programa Altepétl-Bienestar) vinculadas con el retiro de materia orgánica y la reapertura de canales en la zona. Durante este periodo administrativo (2018-2024), la aplicación de políticas públicas en actividades de limpieza comunitaria y mantenimiento de la red de canales ha sido determinante para la conservación de los ecosistemas acuáticos presentes en la zona.

Los logros de la vinculación tecnológica, el mapeo espacial y el diálogo entre actores se pueden constatar en la recuperación de los recursos hídricos: en el periodo 2012-2018 la superficie de los cuerpos de agua de la Zona Patrimonio creció el 3.6%, mientras que durante el periodo 2018-2023 alcanzó el 16.53% (83.7 ha) de crecimiento, en relación con la superficie total de espejo de agua y zona de humedales (Figura 2). La dinámica de recuperación de cuerpos de agua se observó, principalmente, hacia la región oeste de la zona, que alberga gran parte de la red canalera donde se ha fortalecido tanto la limpieza de canales como la producción en chinampas que se mantiene activa.

Si bien el incremento de la superficie de cuerpos de agua y humedales es claro, sobre todo para el último periodo analizado, los siguientes puntos de avance consisten en la gestión integral de aguas residuales (que ya se lleva a cabo en algunos lugares), la promoción de tecnologías para el manejo sustentable del agua y la sistematización en el monitoreo de este valioso recurso.

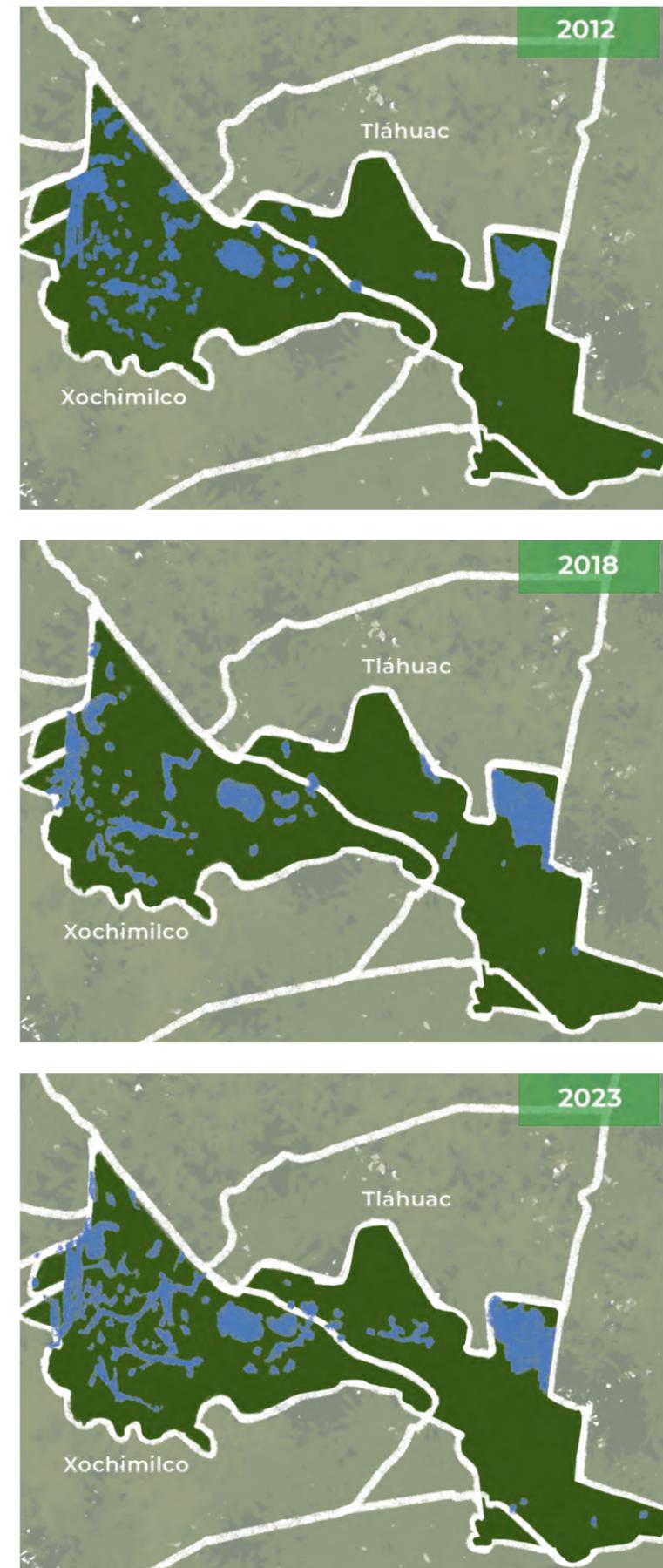
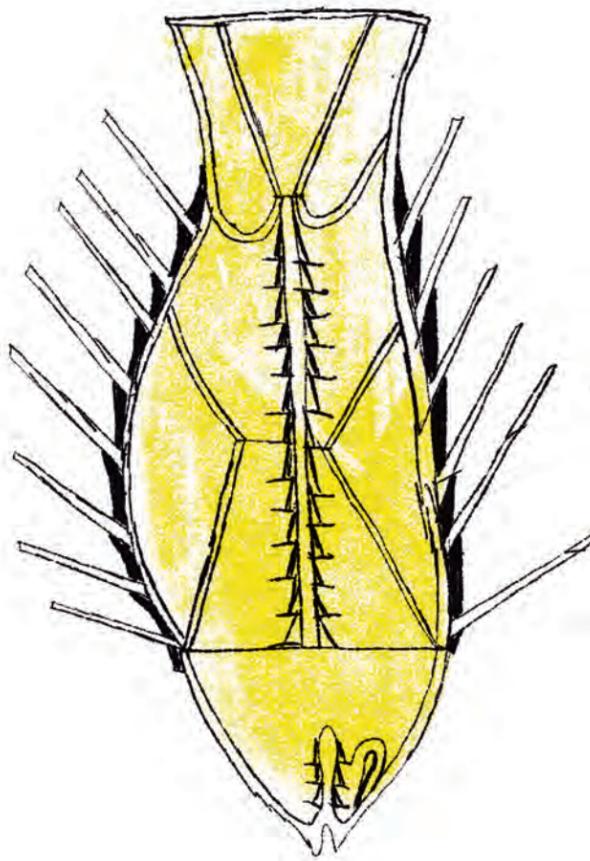


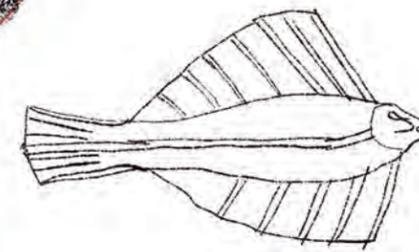
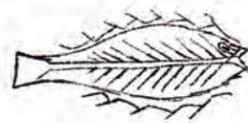
Figura 2. Mapas de distintos años generados a partir de imágenes satelitales de la Zona Patrimonio Mundial Natural y Cultural de la Humanidad en Xochimilco, Tláhuac y Milpa Alta.



Conclusiones

La política pública enfocada en la recuperación de los cuerpos de agua y humedales de la Zona Patrimonio Mundial Natural y Cultural de la Humanidad en Xochimilco, Tláhuac y Milpa Alta muestra efectos positivos. Sin embargo, es imperativo continuar con el análisis espacial y el uso de la tecnología para, puntualmente, desarrollar actividades integrales de limpieza de canales, saneamiento en las descargas de los asentamientos humanos que están ubicados en la zona de amortiguamiento, producción agroecológica y mantenimiento en la zona chinampera.

Los cuerpos de agua y humedales de esta zona son determinantes para el desarrollo de una buena parte de la capital del país, por lo que las actividades de recuperación se vuelven clave para caminar hacia la erradicación de la pobreza y el logro de la soberanía alimentaria, como establece la Agenda 2030. Sin duda, mantener la relación entre agua, naturaleza y sociedad es ahora más importante que nunca.



Referencias

- Canabal Cristiani, B. y Narchi N., N. E.** (2014). *El agua en los pueblos del sur de la Ciudad de México*. Universidad Autónoma Metropolitana, unidad Xochimilco/Plaza y Valdés Editores. https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2015/02/El_agua_en_los_pueblos_del_sur_de_la_ciudad_de_Mexico.pdf
- Gobierno del Distrito Federal.** (2012). *Libros blancos. Xochimilco*. Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal.
- González Pozo, A. (coord.).** (2016). *Las Chinampas: Patrimonio Mundial de la Ciudad de México*. Universidad Autónoma Metropolitana. https://www.catedraefema.fu.unam.mx/wp/wp-content/uploads/2021/12/17_CEFEM_Gonzalez_Pozo_Publicaciones_2017_CHINAMPAS-PATRIMONIO-MUNDIAL-CDMX-1.pdf
- Merlín-Urbe, Y., González-Esquivel, C. E., Contreras-Hernández, A., Zambrano, L., Moreno-Casasola, P. y Astier, M.** (2013). Environmental and socio-economic sustainability of chinampas (raised beds) in Xochimilco, Mexico City. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 11(3), 216-233. <https://doi.org/10.1080/14735903.2012.726128>
- United Nations Human Settlements Programme.** (2012). *The state of Latin American and Caribbean cities 2012*. <https://unhabitat.org/sites/default/files/download-manager-files/State%20of%20Latin%20American%20and%20Caribbean%20cities.pdf>
- Universidad de Oregón.** (2022, 30 de septiembre). *Calculating Growth Rates*. <https://pages.uoregon.edu/rgp/PPPM613/class8a.htm>



Efraím Hernández Xolocotzi, etnobotánico e ícono de la investigación de frontera

Efraím Hernández Xolocotzi es reconocido, en México y el extranjero, como un ícono de la denominada ciencia de frontera; gracias a su reveladora perspectiva llegamos a muchas de las actuales posturas sobre la relación entre naturaleza y sociedad, por ejemplo, para volver a valorar la milpa y el maíz mexicano, así como para oponernos a la introducción de los transgénicos en los agroecosistemas del país, entre otros campos donde destaca su contribución. Para comprenderlo, es esencial entender a la persona a partir de sus orígenes, formación y desarrollo profesional. Afortunadamente, contamos con sus abundantes reflexiones profesionales y personales, recopiladas principalmente en la obra *Xolocotzia* (Hernández X., 2014), además de la extraordinaria tesis de Matthew Caire-Pérez (2016).

Nació en San Bernabé Amaxac, Tlaxcala, en 1913, en plena Revolución mexicana. Era el menor de tres hijos varones de un campesino y de una profesora de primaria. Emigró con su familia cuando tenía dos años, primero a Puebla y



Patricia Colunga-García Marín
Daniel Zizumbo-Villarreal
Investigadores en retiro.

Jerónimo Zizumbo-Colunga
Estudiante del doctorado en Ciencias Biomédicas,
Universidad Nacional Autónoma de México.

luego a la Ciudad de México. En 1923, su padre regresó a Amaxac para cultivar sus tierras y él se trasladó con su madre a Nueva Orleans, en Estados Unidos, para reunirse con sus hermanos mayores. Tres años después se mudaron a Nueva York, donde en 1928 ingresó a la muy competitiva Stuyvesant High School, preparatoria enfocada en carreras científicas, de la cual egresaron cuatro premios Nobel. Tras obtener el promedio más alto registrado en los 25 años de existencia de la escuela y con la idea de estudiar ingeniería eléctrica, decidió visitar Amaxac, su tierra natal, en 1932, antes de ingresar a la universidad. Allí se reconectó con sus raíces y cambió totalmente el curso de su vida, ya que determinó que estudiaría agronomía y luego regresaría a México.

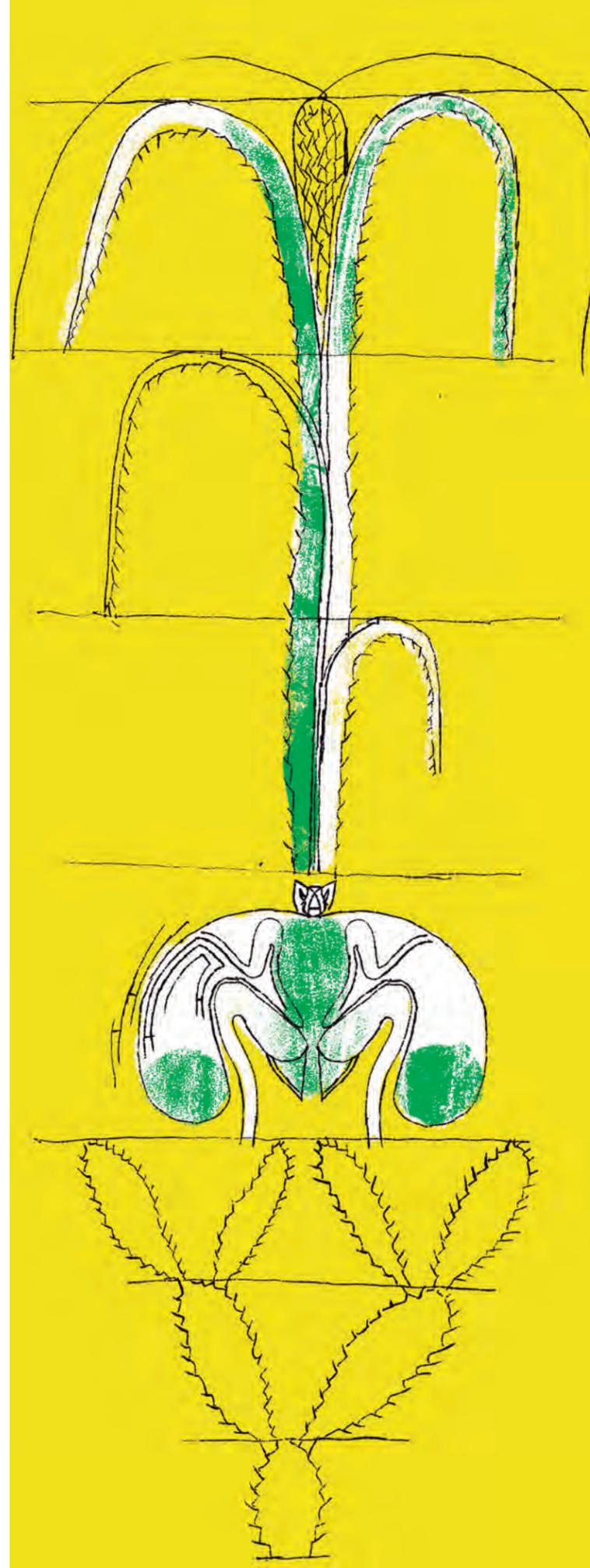
Con esta convicción, estudió dos años en la Escuela Práctica de Agricultura del estado de Nueva York, en Long Island, y después, cuatro años en la Escuela de Agricultura de la Universidad de Cornell —una de las más afamadas de Estados Unidos—, en Ithaca. Ahí aprovechó la



flexibilidad del programa de estudios y cursó 12 materias en otras facultades, principalmente relacionadas con la botánica, pero también de educación, antropología y filosofía. Esta experiencia de pluralidad intelectual cultivó en él una aproximación de frontera y lo marcó de tal forma que en su futura actividad docente intentaría ofrecerla a sus alumnas y alumnos. A los 25 años, graduado con exceso de créditos y una sólida formación académica, regresó a su pueblo natal en 1938 para desarrollar en México su vida y su profesión «a pesar de las oportunidades de trabajo en los Estados Unidos» (Hernández X., 1987, p. 6).

Permaneció un año en Amaxac, donde reestableció su uso del español y se empapó «del ambiente social, ecológico y agrícola a nivel de las raíces rurales» (Hernández X., 2014, p. 18). En 1939, al inicio de la Segunda Guerra Mundial y en pleno régimen cardenista, ingresó al Banco Nacional de Crédito Ejidal en Villahermosa, Tabasco, cuando no había organizaciones de investigación agrícola. Al conocer a agricultores tradicionales del sistema roza-tumba y quema, sintió que «realmente empezó a aprender agricultura» (Hernández X., 1987, p. 6). Sus notas muestran que como testigo de una gran variedad de interrelaciones planta-humano obtuvo su cosecha más valiosa: «una comprensión más profunda de los campesinos y sus problemas, y la forma en que trataban de resolverlos» (Hernández X., 1987, p. 6).

Al desaparecer el Banco en 1942, trabajó para los programas de apoyo al cultivo de oleaginosas y el uso de maquinaria agrícola, auspiciados por la embajada de Estados Unidos entre 1943 y 1945, donde tuvo la «ocasión de observar casi todas las regiones agrícolas de México» (Hernández X., 2014, p. 19) y relacionarse con destacados botánicos nacionales e inter-



nacionales que investigaban en México. En el último año, ingresó a la recién fundada Sociedad Botánica de México (de 1941), donde, en colaboración con pioneros como Faustino Miranda, detonaron el inicio de la ecología y la etnobotánica mexicana (Piñero y Sarukhán, 2011; Gómez-Pompa, 1993) y publicaron obras torales como «Los tipos de vegetación de México y su clasificación» (Miranda y Hernández X., 1963).

También en 1945, al ser recomendado con el Ing. Marte R. Gómez, secretario de Agricultura y Fomento, ingresó a trabajar en la recién formada Oficina de Estudios Especiales (OEE), que era parte del Programa Agrícola Mexicano (1943-1965) de la Fundación Rockefeller y la Secretaría de Agricultura para mejorar la producción agrícola, que a la postre dio origen en México a la muy criticada Revolución Verde. De esta forma, Hernández Xolocotzi siguió presenciando de primera mano las políticas de intervencionismo agrícola de Estados Unidos; mientras que, de 1945 a 1947, bajo la supervisión del Dr. Edwin J. Wellhausen, recorrió nuevamente todas las regiones agrícolas del país colectando y caracterizando cientos de muestras de maíces, frijoles y otras plantas nativas, a partir de lo cual creó lo que sería una de las colecciones de germoplasma más importantes de la época.

Una pieza fundamental del pensamiento xolocotziano tiene su origen en estas experiencias con los programas de intervención agrícola. Las discrepancias entre las «mejoras» propuestas para la producción y los problemas que detectaba la gente campesina hacían evidente la necesidad de plantear soluciones de otra índole, con otros principios y otra metodología; para ello, era necesario incluir a los campesinos y las campesinas, no como receptores pasivos de estas intervenciones, sino como agentes principales en la identificación de sus necesidades agrícolas y



las del territorio. Aún más, Hernández Xolocotzi señaló que era necesario escuchar a estas voces, campesinas y ancestrales, en el proceso científico que, idealmente, precedía y daba pie a las políticas públicas. En otras palabras, había que hacer etnoecología. En su estudio ecológico de la tecnología agrícola tradicional (TAT) y su germoplasma se aprecia el impulso primordial por desarrollar esta ciencia; dicho enfoque puede rastrearse desde sus colectas de 1945 y su primer informe para la OEE sobre las condiciones ecológicas del estado de Chiapas en relación con la colecta de material genético (Hernández X., 1945, citado por Caire-Pérez, 2016, p. 100).

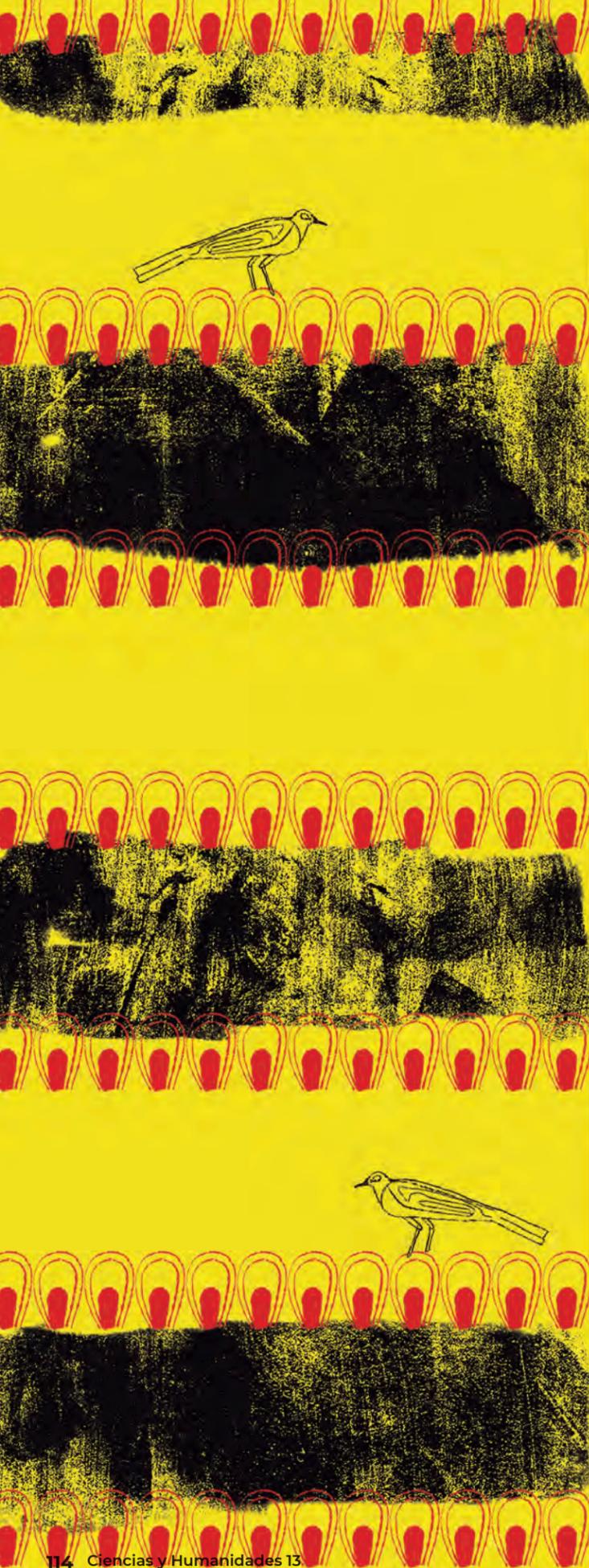
De 1948 a 1949 estudió una maestría en Biología en la Universidad de Harvard, con una beca de la Fundación Rockefeller. Su tesis, *Graneros de maíz en México* (Hernández X., 1949), consiste en un trabajo etnoecológico que revela plenamente su enfoque de frontera: integra evidencia arqueológica, etnohistórica y etnográfica con sus observaciones de las características y distribución de los graneros (una TAT de la milpa) para aportar una hipótesis de índole evolutiva: «las culturas indígenas han actuado en parte como mecanismos aislantes favorables para la producción y mantenimiento de ecotipos de maíz» (Hernández X., 1949, p. 153).

Después de más de siete años de colectas sistemáticas realizadas por colaboradores de la OEE, en 1951 se publicó la obra fundamental *Las razas de maíz en México, su origen, características y distribución* (Wellhausen et al.). Del análisis ecogeográfico y morfológico de esas muestras, que dirigió Hernández Xolocotzi en colaboración con los afamados genetistas Paul C. Mangelsdorf y Edwin J. Wellhausen, surgió la clasificación de nuestras razas de maíz, se sentaron las bases para estudiar el proceso evolutivo que ha llevado a su enorme diversi-



dad y se establecieron los fundamentos científicos para reconocer la importancia de la conservación de su germoplasma. De esta forma, la etnoecología que nos heredaría alertó que la introducción de transgénicos a los agroecosistemas del país sería catastrófica, no por la controversial suposición de que su consumo podría ser dañino, sino por el impacto que tendría en el germoplasma y su amplísima diversidad. El trabajo de décadas de biotecnología moderna podría dañar irreparablemente el esfuerzo biotecnológico ancestral de milenios a partir de la selección humana. Esto afectaría al mundo entero, no sólo a México, dada la importancia agrícola del maíz. Ambos tipos de biotecnología, el moderno y el ancestral, pueden hacer contribuciones significativas; pero es imprescindible reconocer —como diría el maestro Xolo— las limitantes y amplitudes de ambos.

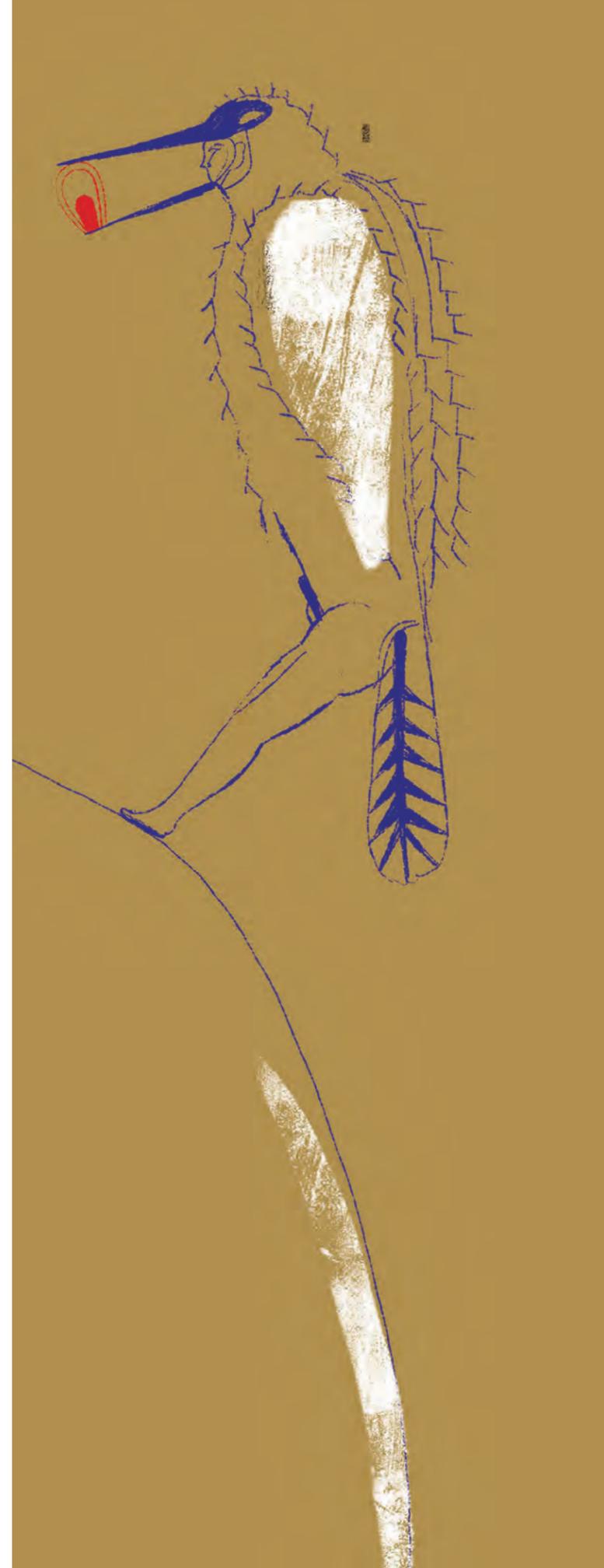
Finalmente, en 1953 inició su fructífera carrera de profesor-investigador en la Escuela Nacional de Agricultura-Chapingo, con una sólida formación académica transdisciplinaria y un amplio conocimiento directo de la agricultura tradicional y los pueblos originarios y mestizos que la practican. Ambas cosas lo habían llevado a una profunda admiración por los pueblos y las tecnologías agrícolas que han desarrollado en torno a la gran diversidad ecológica de nuestro territorio; también reconocía como característica distintiva de estas tecnologías que en su núcleo están la selección y el mantenimiento, activo, continuo y consciente, de una amplia diversidad inter e intraespecífica del germoplasma que manejan. Esto, junto con la crítica a los programas de intervención agrícola de la época, lo impulsó a entender a fondo las bases científicas de la TAT y, a partir de ellas, desarrollar el campo de estudio, siempre considerando en el centro a los seres humanos y el respeto



por su cultura. Esta convicción, anclada en la empatía e identificación que sintió por nuestros pueblos, al haber reconectado desde joven con sus propias raíces, lo llevó a proponer su enfoque xolocotziano con metodologías y preguntas que traspasan las fronteras disciplinares y articulan a las ciencias naturales no solamente con las sociales y el humanismo, sino también con los saberes tradicionales.

Formado en universidades donde pudo desplazarse con naturalidad entre múltiples disciplinas, como profesor de la Universidad Autónoma Chapingo (transformada desde 1974), y en el Colegio de Postgraduados (CP), procuró darnos la misma facilidad a sus estudiantes. Fue ahí donde los dos primeros autores de este artículo conocieron a Hernández Xolocotzi, y bajo su influencia y dirección hicieron sus tesis de licenciatura y maestría entre 1977 y 1985. Además, aprendieron cómo él evitaba la enseñanza libresca y promovía «La investigación de huarache» (Hernández X., 1979) con la gente que lleva a cabo las acciones y estudia «los fenómenos directamente en su medio ecológico» (Hernández X., 2014, p. 22). Frente al enfoque de las comunidades campesinas como receptoras pasivas de la Revolución Verde, se comprometió a darnos una educación alternativa, centrada en el estudio de la TAT:

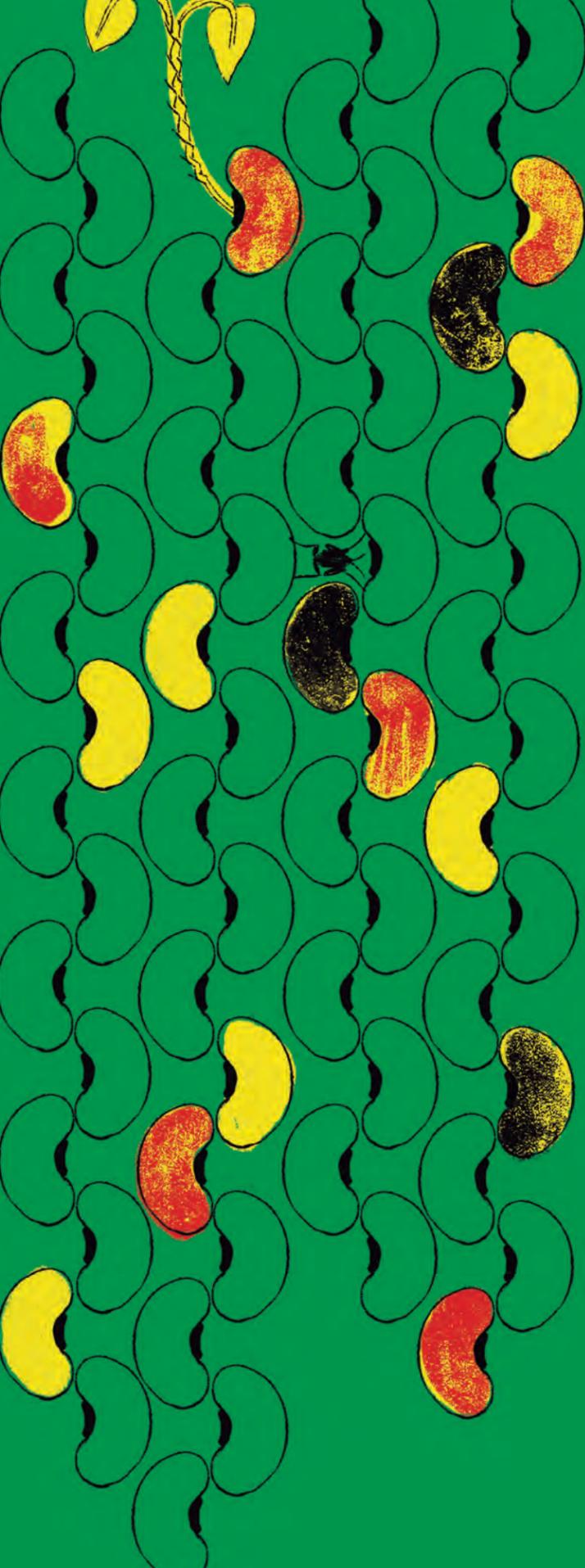
En este enfoque los agricultores juegan un papel central como gestores, receptores y transmisores de técnicas de producción agrícola integral y como conservadores de una cosmovisión que es conveniente aproximar a la cosmovisión occidental científica en el esfuerzo de buscar nuevas opciones de solución a problemas agrícolas actuales. (Hernández X., 2014, p. 21)



Su concepto amplio y novedoso sobre la agricultura como «el manejo humano de los recursos naturales» (Colunga y Zizumbo, 2009, párr. 4), en un gradiente que abarca desde las prácticas incipientes de mejoramiento del ambiente y una selección poco estricta del material cuya propagación se favorece, hasta la TAT definida como «los elementos culturales emanados del conocimiento empírico acumulado por las etnias rurales durante miles de años» (Colunga y Zizumbo, 2009, párr. 4), es decir, sus adaptaciones culturales a múltiples y diversos ecosistemas, lo llevó a plantear el análisis de la TAT como el centro del estudio de la interrelación humano-planta. En esta nueva línea de investigación fue abordando, junto con estudiantes y colaboradores de muy diversas especialidades, los temas en una forma cada vez más integral y ubicando sus aportaciones «en las fronteras de investigaciones nacionalistas en sus objetivos y organización» (Hernández X., 2014, p. 20). En la década de 1970, este enfoque se consolidó en el concepto de agroecosistemas y agroecología en el estudio de la TAT (Hernández X., 1977; Hernández X. y Ramos, 1977) y tuvo un efecto transformador en las ciencias de nuestro país, además de un gran impacto social y cultural de largo aliento.

En 1968 propuso llamar al campo de estudio etnobotánica, como el nombre que desarrollaría en sus clases del CP, y lo dividió en dos áreas:

- 1 Registro de la experiencia empírica de las culturas indígenas en el uso de los recursos vegetales.
- 2 Estudio de los mecanismos de selección bajo domesticación (Hernández X., 2014).

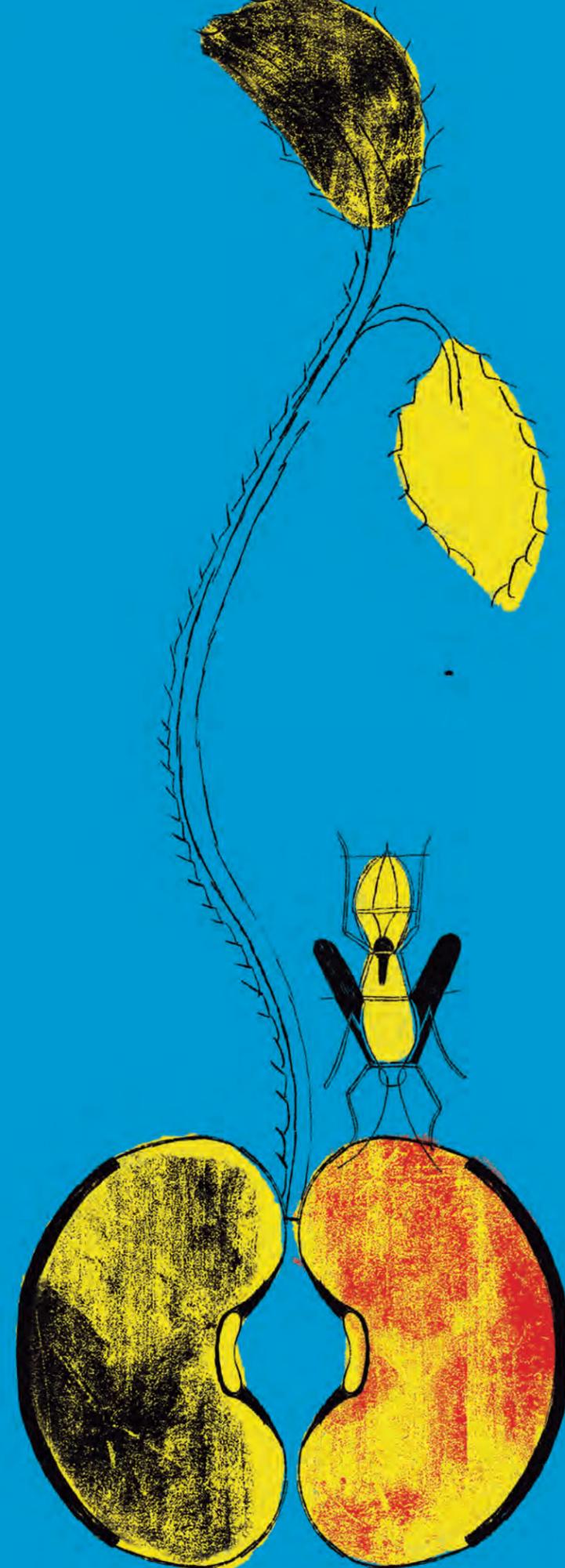


Sus reflexiones sobre el curso, recuperadas por Caire-Pérez (2016), muestran claramente su enfoque, al que ahora llamaríamos etnoecología.

Parece ser que si comenzamos con la consideración del hombre y su cultura [...] la relación del hombre y las plantas nunca asume su propia dimensión y pronto nos perdemos nosotros mismos en las creencias de los hombres, sus miedos y fantasías, de modo que su lugar en el ecosistema nunca es entendido. Debemos, por esta razón, comenzar con la realidad más grande, el ecosistema y de ahí analizar al humano y las plantas. Visto desde este punto de vista, el curso [i. e. etnobotánica] revisará el papel de los hombres en el ecosistema y las consecuencias de las numerosas interacciones establecidas. La búsqueda de las raíces biológicas de estas relaciones nos deberá llevar al entendimiento que servirá [,] en su momento [,] a clarificar las tendencias futuras. (Hernández X., 1970, citado por Caire-Pérez, 2016, p. 280)

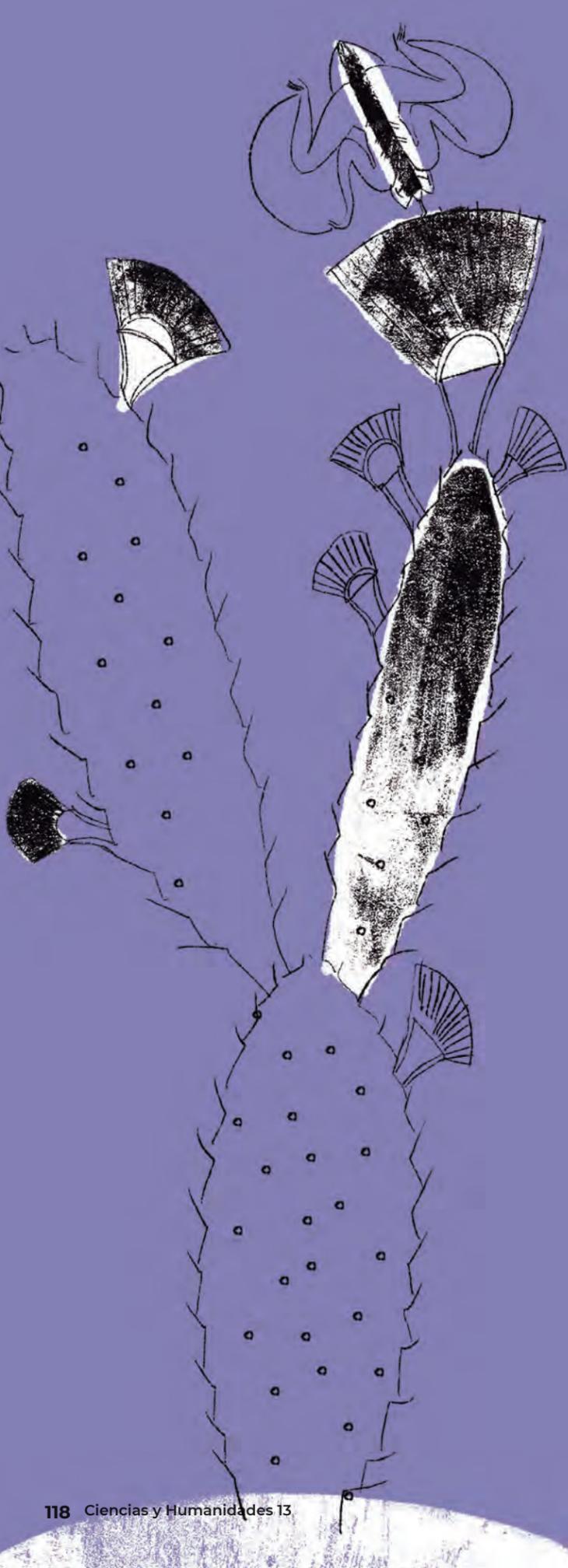
Esta cita es la más reveladora acerca de la esencia teórica del enfoque xolocotziano; sus ideas se encuentran desarrolladas de manera más completa en la obra *Exploración etnobotánica y su metodología* (Hernández X., 1971). Para concluir, cabe enfatizar que las novedosas metodologías y los conceptos que usó el maestro Xolo nos han permitido avanzar en nuestro entendimiento de dos fenómenos esenciales para México y el mundo:

- 1 La TAT practicada por los pueblos originarios y mestizos de nuestro país, cuyo agroecosistema emblemático es la milpa.
- 2 Los procesos evolutivos mediante los cuales esta tecnología ha dado origen a una de las



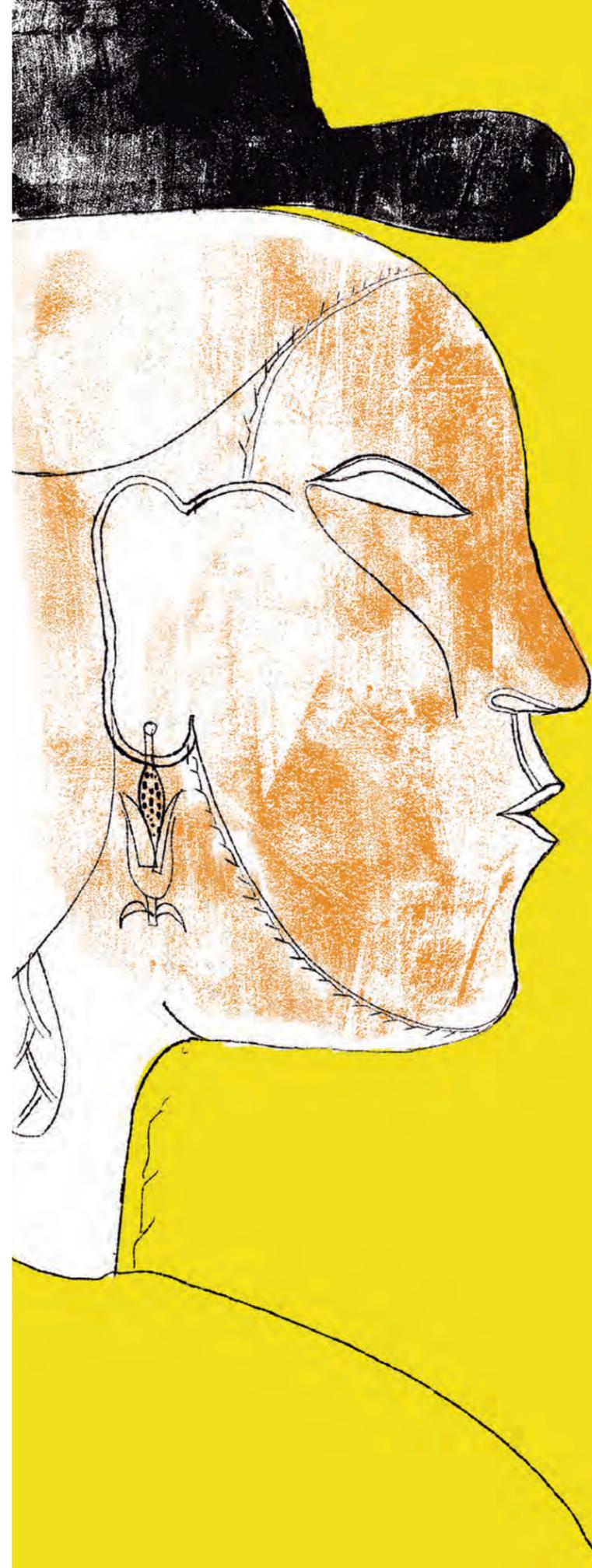
agrodiversidades más altas y trascendentales en la alimentación mundial y —muy importantemente— la sigue manteniendo.

Efraím Hernández Xolocotzi inició sus investigaciones y labor docente a finales de la década de 1940 e inicios de la de 1950, cuando el Programa Agrícola Mexicano concebía a las comunidades campesinas tradicionales como receptoras pasivas del desarrollo agrícola que traería la Revolución Verde. Sus agudas e incansables críticas, así como los resultados de sus investigaciones y trabajos colaborativos ligados a la formación de una gran cantidad de especialistas, lograron abrir espacios en instituciones estatales, universidades, centros de investigación y asociaciones civiles desde donde se impulsan programas de investigación y desarrollo bajo principios éticos que promueven una identidad cultural que valore y desarrolle las aportaciones de los pueblos originarios y las poblaciones mestizas descendientes, impulse su crecimiento material con una conservación sostenida de los recursos naturales, y derive en el bienestar social, humano y desenvolvimiento cultural de estas poblaciones tradicionalmente marginadas, desposeídas y explotadas (Colunga y Zizumbo, 2009). Así fluyó su impacto en la cultura popular y política de nuestra sociedad, en donde ahora se dice de manera natural que «Sin maíz no hay país»; gracias a sus aportaciones sabemos que, para atender nuestra soberanía alimentaria, las políticas públicas deben volver los ojos a la milpa y a las manos campesinas que desarrollan, mantienen y siguen dando futuro a una gran diversidad de plantas nativas cultivadas y sus agroecosistemas, patrimonio de las y los mexicanos y del mundo entero.



Referencias

- Caire-Pérez, M.** (2016). *A different shade of green: Efraim Hernández, Chapingo and Mexico's Green Revolution, 1950-1967* [tesis de doctorado]. University of Oklahoma.
- Colunga García-Marín, P. y Zizumbo Villarreal, D.** (2009). Pilar de la etnobotánica mexicana. *La Jornada del Campo*, 27. <https://www.jornada.com.mx/2009/12/12/maiz.html>
- Gómez-Pompa, A.** (1993). Las raíces de la Etnobotánica Mexicana. *Acta Biológica Panamensis*, 1, 87-100.
- Hernández X., E.** (1945). Initial Survey of Chiapas in Connection with the Acquisition of Genetic Material for Experimentation. *Archivo EHX*. Colegio de Postgraduados.
- _____ (1949). Maize Granaries in Mexico. *Botanical Museum Leaflets*, 13(7), 153-211.
- _____ (1971). *Exploración etnobotánica y su metodología*. Colegio de Postgraduados/Escuela Nacional de Agricultura.
- _____ (1977). El agroecosistema, concepto central del análisis de la enseñanza, la investigación y la educación agrícola en Méxco. En E. Hernández X. (ed.), *Agroecosistemas de México* (pp. 15-19). Colegio de Postgraduados/Escuela Nacional de Agricultura.
- _____ (1979). La investigación de huarache. *Narxhí-Nandhá*, 8/9/10.
- _____ (1987). Experiences Leading to a Greater Emphasis on Man in Ethnobotanical Studies. *Economic Botany*, 41(1), 6-11.
- _____ (2014). *Xolocotzia: obras de Efraim Hernández Xolocotzi* (dos tomos, edición conmemorativa de las obras publicadas en 1985 [tomo 1] y 1987 [tomo 2] en la *Revista de Geografía Agrícola*). Universidad Autónoma Chapingo.
- _____ **y Ramos, R. A.** (1977). Metodología para el estudio de agroecosistemas con persistencia de tecnología agrícola tradicional. En E. Hernández X (ed.), *Agroecosistemas de México* (pp. 321-333). Colegio de Postgraduados/Escuela Nacional de Agricultura.



- Miranda, F. y Hernández X., E.** (1963). Los tipos de vegetación de México y su clasificación. *Bol. Soc. Bot. Méx.*, 28, 29-179.
- Piñero, D. y Sarukhán Kermez, J.** (2011). Deriva génica, selección natural, coalescencia y restricciones evolutivas en el Instituto de Ecología. *Ciencias*, 103, 70-77.
- Wellhausen, E. J., Roberts, L. M. y Hernández X., E. (con Mangelsdorf, P. C.).** (1951). *Razas de maíz en México, su origen, características y distribución* (folleto técnico núm. 5). Oficina de Estudios Especiales, Secretaría de Agricultura y Ganadería.

Ciencia básica y de frontera

Monto ministrado a proyectos de ciencia básica y de frontera (CBF) e infraestructura, 2019-2024*

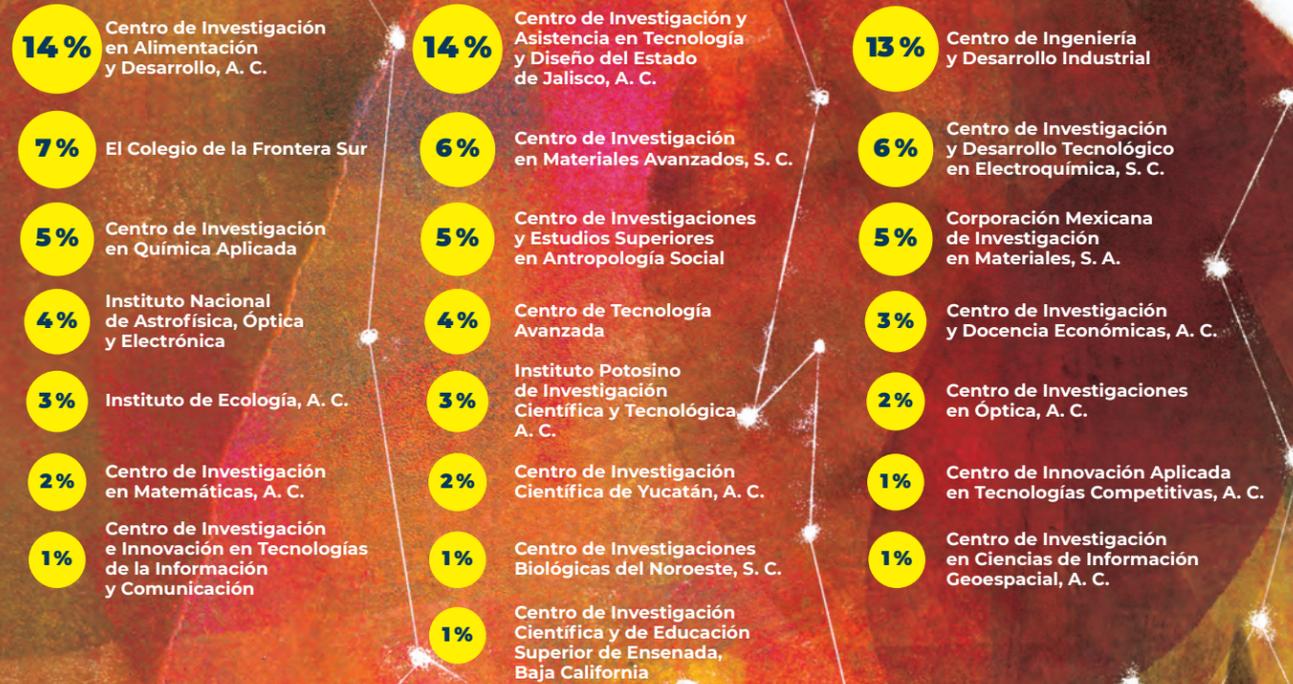


Participación pública y privada en proyectos de CBF



Fuente: Conahcyt (2024). Informe trimestral al 1er trimestre de 2024.
*Incluye el monto ministrado a proyectos de CB de 2013 a 2016. 1 946 proyectos de CBF.

Participación en el total de proyectos en desarrollo tecnológico e innovación (DTI) por CP Conahcyt



3 013.4 mdp ministrados

509 proyectos

En el eje de desarrollo tecnológico de vanguardia e innovación soberana para el bienestar

Fuente: Conahcyt (2024). Informe trimestral al 1er trimestre de 2024. Total de proyectos desarrollados por los CP Conahcyt: 108. Se incluyen proyectos y montos contabilizados en Pronaces, ciencia básica y de frontera e infraestructura científica que tienen un componente de DTI.

Siete notas sobre el arte como conocimiento y acción transformadora



José Miguel González Casanova Almoína
Profesor de la Facultad de Artes y Diseño, Universidad Nacional Autónoma de México.

Primera. La vida es un proceso abierto de significación del mundo; dicha apertura implica una estética y ampliación de la percepción, la conciencia y la voluntad. El crecimiento del ser se relaciona con la realidad que propicia esa extensión de nuestros modos de vida por la adhesión a las experiencias de otras personas mediante modelos sensibles, que al consumirse (interpretarse) abren posibilidades de valoración desde otra perspectiva. Por lo tanto, el arte es un activador cultural. De hecho, el signo artístico modela realidades culturales y experiencias intersubjetivas, las reúne y les da identidad colectiva (en la celebración), razón por la cual cumple un papel político que representa las experiencias de vida y permite un intercambio de tiempos (modelos de experiencia), con lo que conforma una economía.

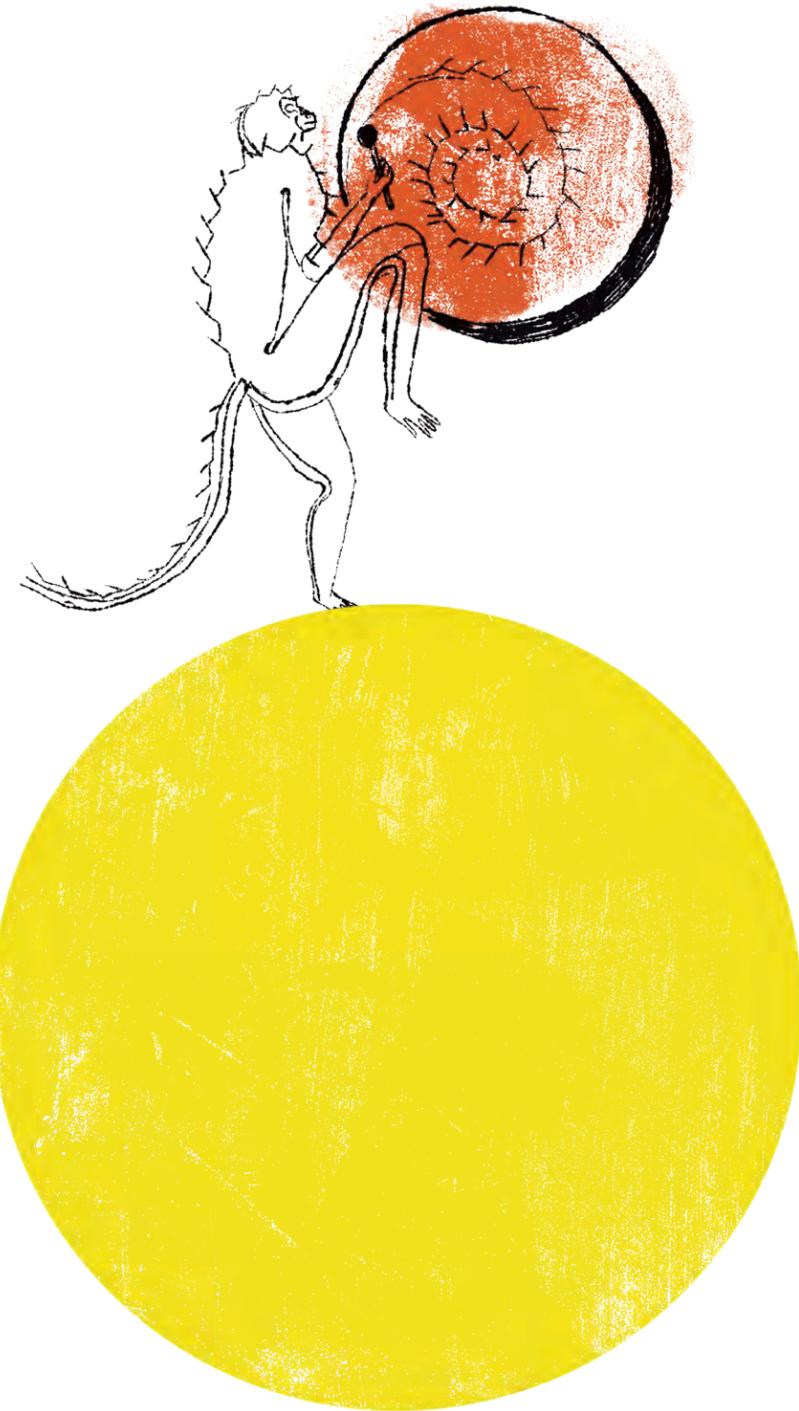
Segunda. Las culturas tienen un principio incluyente, integran toda la información y la ordenan en un sistema

de valores que determina las formas de vida comunes. De esta manera, son resultado de procesos históricos que sustentan la movilidad al ampliar el campo de comunicación-significación de la experiencia; es decir, por un lado, la cultura se atiene a la institución de tradiciones y esquemas de valores, y, por el otro, se abre a la creación de nuevos modelos que ofrecen una mejor calidad de vida o, por lo menos, una información que diversos sectores sociales pueden aprovechar para construir y usar como medios de vida. Las culturas tienden a expandirse por medio de la comunicación, pues un aumento de información siempre amplía las perspectivas de lo posible.

Tercera. Claro que hay culturas dominantes (que imponen sus valores), como son las culturas conquistadoras, asociadas al control de la economía y a los órdenes políticos que gobiernan el mundo. Sin embargo, en el terreno cultural, por principio se intercambian

todo tipo de signos que, aunque tienen sistemas de valoración establecidos, muchas veces son aceptados e integrados específicamente por lo que significan, por su valor cualitativo como novedad en la conciencia colectiva. En numerosas ocasiones esos signos (esa información) al integrarse contradicen o amplían la estructura cultural. El encuentro conlleva una hibridación y un incremento de la diversidad de informaciones que conforman esa identidad cultural; dichos signos y formas de intercambio se mueven en flujos heterogéneos, con procesos tan múltiples y complejos como la experiencia humana. Por ello, las culturas no pueden controlarse totalmente por un único sistema de valoración y de intercambio, a pesar de que incidan los modelos económicos y políticos imperantes. Los complejos culturales reúnen formas de vida que se aprehenden en contextos educativos y familiares; son modelos que rigen nuestras comunicaciones





verbales y no verbales, que ordenan nuestra percepción, conciencia, emociones, deseos... Cada sujeto, cada persona, es resultado del cruce de informaciones que le dan identidad y conciencia en el mundo en el que vive.

Cuarta. Desde la tradición occidental se entiende al arte como una disciplina; etimológicamente, proviene de «hacer» y del griego *téchnê* —«técnica»—, por lo que se define como la manera del hacer, vista como habilidad o profesión. Las técnicas para elaborar y comunicarse con sus consumidores producen significaciones (Benjamin, 2004); este aspecto en el arte se trata de la imaginación técnica que abre nuevas relaciones, una actividad creativa que siempre ensancha su campo de acción y que, por lo mismo, no puede ajustarse a una definición preestablecida. No es lo aparecido sino el aparecer, algo nuevo que quizá intuíamos y ahora sabemos, un acontecimiento en el mundo: el estado de

excepción que reconoce una experiencia extraordinaria en el ordinario cotidiano, que presenta lo innombrable y lo bautiza (Heidegger, 1973).

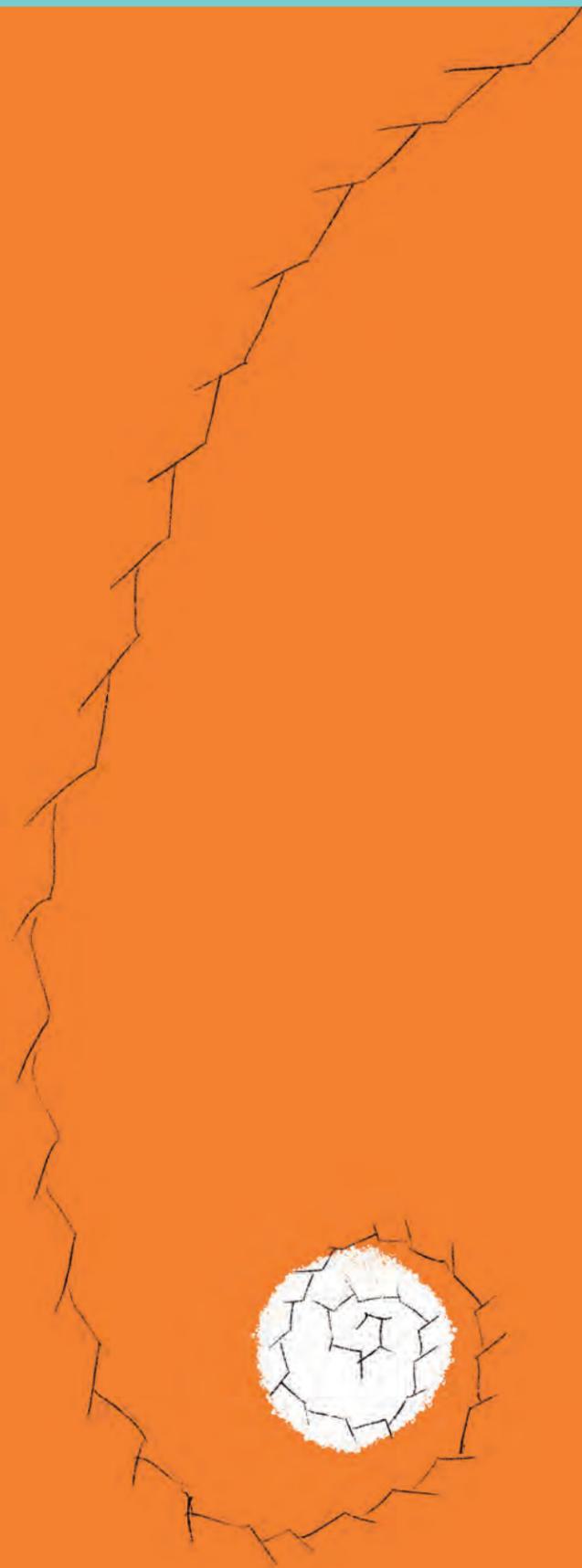
El arte convoca lo heterogéneo y nombra la diversidad de las particularidades; representa una experiencia específica que al ser compartida inaugura un lugar común. Por ejemplo, todas las personas que contemplamos un color determinado y único en un cuadro compartimos esa experiencia subjetiva, pues la percepción de esa combinación cromática le puede despertar a cada quien sensaciones, evocaciones y asociaciones personales, pero partiendo de una experiencia común de percibir esas tonalidades. El arte genera un lugar compartido en el que nos comunicamos y lo hace estableciendo un espacio otro, autónomo, extraordinario, cuyo orden no se subordina al mundo, sino que inventa sus propias reglas. De manera relacionada, Giordano Bruno escribió: «La poesía no nace de

las reglas, sino que las reglas derivan de la poesía; y así, existen tantas normas cuantos son buenos los poetas» (citado en Hauser, 1962, p. 528).

Quinta. Cada obra de arte es un artefacto que presenta una vivencia particular, que en sus lecturas multiplica su significación. Es un signo encarnado en alguien que lo interpreta, que no tiene otro significado que la suma de lecturas que de éste se hacen en el mundo. Desde una imagen, propone forma y ritmo que se percibe, así que con ella comprendemos una identidad sensible. Por eso decimos que crea un lenguaje, pues cada obra en sí se establece como nombre de su propia experiencia. Pero su significación puede cambiar de acuerdo con el contexto en el que se interpreta y, obviamente, no tiene ningún significado si nadie la percibe; es un instrumento que requiere ser usado para adquirir sentido. Por ello, el arte no se entiende como la mera producción de signos, sino como un

proceso que a la vez integra su consumo e interpretación, lo que le da significación; para comprenderlo hay que considerar quién y cómo se enuncia, desde dónde se inicia su proceso comunicativo, así como cuáles son los medios por los que circula, cómo es el contexto en el que se interpreta, y quiénes participan de su recepción y lectura. Es decir, para mantenerse en su pulsión creadora, y no ser la imposición de la representación de un modelo de sensibilidad que repite pasivamente estereotipos culturales, como imposición vertical del poder (Rancière, 2002), el arte debe desarrollarse como un ejercicio de creación por parte de los públicos que le dan lectura, y muchas veces a partir de la misma generación de esos públicos; así, es un sistema de autorrepresentación y comunicación de identidades sociales que se integran en torno a una experiencia común.

Sexta. El arte crea comunidad, de manera que no sólo reitera las identidades comunitarias



establecidas, sino que reúne subjetividades en su experiencia sensible, conforma un lugar común, un espacio abierto de interpretación social, genera comunicación, se establece en el mundo, circula y se presenta en contextos sociales específicos en los que es percibido e interpretado desde ciertas posturas culturales, ambientales y socioeconómicas. Las comunidades y las redes intersubjetivas en donde se mueve el arte les dan sentido a las obras, que constituyen un acontecimiento extraordinario en el mundo: el ingreso de un nuevo saber, el reconocimiento en cada contexto de una identidad que no se había distinguido. Así, el arte comunica haciendo lo común; visibiliza las identidades.

Séptima. En coherencia con la pulsión creativa que lo define, el arte puede posicionarse en la identidad del bien común y de la institución de un mundo más justo y creativo, incluyente y equilibrado. El arte multiplica la diversidad.

Los límites del arte están dados por las posibilidades de acceso que ofrece en sus diversas formas de circulación y capacidad de contextualización, en relación con su propia forma estética que en sí misma no es significativa, pero que desde la mirada de las demás personas adquiere toda su significación. De esta manera, le otorga una imagen a la diversidad y cultiva la cultura heterogénea; siembra y distribuye la cosecha. Así, el arte cultiva culturas.

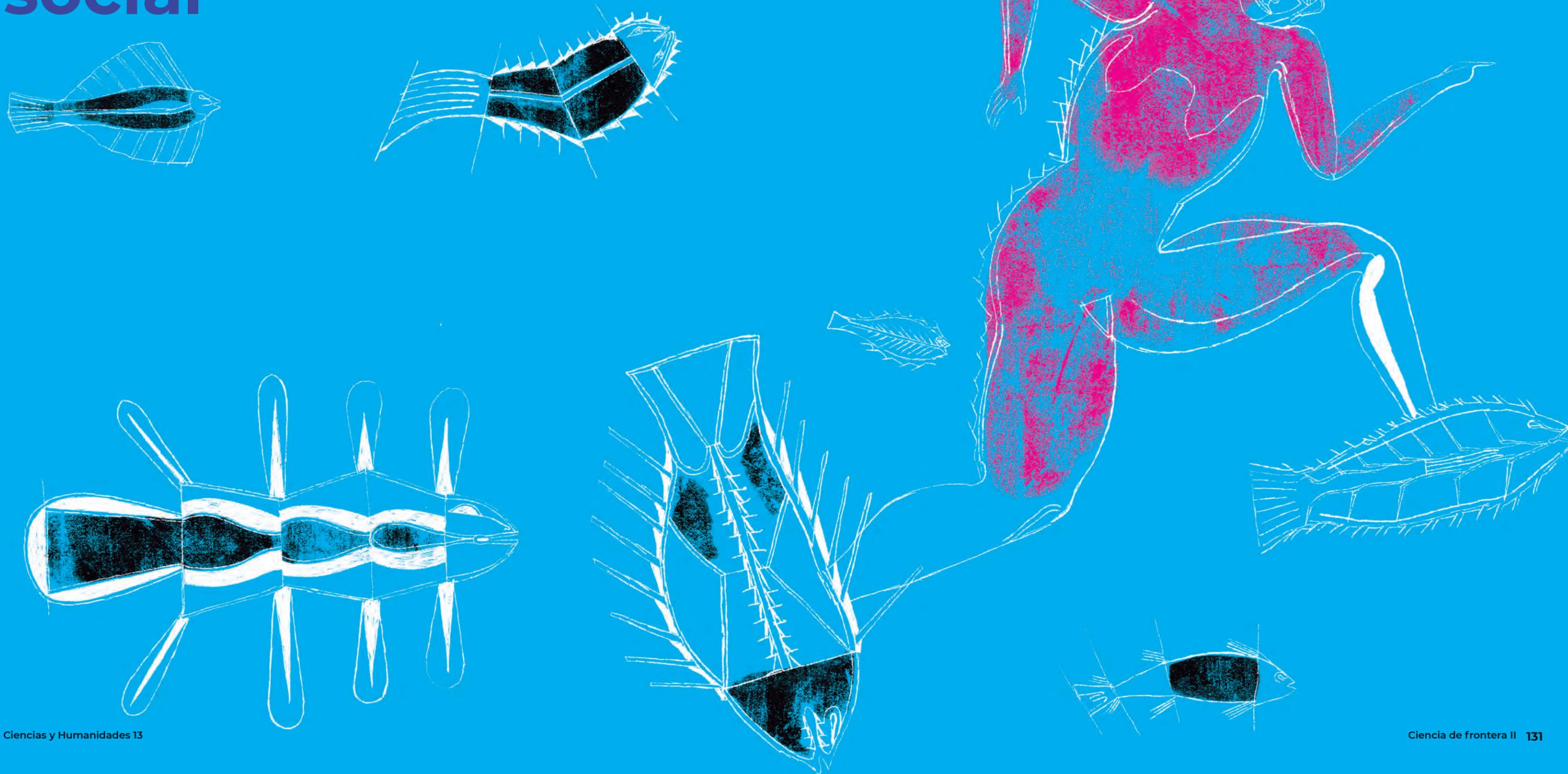


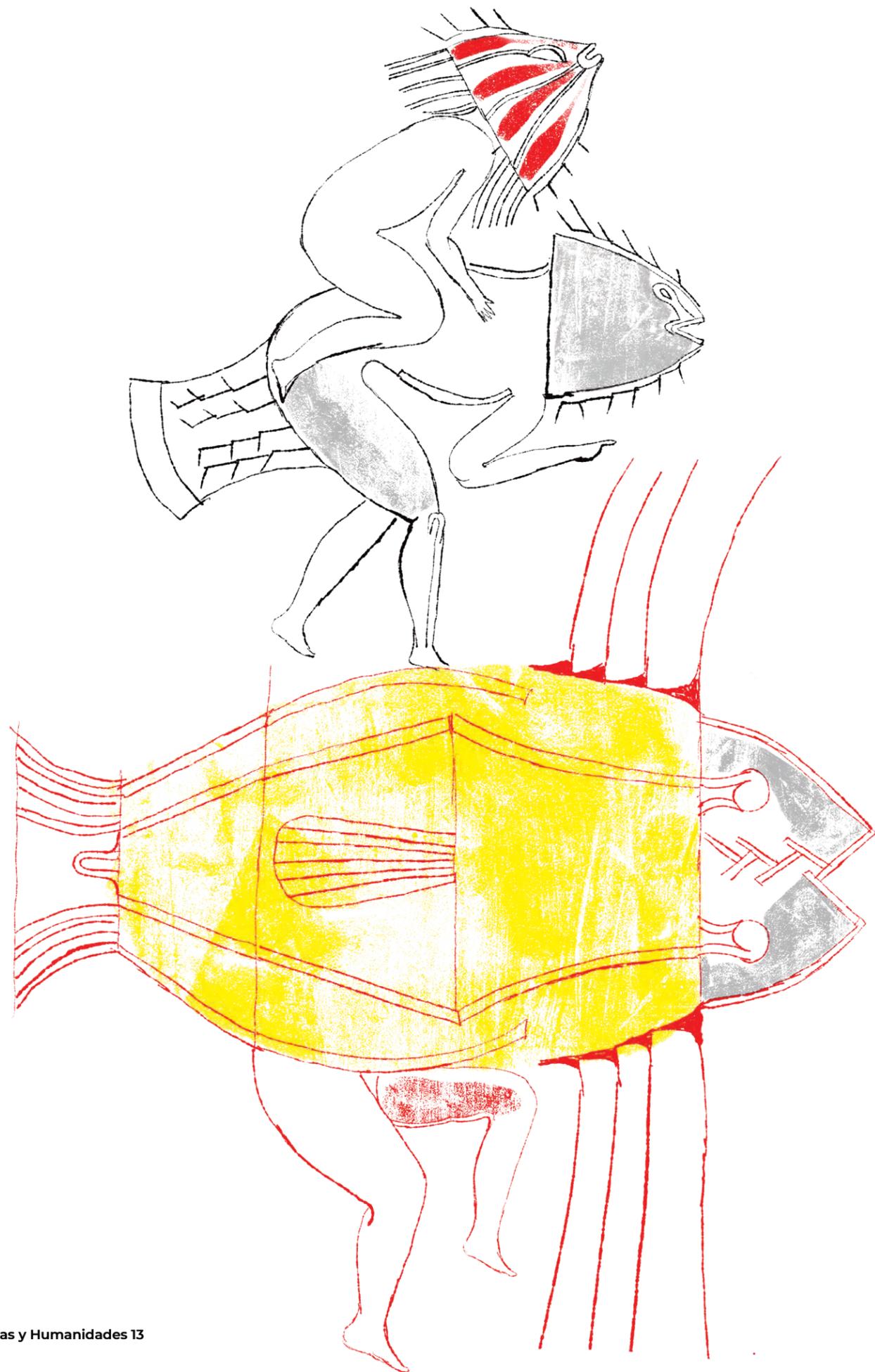
Referencias

- Benjamin, W.** (2004). *El autor como productor*. Editorial Ítaca.
- Hauser, A.** (1962). *Historia social de la literatura y el arte* (vol. 1). Guadarrama.
- Heidegger, M.** (1973). *Arte y poesía* (Breviarios #229). Fondo de Cultura Económica.
- Rancière, J.** (2002). *La división de lo sensible. Estética y política*. Centro de Arte de Salamanca.

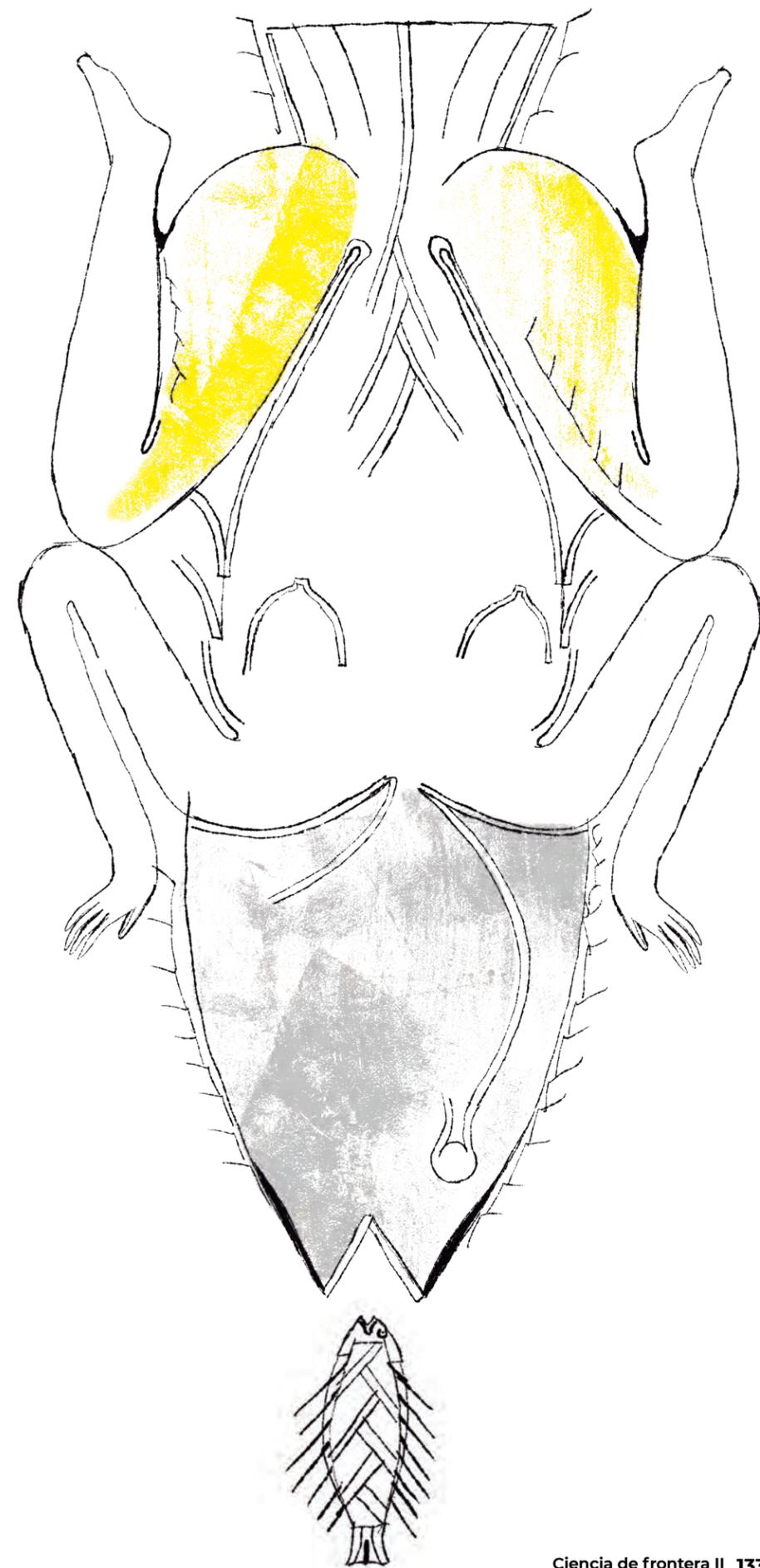
Orientar la ciencia para el bienestar social

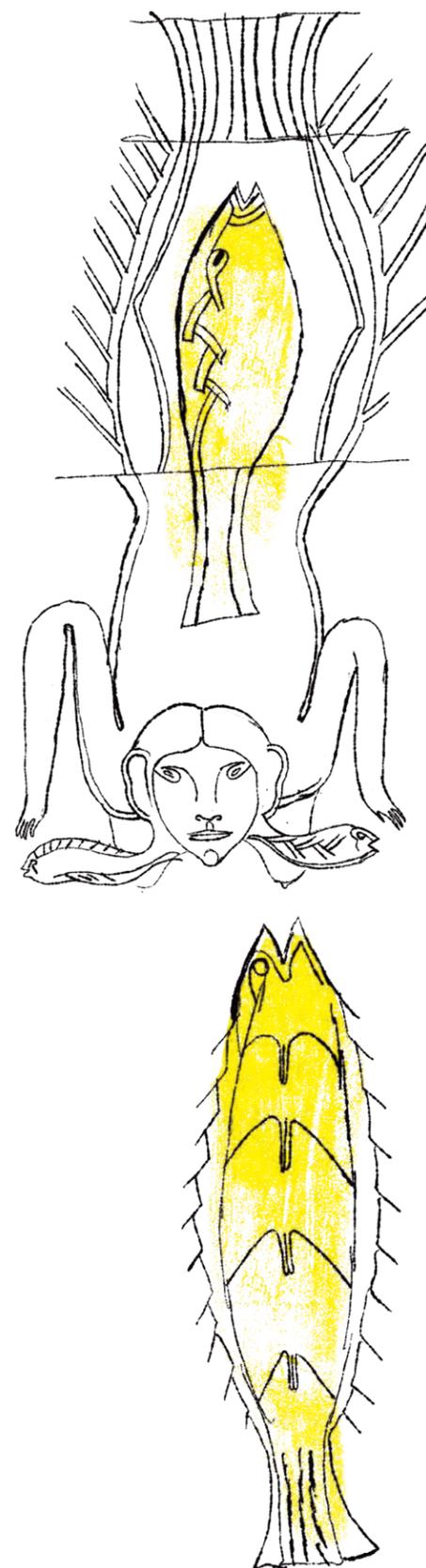
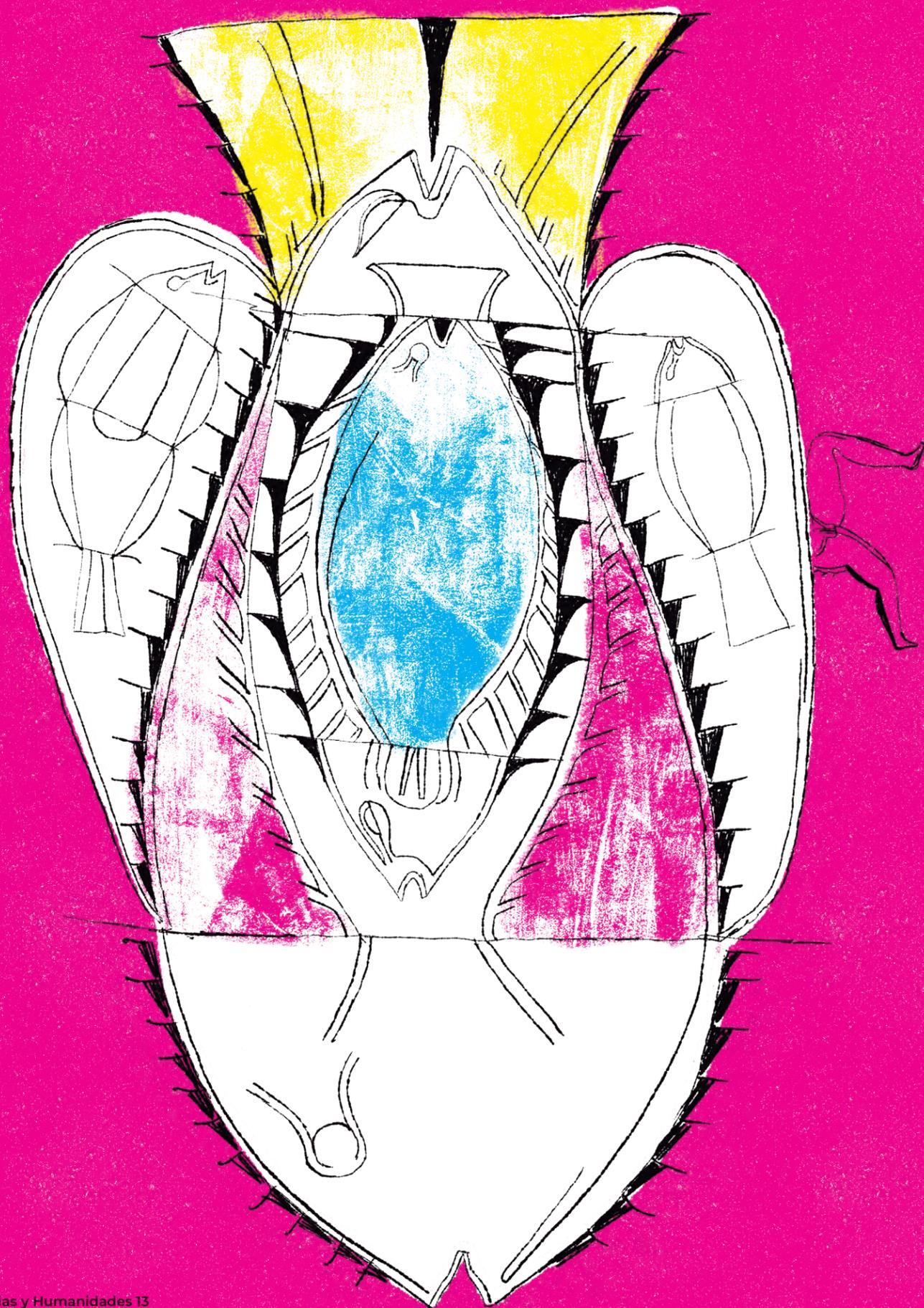
Lenia Batres Guadarrama
Ministra de la Suprema Corte de Justicia de la Nación, ex consejera adjunta de Legislación y Estudios Normativos de la Consejería Jurídica del Ejecutivo Federal.





La nueva Ley General en materia de Humanidades, Ciencias, Tecnologías e Innovación es una normativa que tiene mucho valor desde distintas perspectivas. En el ámbito de la ejecución, conforma un instrumento anticorrupción para la operación del conjunto de instituciones que participan en investigaciones académicas y los Centros Públicos que coordina directamente el Conahcyt. Con una visión ética, pone fin al anterior modelo que generó la oportunidad para desviar recursos poniendo como pretexto el impulso a la ciencia, a tal grado que ordenó un porcentaje como tope mínimo a la inversión en la materia —el único contemplado en la legislación—, que fue aprovechado para trasladar recursos públicos a empresas privadas, incluso transnacionales. Y desde el ángulo jurídico, es una ley que reconoce el derecho humano a la ciencia, con el objetivo de resguardar los recursos públicos para





que sean utilizados en la investigación académica y para el sustento o la creación de nuevas instituciones públicas de educación superior.

Entonces, esta Ley tiene un valor muy importante como instrumento anticorrupción y como mecanismo de recuperación de recursos para el pueblo de México. Además, por primera vez y de una manera que ni siquiera las y los legisladores notaron en su momento, se hizo una reforma que al mismo tiempo tuvo dos objetivos: reconocer el derecho humano a la ciencia e impulsar el contenido de un tipo de ciencia que no existía en nuestra Constitución, orientada y comprometida con el desarrollo, la población, las comunidades y las necesidades del país. Ya no se trata de sólo hacer ciencia por sí misma; ahora, con la reforma constitucional, el Congreso fue llamado a promulgar una legislación que generara o garantizara la creación de una ciencia para el bienestar social.

Por un lado, esta Ley garantiza el derecho a la

ciencia para todas y todos los mexicanos; por otro, obliga al Estado a promover y hacer ciencia para el desarrollo del país y del pueblo. Éstos son dos de los grandes objetivos en México: promover este derecho humano y fomentar el desarrollo para el bienestar nacional.

En realidad, el modelo de esta Ley implicó una nueva forma de legislar y de darle contenido a las obligaciones del Estado. Lo que sigue es impulsar la renovación de la teoría jurídica en México y el desarrollo de una teoría del derecho que se encuentre a la altura de la transformación del presente. Sin duda, es un reto maravilloso, y esta legislación sienta las bases para que así sea, de modo que se desee su vigencia y mejora por décadas.

Dirección Adjunta de Desarrollo
Tecnológico, Vinculación e Innovación
Coordinación de Repositorios,
Investigación y Prospectiva
Conahcyt.

Aplicación del conocimiento en la resolución de problemáticas nacionales

La generación de nuevo conocimiento y su aplicación en soluciones que atiendan las necesidades sociales, ambientales y los complejos retos que enfrenta la humanidad es fundamental para lograr el bienestar para todas y todos, además de que fomenta la soberanía científica y tecnológica de nuestro país. En este proceso, cada paso para llegar a estas soluciones innovadoras es importante y requiere de la interacción de diversos actores que generen un ecosistema de innovación virtuoso para México.

Es así como mediante la articulación del gobierno, la academia, la industria, la sociedad y el ambiente, desde el Conahcyt se promueve el Modelo Mexicano de Innovación Soberana para el Bienestar, por medio del cual se han generado diversas soluciones que inciden en la atención de los retos prioritarios para el país tomando como base la innovación abierta y su transformación en aplicaciones para atender problemáticas nacionales de salud, seguridad humana y energía.

Salud: stent mexicano liberador de fármaco

Los padecimientos cardiovasculares de la población, en particular la cardiopatía isquémica, son responsables de más de 170 000 muertes al año en

México (Secretaría de Salud, 2022) y representan un costo de muchos millones de pesos para el sistema de salud pública, ya que para atenderlos se requiere de una intervención quirúrgica para el implante de un *stent* coronario liberador de fármaco. Por ello, el Instituto Nacional de Cardiología «Ignacio Chávez», en coordinación con el Conahcyt, ha redoblado esfuerzos para el diseño y desarrollo del primer *stent* mexicano liberador de fármaco, el cual debe cumplir con los estándares nacionales e internacionales más altos para garantizar su calidad y seguridad biomédica. Con este desarrollo 100% mexicano, se podrán generar ahorros para el erario y contar con más unidades para atender la demanda en el sector público; además de que será posible incrementar la innovación de dispositivos cardiovasculares en México para llevar a cabo validaciones clínicas y preclínicas.

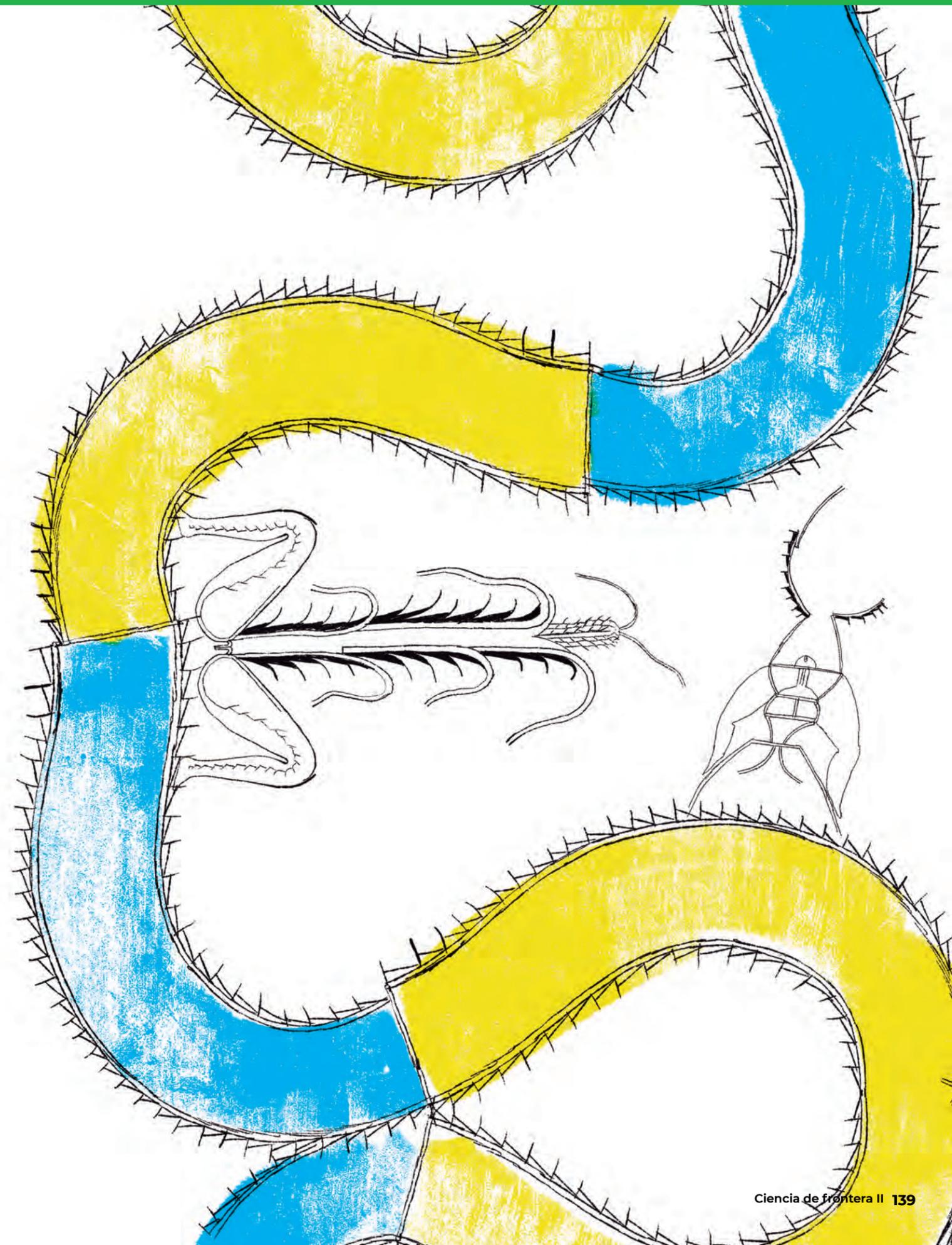
Energía: cadena de valor del litio

En el marco de un esfuerzo interinstitucional inédito, se construyen las bases científicas y tecnológicas para impulsar a nuestra industria nacional a lo largo de la cadena de valor del litio, conforme a los más altos estándares de cuidado ambiental. En el tema de exploración y prospectiva, se ha obtenido un modelo

sobre el origen para el estado de Sonora que servirá de guía para la exploración e identificación de afloramientos con alto contenido de litio. En materia del beneficio y la metalurgia extractiva, se desarrolla un proceso optimizado en el laboratorio, con bajo consumo de agua y energía, que permite generar sales de litio de alto valor, lo cual será la base de próximos escalamientos. Finalmente, respecto a las aplicaciones del litio, se construye el primer autobús eléctrico mexicano que se probará en diversas ciudades del país durante 2024, con el potencial de escalar su producción y brindar un vehículo nacional orientado al transporte colectivo, que es el más utilizado por la población mexicana; esto redundará en una sustancial mejora de la calidad del aire de las ciudades y contribuirá a hacer efectivo para la sociedad el goce de los beneficios de la ciencia y el desarrollo tecnológico.

Seguridad humana: bioinsumos

En la búsqueda de la soberanía alimentaria de nuestro país es fundamental reducir los impactos ocasionados por el uso desmedido de agroinsumos tóxicos, así como generar alternativas culturalmente adecuadas y seguras para la salud humana y el ambiente, que permitan mantener los rendimientos





en los cultivos y las ganancias para el campo mexicano. Por ello, el Conahcyt impulsa el desarrollo de bioinsumos agrícolas que contribuyen a mejorar las condiciones de los suelos, participan en el control de plagas y propician las condiciones adecuadas para elevar el rendimiento de los cultivos. Con este ecosistema de innovación fue posible establecer acciones desde la generación de conocimiento, a partir de la identificación de compuestos derivados de plantas y microorganismos, hasta su aplicación en la elaboración de formulaciones estables y su escalamiento para la producción a nivel industrial de un bioinsecticida, un bionematicida y tres bioherbicidas. Con estos trabajos se generan alternativas eficientes y seguras para la salud humana y el ambiente que, en conjunto con planes de manejo integral de cultivos, permitirán prescindir del uso de agroinsumos tóxicos.

Tecnologías de la información y las comunicaciones: Gestor de Mapas y Sistema de Diseño y Accesibilidad para la Investigación

En el camino hacia la soberanía científica y tecnológica nacional, garantizar el acceso universal al conocimiento resulta fundamental. Para esto, es importante impulsar la implementación de sistemas

que promuevan el acceso abierto al conocimiento generado, así como a sus aplicaciones, lo cual se ha logrado por medio de los Ecosistemas Nacionales Informáticos (ENI), que contribuyen a consolidar el conocimiento local y regional para atender los problemas prioritarios de México, al almacenar, procesar, analizar y difundir información humanística, científica y tecnológica.

Cada uno de estos ENI se articula con un Gestor de Mapas (Gema) y un Sistema de Diseño y Accesibilidad para la Investigación (Sisdai), ambas tecnologías nacionales altamente innovadoras. Por medio de Gema se tiene acceso a datos abiertos que corresponden a los resultados de las investigaciones publicadas en los ENI y permiten integrar información por medio de una infraestructura de conocimiento geoespacial que tiene estándares libres de derechos; esto transforma de manera radical los modelos tradicionales y establecidos, ya que, históricamente, la producción científica se ha compartido sobre todo en revistas especializadas, libros y artículos de investigación que conllevan un costo.

Por su parte, el Sisdai potencia el impacto social de los proyectos de

investigación al promover la autonomía e independencia tecnológica mediante el uso de componentes de software libre con el objetivo de garantizar el acceso a un sistema de diseño en el cual se establecen patrones conectados y prácticas compartidas, organizadas de manera coherente, para servir a los propósitos de un producto digital.

Reflexión

Con estos casos de éxito se puede confirmar que México cuenta con un modelo de innovación funcional que ha demostrado que es posible transformar el conocimiento científico en soluciones sustentables y aplicaciones capaces de incidir en los retos prioritarios del país por medio del desarrollo tecnológico y la innovación.

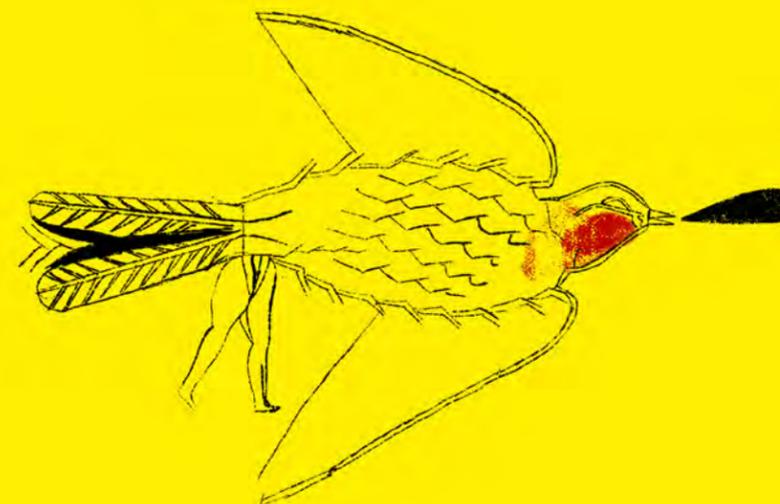
Referencias

Secretaría de Salud. (2022, 28 de septiembre). *Cada año, 220 mil personas fallecen debido a enfermedades del corazón.* (Comunicado de prensa 490). <https://www.gob.mx/salud/prensa/490-cada-ano-220-mil-personas-fallecen-debido-a-enfermedades-del-corazon>

Aprendizaje del inglés en la Sierra Norte de Puebla. Estrategias autónomas y descolonización



Colette Despaigne
Investigadora del posgrado en
Ciencias del Lenguaje
de la Benemérita Universidad
Autónoma de Puebla.





Durante la época colonial, las comunidades indígenas en todo el mundo vivieron procesos de exterminio, explotación, segregación y asimilación hacia la cultura dominante. En México, estas adversidades se reflejan en arraigadas creencias sobre las jerarquías sociales y étnicas, manifestadas hasta la fecha en desigualdades lingüísticas, educativas y laborales para las poblaciones originarias y rurales.

En el contexto de la ecología lingüística mexicana, por ejemplo, el dominio del inglés se percibe como un capital cultural asociado al poder y al estatus, ya que, según el discurso oficial, poseer una alta competencia en dicho idioma incrementa las oportunidades laborales y el nivel socioeconómico de las personas. Sin embargo, es crucial señalar que el inglés también está fuertemente vinculado con el imperialismo, la explotación y la discriminación, debido a extensos lazos sociohistóricos entre México y Estados Unidos. Asimismo, en la ecología lingüística se observa una clara discriminación hacia las y los hablantes de las 68 lenguas originarias, reconocidas como lenguas nacionales en

la Constitución mexicana, en tanto que etiquetarlas como dialectos, con el ánimo de insinuar que son inferiores, refleja de manera contundente el persistente impacto del periodo colonial en México (Despaigne, 2021).

Una aproximación en torno al aprendizaje del inglés

En 2013 se llevó a cabo un estudio de caso crítico en las microrregiones de la Sierra Norte de Puebla con 15 estudiantes que participaban en el programa Apoyo para el Desarrollo Educativo (ADE), diseñado para abordar el problema de rezago mediante becas del 100% que se les otorgaban a jóvenes para cursar estudios de educación superior en una universidad privada, referida como Universidad Autónoma (UA). Vale la pena resaltar que no todas las personas participantes se identificaron como indígenas; algunas eran bilingües o plurilingües en náhuatl, totonaco y español, mientras que otras eran monolingües en español. En varias ocasiones, las y los estudiantes se acercaron con la investigadora principal de este trabajo para expresar que tenían dificultades con

la materia de inglés, lo que motivó una indagación conjunta sobre las causas subyacentes en esta situación.

Partiendo de las teorías poscoloniales latinoamericanas que han permitido identificar patrones de relaciones de poder entre idiomas y culturas en la cotidianidad estudiantil, se analizó si los y las estudiantes se cuestionan acerca de las bases monoculturales y monolingüísticas del Estado-nación mexicano, los planes de estudio y las metodologías de enseñanza de la UA, así como las influencias globales del inglés en el contexto mexicano.

La investigación se centró en tres conceptos clave: legados coloniales, modernidad y colonialidad del poder. Walter Mignolo (2005) define los legados coloniales como relaciones persistentes desde el periodo colonial hasta la actualidad; con esto en mente, se evaluó si las y los estudiantes incorporan el discurso colonial en relación con las lenguas y jerarquizaciones culturales. En tanto, la modernidad se conceptualiza como racionalidad y pensamiento abstracto, lo que proporciona un marco para determinar si los y las estudiantes perciben



al inglés como el idioma de la modernidad. Por otra parte, la colonialidad del poder permite describir la actual relación entre México, Europa y América del Norte con el fin de explorar cómo las y los participantes del programa ADE perciben las relaciones de poder en su vida diaria y en las clases de inglés. En síntesis, estos conceptos brindan la posibilidad de indagar sobre las relaciones de poder y su influencia en la construcción de la identidad de los y las estudiantes.

Para ello, se procuró integrar los conceptos dentro de un marco metodológico basado en un estudio de caso crítico con el propósito de darles voz a las y los participantes y contraponerla al discurso predominante. Primero, se invitó a la totalidad de estudiantes del programa ADE a que asistieran a una reunión general en la que se expusieron los puntos clave de la investigación y se enfatizó la importancia de contar con su colaboración para comprender verdaderamente sus desafíos en el aprendizaje del inglés. Así, 15 estudiantes decidieron participar por interés propio, divididos en dos grupos: nueve para la recopilación de datos y seis en el de análisis.

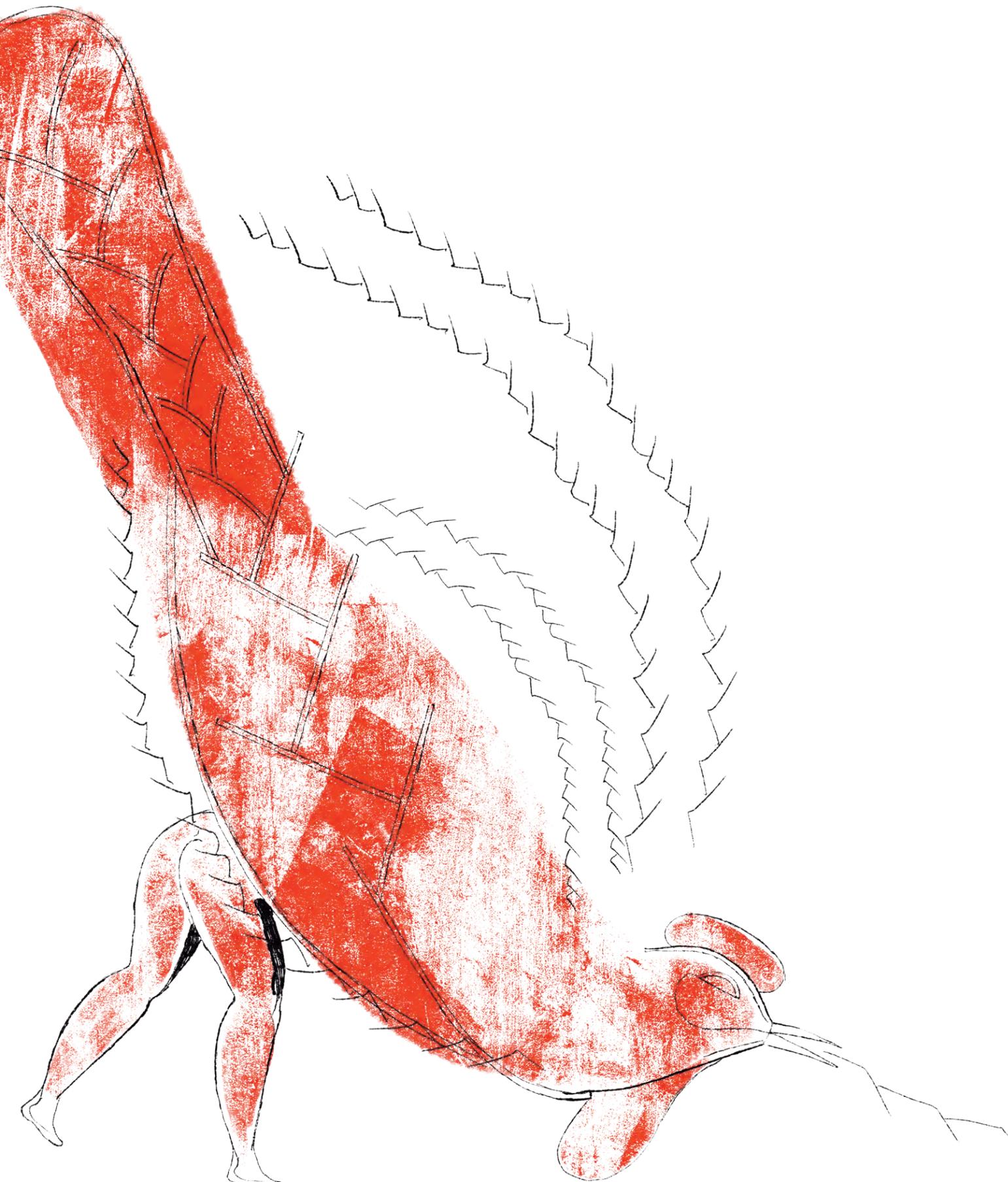
El posicionamiento frente al discurso dominante se obtuvo mediante métodos múltiples, con análisis de diversas realidades, prácticas e interpretaciones en los ámbitos global, nacional y local de los y las estudiantes. Pero lo innovador de este estudio radica en el análisis de los datos recabados, ya que se hizo en colaboración con el segundo equipo, formado por seis personas, con quienes se creó un grupo de enfoque participativo para iniciar un proceso de descolonización de la investigación occidental siguiendo la metodología propuesta por Linda Tuhiwai Smith (2021), que busca «interpretar los datos de la vida de otras personas» en colaboración con «el otro». Al integrar las voces de las y los estudiantes en los procesos de análisis, se buscó, precisamente, como denuncian las teorías poscoloniales, oponerse al hecho de que siempre se representa que Occidente es el único generador de conocimiento y que el resto del mundo es su receptor pasivo.

Discusión de resultados

Los resultados de este trabajo muestran que las dificultades

con el aprendizaje del inglés que tienen los y las estudiantes de ADE son, en efecto, construidas social e históricamente, a nivel tanto macro como microeconómico, lo que lleva a dos puntos de discusión principales.

El primero se enfoca en estudiantes que han logrado desempeñarse como agentes sociales y, en consecuencia, adquieren autonomía, con la capacidad de tomar el control de su propio proceso de aprendizaje. Ellas y ellos utilizan su conocimiento del inglés como un capital cultural que les permite reposicionarse en su entorno y, desde esta nueva posición, abandonan la marginalidad y logran crear estrategias de aprendizaje autónomas y pluralistas que integran sus conocimientos de náhuatl, zapoteco y español para estudiar inglés; es decir, adoptan un enfoque plurilingüe y pluricultural. Además, su éxito en el aprendizaje del inglés no puede atribuirse exclusivamente a factores internos; las experiencias de los y las estudiantes de ADE demuestran claramente que la autonomía en el aprendizaje de idiomas no se puede alcanzar sólo mediante un enfoque psicológico, sino que



es esencial integrar una capa sociocrítica en esta perspectiva pedagógica, para crear así un entorno óptimo en casos como el de las microrregiones de la Sierra Norte de Puebla. Este nuevo entorno fomentaría el desarrollo de procesos cognitivos basados en el contexto cotidiano en el que viven e interactúan las y los estudiantes.

El segundo punto de discusión aborda la construcción sociohistórica de las personas involucradas en el estudio. En el contexto de México, es difícil eliminar la división colonial y la diferenciación entre «nosotras y ellas», ya que la historia colonial y la colonialidad son inherentes al país. Esta diferenciación está profundamente institucionalizada, tanto por el colonialismo como por el Estado-nación mexicano. Por ello, se exploraron diferentes

métodos para descolonizar la metodología de investigación, una preocupación central de este trabajo. De ahí que las y los participantes no sólo contribuyeron a recopilar los datos, sino también a analizarlos. Es importante destacar que, además de validar el primer análisis inductivo, quienes integraron el grupo de enfoque participativo cuestionaron y reinterpretaron partes del análisis. Esta colaboración metodológica permitió establecer un diálogo de saberes alineado con las perspectivas de la lingüística aplicada postcolonial y crítica, es decir, escribir desde la óptica de las identidades subalternas. Al involucrar a las y los participantes en el análisis e interpretación de su propio mundo, se está trascendiendo la división ontológica inherente al colonialismo.

Referencias

- Despaigne, C.** (2021). *Decolonizing Language Learning, Decolonizing Research: A Critical Ethnography Study in a Mexican University* (M. Martin-Jones y J. Pujolar, eds.). Routledge Critical Studies in Multilingualism.
- Mignolo, W. D.** (2005). *La idea de América Latina. La herida colonial y la opción decolonial*. Gedisa.
- Smith, T. L.** (2021). *Decolonizing methodologies: research and Indigenous Peoples*. Zed Books, Ltd.



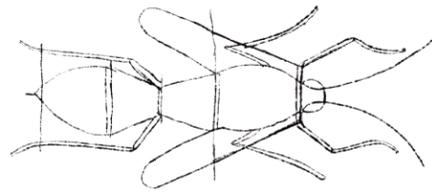


Posibilidades de la memoria: San Juanico a 40 años

Miguel Ángel Gorostieta

Estudiante de doctorado y ayudante de posgrado en la Universidad Autónoma Metropolitana, unidad Azcapotzalco.





Este año se cumplen cuatro décadas desde aquella madrugada del 19 de noviembre de 1984, cuando, de pronto, una serie de explosiones en una planta de recepción, almacenamiento y distribución de gas licuado de petróleo destruyó la parte norte de San Juan Ixhuatepec, pueblo originario en la zona oriente del dividido municipio de Tlalnepantla, Estado de México, al que desde hace más de un siglo se le ha llamado San Juanico. Durante las primeras horas de la emergencia —sin que se apagara todavía el fuego—, algunas autoridades de Petróleos Mexicanos (Pemex), la paraestatal más importante del país, ofrecieron las primeras explicaciones sobre el origen del incidente; éstas asentarían la versión oficial que intentó limitar la responsabilidad de Pemex.

A las 8:24 horas, un encargado de relaciones públicas de la paraestatal le reportó a Televisa que el incendio se originó en una pipa de una compañía privada que se encontraba sobre el entronque de algunas líneas subterráneas. Con las horas, esta inferencia se fue extendiendo y tanto el gobierno como las empresas privadas agregaron un segundo elemento al cuestionar la antigüedad del pueblo, bajo la premisa de que la planta se había instalado antes que el asentamiento.

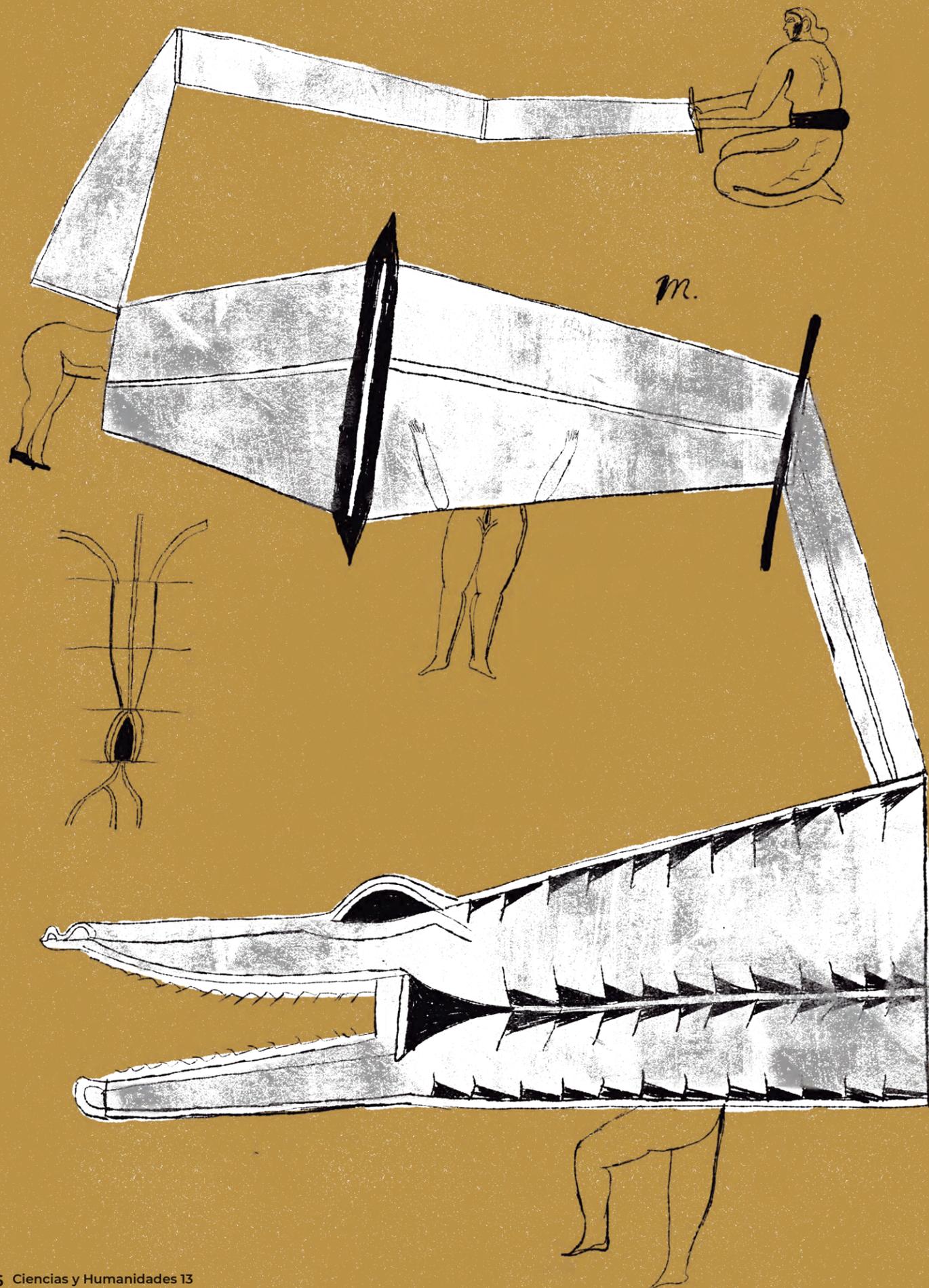
Finalmente, se completó la versión gubernamental con un conteo mínimo de las víctimas y los daños: 503 personas fallecidas, 926 lesionadas, 149 viviendas destruidas y 1358 con daños diversos, además de la pérdida total de la planta (Dirección Federal de Seguridad, 1984; *La Jornada*, 1984; Gobierno del Estado de México, 1985); sin embargo, estas cifras aún son cuestionadas por las y los habitantes.

Desde que comenzó a circular la versión gubernamental sobre la pipa de gas como origen del desastre, vecinos y vecinas que lograron huir del «infierno en la tierra» (como lo caracterizan varios testimonios) cuestionaron ese argumento y señalaron que la planta de Pemex era la responsable, lo cual se comprobaría con los peritajes mexicanos y las investigaciones internacionales. Tres días después de las explosiones se publicó en la prensa un comunicado oficial de la Secretaría de Gobernación que, sin asumir responsabilidad alguna, sostenía que desde la década de 1970 se habían formado asentamientos humanos que se acercaron a la planta, la cual tenía 21 años de existencia. En la acta de la sesión 632 del Consejo de Administración de Pemex celebrada el 21 de noviembre de 1984 (compartida con la comunidad por Anuar

Ortega, del Mecanismo de Esclarecimiento Histórico, Comisión de la Verdad), podemos ver que la versión pública reflejaba los señalamientos de Mario Ramón Beteta, entonces director general de la paraestatal, cuando a puerta cerrada catalogó la explosión como un «acto de Dios» por «estar más allá del alcance y la determinación de los seres humanos», y de Francisco Labastida, secretario de Energía, quien argumentó que «las instalaciones en donde ocurrió el accidente fueron adquiridas hace cerca de 30 años por Pemex, cuando prácticamente no existía ningún habitante en 5 o 10 kilómetros a la redonda de ellas» (*La Jornada*, 1984; Consejo de Administración de Petróleos Mexicanos, 1984).

Además de su nula precisión geográfica, las aseveraciones de los funcionarios evidenciaban el desconocimiento y su desinterés por la historia de los pueblos, barrios y colonias que conforman la creciente zona metropolitana; asimismo, mostraban una falta de empatía, como integrantes de las esferas del poder, con las víctimas, a quienes revictimizaron bajo el estigma de ser poblaciones invasoras, culpables por vivir ahí. Ante la evidente evasión de la responsabilidad por parte de las autoridades, la indignación fue creciendo entre los y las





habitantes que retornaron a San Juanico para encontrar una zona devastada que les hizo territorializar las impactantes imágenes que circulaban en la prensa y la televisión. En consecuencia, como vecinos no sólo se organizaron y movilizaron, también emprendieron acciones para reivindicar frente a los poderosos sus raíces, su memoria y el pasado que justificaba su habitar.

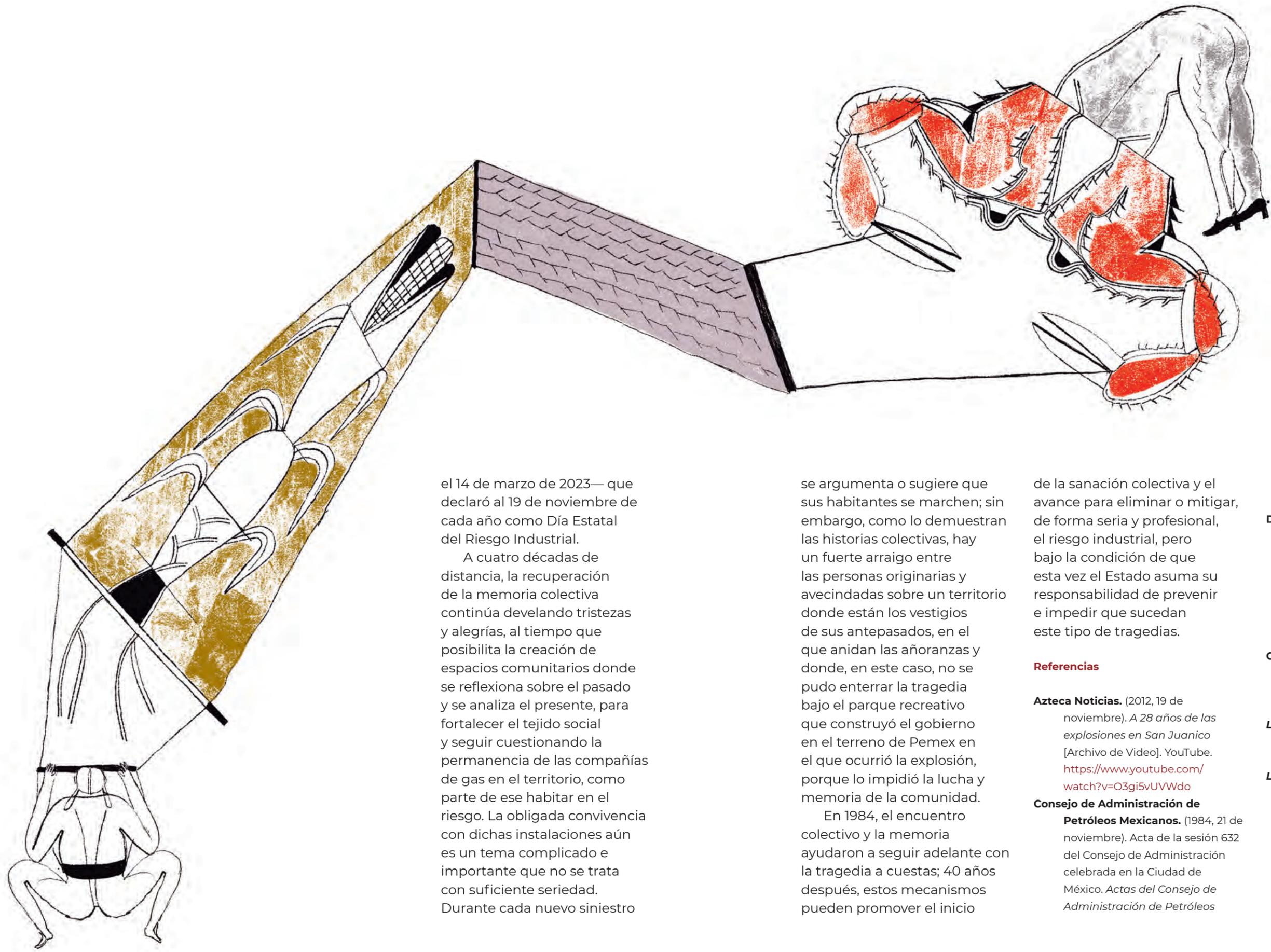
Reconstrucción de la memoria

De este modo, a pesar del cuestionamiento a la historia de la población de Ixhuatepec —ardid para desviar la atención sobre la responsabilidad del gobierno—, sus habitantes argumentaron que bastaba con mirar la fachada de la iglesia de San Juan Bautista para saber que el pueblo tenía raíces anteriores a la instalación de las gaseras. Junto a ello y con el empoderamiento organizativo, los vecinos y las vecinas reconstruyeron una narrativa histórica sobre el pasado prehispánico y colonial de San Juanico, la cual utilizaron para enfrentarse al gobierno también en la arena histórica. Es decir, después de la explosión, por primera vez dicha comunidad recurrió a su memoria para, de manera conjunta, enfrentar la adversidad y fortalecer su identidad en un pueblo vulnerado.

Si bien las y los sobrevivientes, así como periodistas en medios progresistas, la Unión Popular Ixhuatepec —principal organización social surgida tras el desastre— y varias personas que desarrollaron sus tesis profesionales al respecto, han enfatizado dicho pasado centenario, el estigma quedó flotando en el devenir de los años. Así, cada vez que se acerca otro 19 de noviembre, no faltan algunos medios que retoman la vieja versión gubernamental. Los ejemplos más extremistas son: por un lado, un video conmemorativo de una de las principales televisoras comerciales, donde subrayan la poca claridad en el origen del incendio y desempolvan la inverosímil explicación de la pipa (Azteca Noticias, 2012); y, por otro, el tuit de uno de los diarios de la capital más populares, donde el llamativo texto termina con una referencia a San Juanico: «ese pueblo que —dicen los que aún recuerdan— no debió existir» (*La Prensa*, 2020). Más que inexistente, parece que este pueblo fue anclado a la piedra del olvido y constantemente tiene que reivindicar su pasado para justificar su existencia.

La mención de que la colonia se asentó antes que las gaseras fue persistente durante las entrevistas formales e informales que hice en mi trabajo de investigación, para reafirmar que se trata de un

pueblo con raíces indígenas que se observan en la iglesia. Por otro lado, con el apoyo del Grupo 19 de Noviembre, vecinas y vecinos de al menos cuatro colonias de la zona oriente participaron con entusiasmo en la generación de 31 relatos históricos en el marco del proyecto «Historias Metropolitanas», impulsado desde la Universidad Autónoma Metropolitana, unidad Cuajimalpa, y en el cual Ehécatl Omaña y yo impartimos talleres para recuperar la memoria de los barrios de la zona metropolitana en la voz de sus propios habitantes. De esta forma, las páginas de una publicación universitaria se abrieron a las historias de la ruralidad, la industrialización, la migración del campo a la ciudad, la cocina tradicional, la danza de los tecuanes, las y los deportistas y una amplia diversidad de temas que colocan a San Juanico muy lejos de ser sólo un «accidente» industrial. Además, a partir de esta labor y con el apoyo de artistas como Mónica Romero y Pablo Castro, sus habitantes organizaron un encuentro de cocineras, el día del tecuán, un taller de música, ferias de libro y un gran número de actividades culturales; incluso, las y los músicos compusieron «Kilómetro cero del riesgo industrial», canción que sirvió como base para una propuesta ciudadana —aceptada por el Congreso del Estado de México



el 14 de marzo de 2023— que declaró al 19 de noviembre de cada año como Día Estatal del Riesgo Industrial.

A cuatro décadas de distancia, la recuperación de la memoria colectiva continúa develando tristezas y alegrías, al tiempo que posibilita la creación de espacios comunitarios donde se reflexiona sobre el pasado y se analiza el presente, para fortalecer el tejido social y seguir cuestionando la permanencia de las compañías de gas en el territorio, como parte de ese habitar en el riesgo. La obligada convivencia con dichas instalaciones aún es un tema complicado e importante que no se trata con suficiente seriedad. Durante cada nuevo siniestro

se argumenta o sugiere que sus habitantes se marchen; sin embargo, como lo demuestran las historias colectivas, hay un fuerte arraigo entre las personas originarias y avocadas sobre un territorio donde están los vestigios de sus antepasados, en el que anidan las añoranzas y donde, en este caso, no se pudo enterrar la tragedia bajo el parque recreativo que construyó el gobierno en el terreno de Pemex en el que ocurrió la explosión, porque lo impidió la lucha y memoria de la comunidad.

En 1984, el encuentro colectivo y la memoria ayudaron a seguir adelante con la tragedia a cuestas; 40 años después, estos mecanismos pueden promover el inicio

de la sanación colectiva y el avance para eliminar o mitigar, de forma seria y profesional, el riesgo industrial, pero bajo la condición de que esta vez el Estado asuma su responsabilidad de prevenir e impedir que sucedan este tipo de tragedias.

Referencias

- Azteca Noticias.** (2012, 19 de noviembre). *A 28 años de las explosiones en San Juanico* [Archivo de Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=O3gj5vUVWdo>
- Consejo de Administración de Petróleos Mexicanos.** (1984, 21 de noviembre). Acta de la sesión 632 del Consejo de Administración celebrada en la Ciudad de México. *Actas del Consejo de Administración de Petróleos*

Mexicanos (Libro 13). Archivo Histórico de Petróleos Mexicanos.

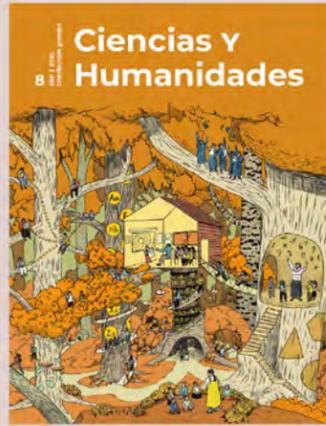
Dirección Federal de Seguridad. (1984, 19 de noviembre). Incendio. San Juan Ixhuatepec, Xalostoc, Méx. [Reporte]. Canal 2 T.V. (Explosión en San Juan Ixhuatepec [San Juanico] 19-nov-1984, versión pública, legajo 1/7). Archivo General de la Nación.

Gobierno del Estado de México. (1985). *San Juan Ixhuatepec. Memoria de una emergencia.* Gobierno del Estado de México.

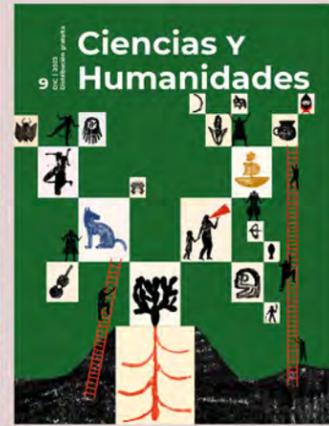
La Jornada. (1984, 22 de noviembre). La planta de Pemex no será reconstruida. *La Jornada*, 64, 1 y 5.

La Prensa. (2020, 24 de mayo). Han pasado ya 36 años de la tragedia ocurrida en San Juan Ixhuatepec, ese pueblo que —dicen los que aún recuerdan— no debió existir en #ArchivosSecretos [Tweet]. Twitter.

Números anteriores



Núm. 8
Hacia una reforma educativa integral
Septiembre 2023



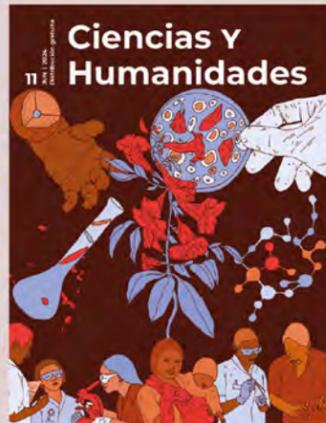
Núm. 9
Memoria histórica
Diciembre 2023



Núm. 9 | Especial
Agentes tóxicos y procesos contaminantes
Diciembre 2023



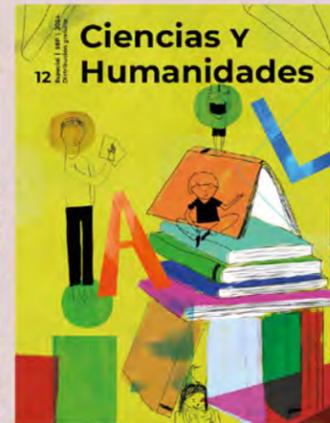
Núm. 10
Sistemas socioecológicos
Marzo 2024



Núm. 11
Ciencia de frontera I
Junio 2024



Núm. 12
Seguridad humana
2024

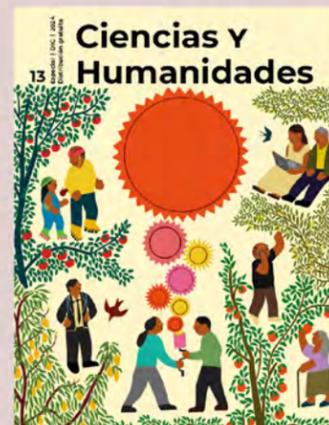


Núm. 12 | Especial
Cambios educativos en la Cuarta Transformación
2024



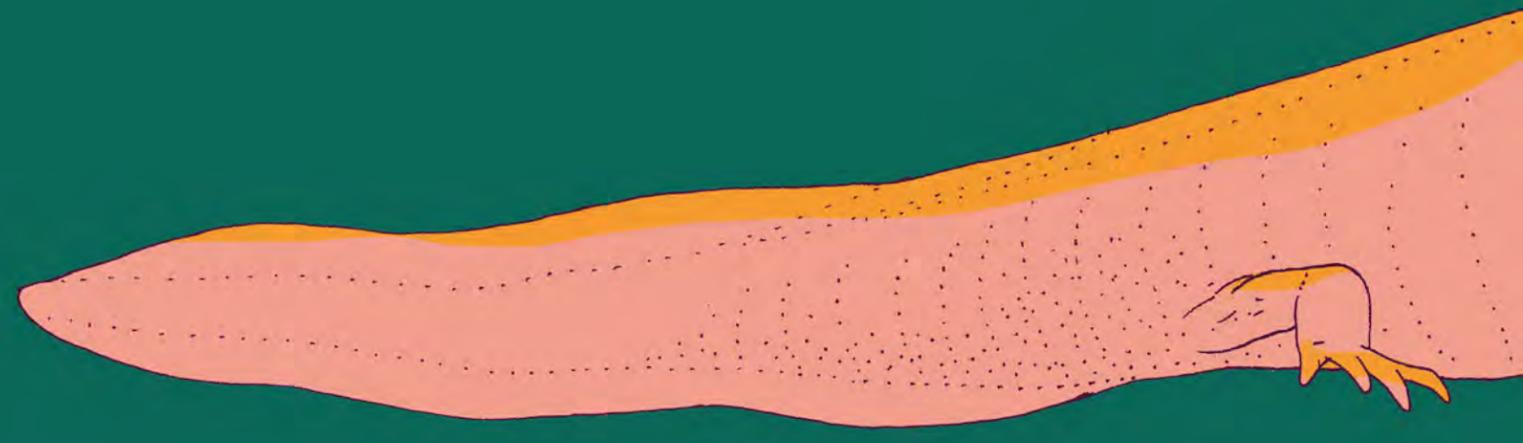
Núm. 13
Ciencia de frontera II
2024

Número actual



Próximo número

Núm. 13 | Especial
Innovación soberana para el bienestar
2024



«Efraím Hernández Xolocotzi es reconocido en México y el extranjero como un ícono de la llamada ciencia de frontera; gracias a sus aportaciones sabemos que, para atender nuestra soberanía alimentaria, las políticas públicas deben volver los ojos a la milpa y a las manos campesinas que desarrollan, mantienen y siguen dando futuro a la gran diversidad de plantas nativas cultivadas y sus agroecosistemas, patrimonio de los mexicanos y del mundo entero.»

Patricia Colunga García Marín
Daniel Zizumbo Villarreal
Jerónimo Zizumbo Colunga



GOBIERNO DE
MÉXICO



CONAHCYT
CONSEJO NACIONAL DE HUMANIDADES
CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS