

11

JUN | 2024

Distribución gratuita

Ciencias Y Humanidades



Índice

4 Presentación

María Elena Álvarez-Buylla Roces

10 Desafíos contemporáneos de la mecánica cuántica

Luis de la Peña Auerbach

28 Hacia el diseño racional de moléculas: estrategias cuánticas en química

Rubicelia Vargas Fosada

44 Exploración del clima en el espacio sideral

Humberto Salazar Ibargüen

58 La emergencia del discurso filosófico en Occidente

Bernardo Berruecos Frank

72 Física de sistemas complejos y fenómenos sociales

Octavio Miramontes Vidal

92 Germinal Cocho y el mundo del mañana

Faustino Sánchez Garduño, Pedro Miramontes,
José Luis Gutiérrez Sánchez

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



Revisión científica
Liliana Falcón Zertuche
Marco Antonio Guarneros Roniger

Ilustración
Emma Casadevall Sayeras
Portada, contraportada y pp. 5, 7, 9

Armando Fonseca
Interiores
Santiago Moyao
pp. 132-133
Ana Isabel Luján Ruiz
pp. 38-39, 42, 56, 83, 87, 137
José Salvador Jaramillo Aguilar
pp. 100-101

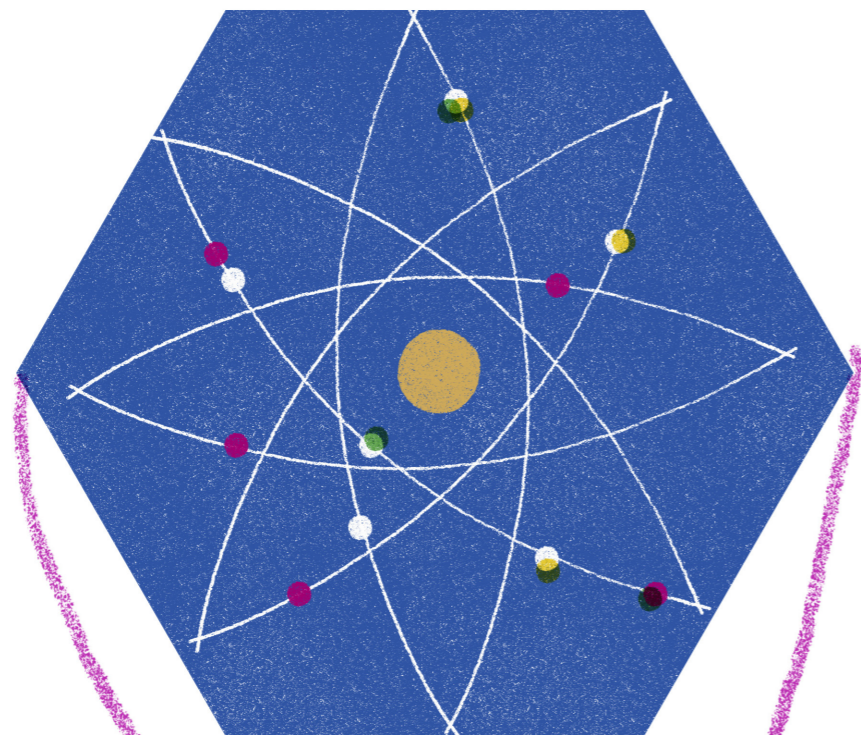
Ciencias y Humanidades,
año 4, número 11, junio de 2024,
es una publicación trimestral
editada por el Consejo Nacional de
Humanidades, Ciencias y Tecnologías.
Av. Insurgentes Sur 1582,
col. Crédito Constructor,
demarcación territorial Benito Juárez,
C. P. 03940, Ciudad de México
Teléfono: 55 5322 7700
conahcyt.mx
Tiraje de 5 000 ejemplares.
Papel bond de alta blancura.
Ciudad de México, junio de 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:
18 de junio 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

100 **Hacia el nuevo Conahcyt**

CIENCIAS Y ARTE

102 **La ciudad resonante:
música instrumental
en la Nueva España del
siglo XVIII**

María Díez Canedo Flores

DERECHO A LA CIENCIA

112 **La ley como llave para la
soberanía científica**

María Estela Ríos González

SOBERANÍAS

118 **Convergencia
y conflictos: desafíos
interdisciplinarios
en la tecnología y las
humanidades**

David Enrique Merino
Téllez

DIÁLOGO DE SABERES

124 **Hibridación y
complejización en la
cultura wixárika**

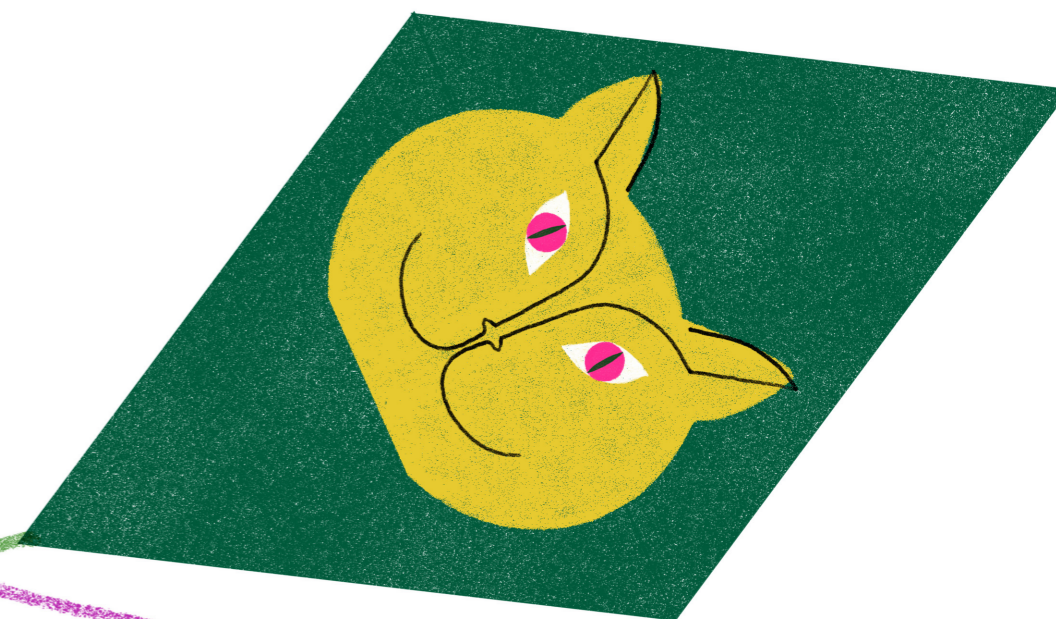
Johannes Neurath

HISTORIA MÍNIMA

132 **Una caminata**
Santiago Moyao

PUNTO CRÍTICO

134 **Biosensores versátiles:
innovación pública
para la salud**
Tatiana Fiordeliso,
Regina Ortiz Zamora,
Diego Zamarrón
Hernández



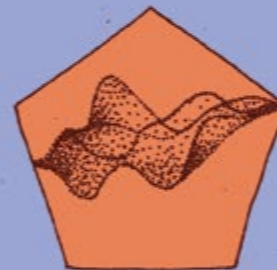
Presentación

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

La falsa dicotomía entre ciencia básica y ciencia aplicada suele perder de vista que las aplicaciones exitosas, virtuosas y novedosas de la ciencia necesariamente se fincan en conocimientos científicos rigurosos y actualizados. A ello se le conoce como ciencia de frontera o conocimiento de frontera. De la misma manera, el conocimiento aplicado, que toma la forma de tecnologías confiables, nutre a la ciencia de frontera. ¿Puede acaso existir la astronomía observacional sin telescopios o la genómica funcional sin secuenciadores de ADN? ¿No son acaso estas tecnologías el resultado práctico y útil de la aplicación de la óptica y de la bioquímica, respectivamente?

La ciencia de frontera es indispensable para el desarrollo tecnológico innovador. Por ello, en México y en el mundo, es muy importante apoyar el avance científico en todos los campos del conocimiento, incluidas las humanidades, las ciencias sociales y las llamadas ciencias duras (matemáticas, física, química, biología, entre otras). De igual forma, es primordial asegurar que el desarrollo de la ciencia se guíe por principios éticos y compromisos socioambientales. Los procesos de construcción del conocimiento científico, en todas sus diversas manifestaciones, son el resultado de distintas dinámicas socioculturales en las que la interacción entre el conocimiento básico y el aplicado es no sólo indispensable, sino ante todo inevitable. La dicotomía entre ciencia básica y ciencia aplicada únicamente existe en el discurso, no en la realidad.

Por lo tanto, una de las primeras acciones del nuevo Conahcyt en el gobierno del presidente Andrés Manuel López Obrador fue recuperar el apoyo a la ciencia básica y de frontera. A partir de 2019, el Consejo ha financiado 1946 proyectos, con lo que anima a las comunidades académicas a empeñarse en avanzar las fronteras del conocimiento desde México, y no sólo validar o repetir las investigaciones que se hacen en otras latitudes. De 2019 a 2023, el



Conahcyt otorgó \$3847 millones de pesos, en recursos a proyectos e infraestructura científica y tecnológica, como apoyo a la ciencia básica y de frontera. Esto contrasta positivamente con lo que aconteció de 2017 a 2018, periodo durante el cual el aquel entonces Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt, sin «h») destinó \$0 pesos a la ciencia básica y de frontera. Pese a los sacrificios presupuestales que impuso la pandemia de covid-19, la recuperación del apoyo a la ciencia básica y de frontera es un logro de gran importancia, que manifiesta claramente la confianza del Estado mexicano en sus comunidades humanísticas, científicas y tecnológicas.

Una vez rescatadas las funciones públicas sustantivas del Conahcyt, y tras haber ordenado el caos administrativo en que se encontraba, es momento de procurar aún mayores apoyos para el quehacer humanístico y científico básico o fundamental en todas las áreas del conocimiento y en todo el país. Este apoyo decidido y adicional seguramente redundará en grandes beneficios para todas las personas y todos los sectores.

Para lograr aún más resultados, también hay retos por vencer en cuanto a la eficiencia de la administración coordinada entre el Conahcyt y la Secretaría de Hacienda y Crédito Público, así como en lo que respecta a la interacción entre el Consejo y las instituciones de educación superior e investigación del país. Con ello, se dará cumplimiento cabal a lo que se asienta en la Ley General en materia de Humanidades, Ciencias, Tecnologías e Innovación vigente, en la cual, por primera vez, hay un capítulo destinado a los mecanismos e instrumentos públicos de fomento y apoyo del gobierno federal, además de que incluye la sección especial «Del Impulso a la Ciencia Básica y de Frontera y el Derecho Humano a la Educación». De esta forma se mandata garantizar el impulso al avance del conocimiento universal, mediante el otorgamiento de

apoyos para la investigación en ciencia básica y de frontera en todas las áreas y campos del saber científico, especialmente cuando se desarrolle desde el sector público. Así, la protección constitucional de la investigación en ciencia básica y de frontera es un hito histórico nacional, dado que este mandato evitará que en futuras administraciones se vuelva a abandonar a las comunidades académicas del país en su deber, compromiso y pasión por el desarrollo de las humanidades, las ciencias sociales y las ciencias básicas.

En este número de la revista *Ciencias y Humanidades* se ejemplifican y resumen sólo algunas de las investigaciones que actualmente se están desarrollando en las instituciones de educación superior e investigación del país. Con esto se muestra la labor creativa de especialistas en humanidades, ciencias y tecnologías, quienes, con rigor epistemológico, están contribuyendo a la ciencia de frontera. Asimismo, en este volumen se desentrañan los aspectos más intrigantes y valiosos de la ciencia de frontera, pues se destaca cómo estas investigaciones, a pesar de sus desafíos, son fundamentales para el verdadero progreso y enriquecimiento del conocimiento en diversas áreas y campos científicos. De modo que este número dedicado a la ciencia de frontera se convierte en un espacio donde se amplifica la voz de aquellas y aquellos que se aventuran más allá de los límites establecidos del conocimiento y contribuyen desde su quehacer a erigir un México científicamente independiente, más soberano y líder en el panorama global.

El recorrido empieza por los «Desafíos contemporáneos de la mecánica cuántica», artículo en el cual el reconocido investigador Luis de la Peña Auerbach diserta sobre los problemas históricos de esta disciplina y presenta una propuesta de solución para reintegrarle causalidad y corregir el indeterminismo: considerar al campo electromagnético de punto cero. El autor admite que la incorporación de este campo residual resultaría radical, pero no por ello menos válido.

Por su parte, Rubicelia Vargas Fosada comparte, desde su vasta experiencia, algunas aplicaciones de la química

cuántica, la cual es una fusión entre ciencias como la física, las matemáticas y la computación; esto la convierte en un campo de conocimiento retador y fascinante a la vez. Su texto «Hacia el diseño racional de moléculas: estrategias cuánticas en química» habla de los acarreadores de fármacos —o plataformas moleculares— y su importancia en la química farmacológica para transportar y liberar dichas sustancias de manera controlada en el organismo.

Mientras tanto, Humberto Salazar Ibargüen se da una vuelta por el cosmos para explicar en su artículo «Exploración del clima en el espacio sideral» algunos fenómenos de gran importancia que definen el clima espacial terrestre, tales como el origen de ciertas auroras boreales que, históricamente, maravillaron y horrorizaron al mundo, así como su relación con las tormentas solares y los picos máximos del ciclo solar.

Por su parte, Bernardo Berruecos Frank cuestiona en «La emergencia del discurso filosófico en Occidente» el epistemicidio y la invisibilización de los saberes colonizados. El autor asume el compromiso ético de reconocer el histórico proceso de colonización —también— epistémica que privilegia los conocimientos occidentales al momento de construir y validar la ciencia en estos términos. Dice bien cuando escribe que «apostar por la ciencia de frontera significa abrir los ojos no sólo a nuevos problemas, sino también a métodos innovadores para afrontarlos».

Y qué mejor ejemplo para hablar de otras formas de pensar los problemas que una nueva rama de una disciplina antigua. Octavio Miramontes Vidal aborda la genealogía de la «Física de sistemas complejos y fenómenos sociales» y el camino mediante el cual se conformó como sociofísica. Con ejemplos claros, demuestra la utilidad de predecir el comportamiento humano en un determinado contexto social, con un conocimiento que contribuye a la preservación de la vida, por ejemplo, mediante el diseño de corredores, calles y rutas de evacuación.

Al hablar de pioneros en la ciencia de frontera, hay personas ejemplares, como Germinal Cocho, fundador de la bioinformática en México, utopista práctico, científico creativo, docente generoso, investigador incansable y, so-

bre todo, un ser humano comprometido con la sociedad. Faustino Sánchez Garduño, José Luis Gutiérrez Sánchez y Pedro Miramontes describen la genialidad de quien ideó un «mundo del mañana» para todos y todas.

En la sección Ciencias y Arte, María Díez Canedo Flores presenta «La ciudad resonante: música instrumental en la Nueva España del siglo XVIII», artículo en el que aborda la importancia de las iglesias, conventos y bibliotecas como archivos únicos del periodo musical novohispano. Asimismo, recuerda que la recreación sonora de la música barroca instrumental es semilla viva de nuestro presente musical.

En Derecho a la Ciencia, María Estela Ríos González concibe «La ley como llave para la soberanía científica» y advierte sobre la falta en México de autores originales y de referencia en las ciencias sociales y el derecho, por lo que destaca la importancia de desarrollar una nueva teoría jurídica y científica desde nuestro país. Por lo tanto, insta a impulsar la generación de conocimientos nacionales en el ámbito jurídico para responder a la realidad y contribuir a la construcción de un México autónomo y humanista.

Por su parte, en la sección Soberanías, David Enrique Merino Téllez señala que la conexión entre educación e innovación es clave en el proceso de transformación nacional, porque ayuda a abordar los retos éticos y sociales para producir ciencias que respondan a nuestras necesidades y contribuyan a la construcción de un mundo mejor.

En el apartado de Diálogo de Saberes, Johannes Neurath repasa la «Hibridación y complejización en la cultura wixárika» y advierte cómo la sociedad occidental concibe las identidades como inequívocas, cercadas por las dualidades, a diferencia de los pueblos amerindios y, especialmente, de los *wixaritari*, quienes complejizan y actualizan su cosmovisión más allá de sus tradiciones históricas.

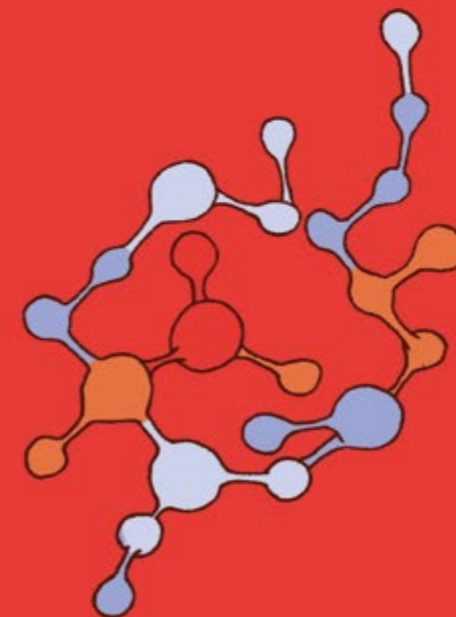
En Punto Crítico, Tatiana Fiordeliso, Regina Ortiz Zamora y Diego Zamarrón Hernández narran sus innovadores esfuerzos en la creación de dispositivos biomédicos de última generación necesarios para el sector salud. El texto de «Biosensores versátiles: innovación pública para la salud» contiene, además, propuestas para superar las

barreras normativas que detienen la materialización de las creaciones científicas. Asimismo, señalan la necesidad de una cultura institucional que abrigue los procesos más vulnerables de la innovación tecnológica, así como la colaboración entre distintos actores para que ese camino sea más breve.

Justo en este número, la Historia Mínima de Santiago Moyao lleva a una caminata por un universo probabilístico que mira hacia nuestro interior a la vez que nos coloca en la línea del tiempo de la ciencia. Además, la sección Data muestra con cifras contundentes el sendero marcado «Hacia el nuevo Conahcylt»; aquí, Salvador Jaramillo ilustra la indubitable transformación institucional que deja atrás los propósitos neoliberales que se servían de la ciencia y ahora construye un campo para todas y todos. Por su parte, la portada de Emma Casadevall y el trabajo en interiores de Armando Fonseca ilustran mundos en los cuales se existe y, a la vez, se inventa.

En resumen, las y los lectores de esta revista se sumergirán en un universo de conocimientos que desafían las ideas establecidas y abrazan la riqueza de las perspectivas diversas. Desde la mecánica cuántica hasta las reflexiones sobre el discurso filosófico en Occidente, cada artículo invita a replantear y expandir la comprensión, así como el interés, en cada cuestión. Este compendio representa no sólo una muestra de la variedad temática y disciplinaria, sino también un llamado a la reflexión profunda sobre cómo se conciben y abordan los desafíos.

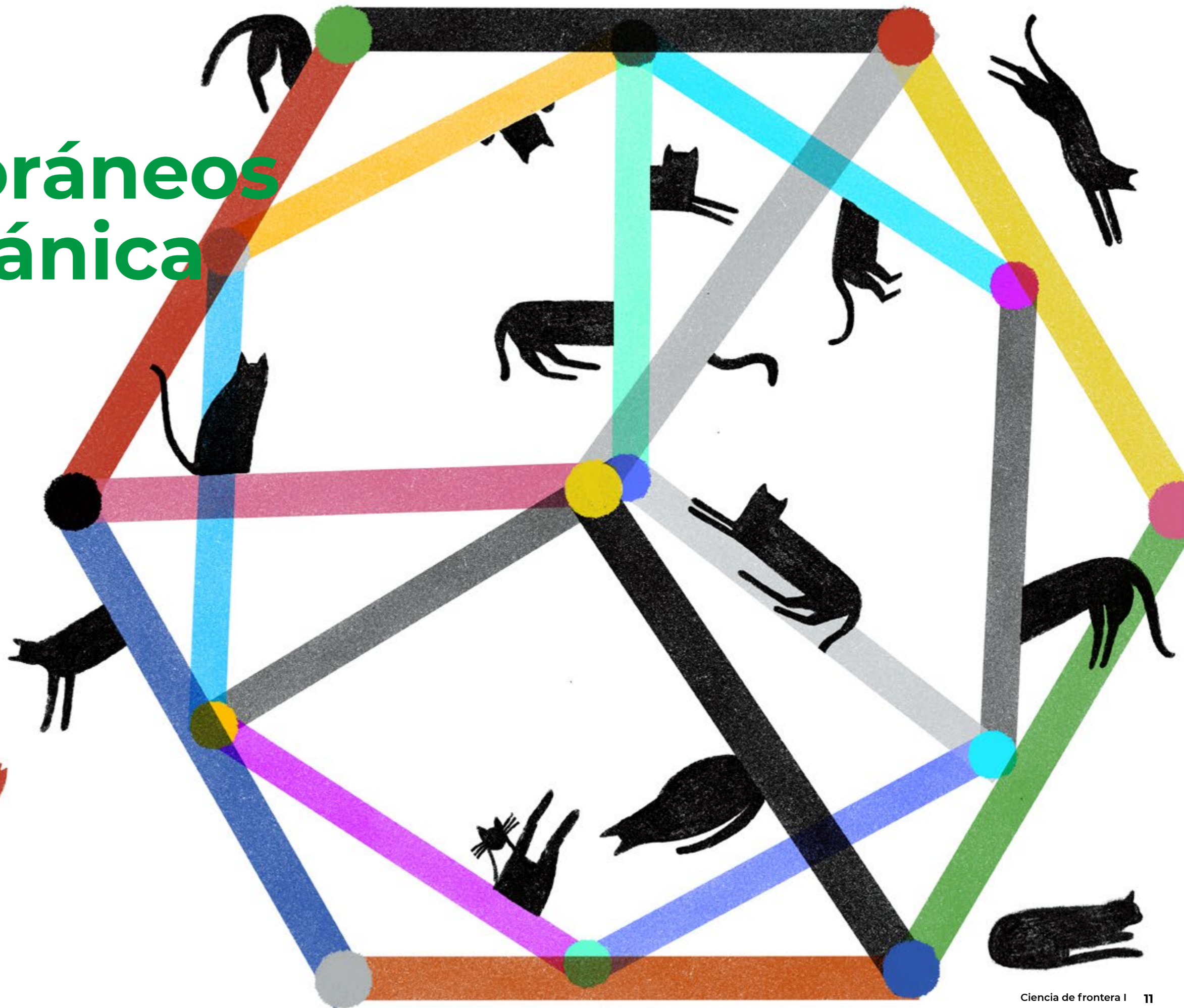
Cada artículo, a su manera, contribuye a una comprensión más profunda y holística de nuestro entorno, al tiempo que nos recuerda de la importancia de la innovación, la diversidad de pensamiento y la integración de saberes para entender y abordar lo que sucede en nuestro país, en el mundo y en el universo. Este número se erige como un faro que brinda luz a los pasos firmes dados por hombres y mujeres que se dedican a las humanidades, ciencias, tecnologías e innovación, además de detonar nuevos cuestionamientos, diálogos y —¿por qué no?— trabajos que mantengan un constante avance científico.



Desafíos contemporáneos de la mecánica cuántica

Luis de la Peña Auerbach

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





En el escaso siglo que lleva de existencia, la mecánica cuántica se ha anotado un éxito tras otro. El campo de sus aplicaciones se extiende de la escala subatómica a niveles macroscópicos, incluso cosmológicos, y en ocasiones desciende a la escala subnuclear. En resumen, se le encuentra en todos los niveles de la física contemporánea.

Sin embargo, en sus cien años de vida, la mecánica cuántica aún no ha madurado, y no podrá hacerlo a menos que abramos la puerta por la que no se le ha permitido asomarse en busca de una cura para su enfermedad de nacimiento. Éste es un asunto que requiere una explicación más detallada, pues el tema no se ha atendido (ni comprendido) debidamente, por lo que aquí lo tratamos en términos para todos los públicos.

La física tiene sus reglas; entre ellas, hay un conjunto de principios universales que condensan los conocimientos adquiridos a lo largo de cientos de años de experiencia, a partir de consultar y poner a prueba el mundo físico. En sí, son reglas arrancadas de la naturaleza que abarcan mucho más que el mundo meramente físico; se trata de principios universales que se extienden a todos los estratos de lo existente. Un ejemplo de especial interés e importancia para el caso que nos ocupa es el principio de causalidad. Según el conocimiento físico (de hecho, de acuerdo con el conocimiento universal bien acreditado), toda acción tiene una causa sustentada en la porción del mundo que le da origen, que a su vez tiene su causa, y así hacia atrás. En la naturaleza actúan leyes efectivas; no hay milagros ni magia ni caprichos. Éste es el principio de causalidad, de aplicación general en todas las ciencias. Hasta que apareció la mecánica cuántica...

En efecto, en su presente formulación, la mecánica cuántica es una teoría no causal, desde su primer momento de vida y en su nivel más fundamental. Uno de sus fundadores es Werner Heisenberg, el físico alemán que a la





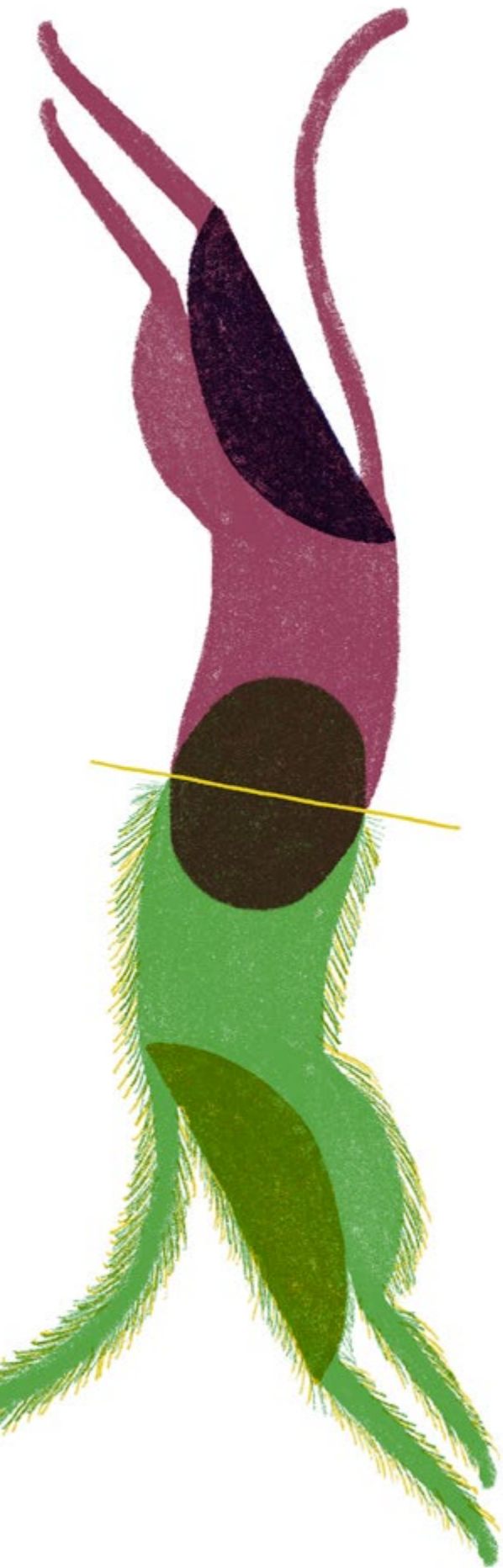
edad de 25 años propuso una versión que, en gran medida, se convirtió en la base de la teoría actual. Ésta recibió el nombre de mecánica matricial, porque se caracteriza por sustituir las variables de la mecánica tradicional (newtoniana) por matrices, es decir, cantidades numéricas no conmutativas. Esto significa que $A \times B$ no es lo mismo que $B \times A$.

Pero esto no es lo que nos interesa —por ahora—, sino el hecho de que la teoría de Heisenberg no es causal, grave pecado que aceptaron voluntariamente (casi) todos los usuarios de la teoría y, por supuesto, el propio Heisenberg. La historia de esta superficial concordancia es sencilla y nos llega con una gran dosis de buena fe.

Al explorar la teoría, su propio descubridor-inventor-creador observó que las variables que la expresan van acompañadas siempre de un comportamiento azaroso, impredecible e imprescindible. Heisenberg buscó con ahínco la causa... y ésta no apareció. Derrotado, asumió la acausalidad como una propiedad intrínseca de los sistemas cuánticos. Así, pudo averiguar algo de lo que ocurría; pero no por qué ocurría. Expresó su conclusión en una fórmula matemática que desde aquel entonces se denomina relación de incertidumbre, o de indeterminación, por supuesto, con el nombre de Heisenberg.

Lo que voy a contarles sucedió cuando yo era muy joven y no sólo ignoraba por completo el tema, sino también las idas y venidas de la teoría cuántica. Estaba curioseando en una de las librerías de viejo del barrio —probablemente en la avenida Hidalgo— cuando accidentalmente escuché una intrigante y atractiva discusión entre el dueño del negocio-servicio y uno de sus clientes asiduos, ya con mucha confianza entre ellos. Tal vez éste fue mi primer encuentro con la mecánica cuántica y mi recuerdo más lejano de ella, aunque solía leer con fruición cuanto libro de divulgación de física o química caía en mis manos. El asunto que los inquietaba y querían resolver les sonaba simple: ¿las desigualdades de Heisenberg se refieren a nuestras incertidumbres sobre las variables cuánticas o a alguna indeterminación de su valor? Buscaron por todos lados y rincones; incluso llegaron a culpar al idioma alemán, pero pronto se arrepintieron dada la consabida precisión de esta lengua; era imposible culpar al ya consagrado autor, aunque él mismo utilizara ambos términos. En fin, en los pocos minutos que alcancé a escuchar sin entender, la discusión sirvió para profundizar sus dudas. ¿Será tan pobre la traducción que están leyendo o es tan difícil entender la física moderna?, me pregunté a mi regreso. Y en efecto lo es, pues dadas las dimensiones de lo atómico, las observaciones siempre son indirectas.

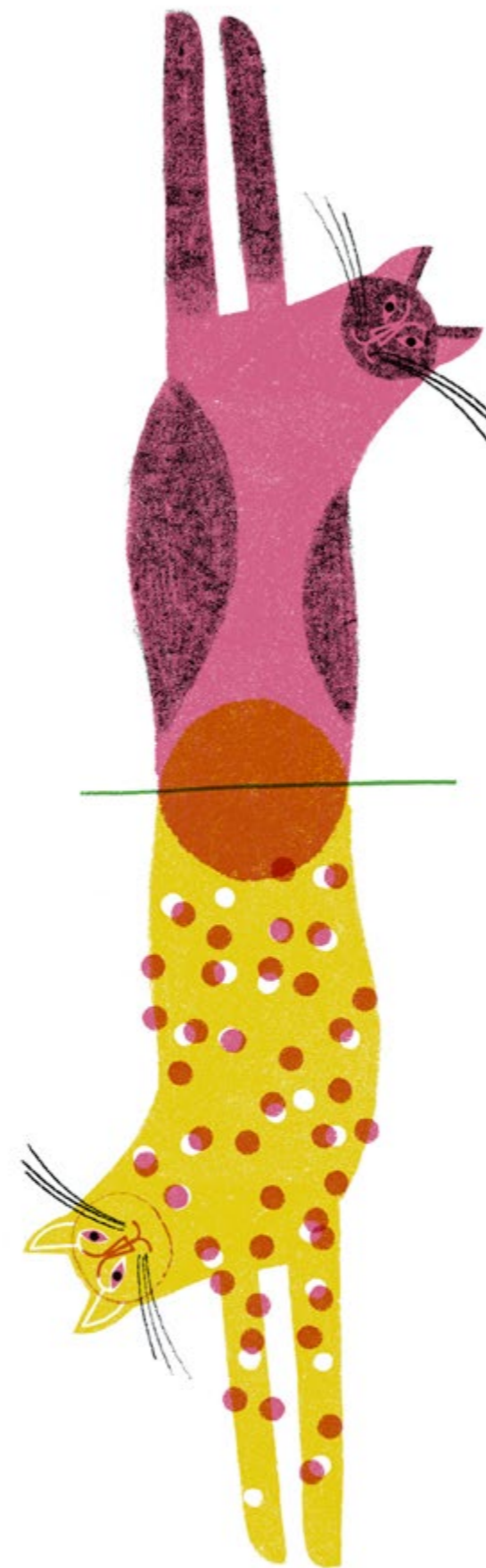




La causalidad no era la única regla inviolable para la física hasta la llegada de Heisenberg y sus colegas: hay otras no menos generales y básicas que también sucumbieron a la voluntad de plegarse al mundo cuántico. El determinismo es compañero cercano de la causalidad y, como ella, tuvo que ceder espacio a la libertad.

Las leyes de la física –a diferencia de lo que sucede con las humanas– se cumplen a cabalidad, punto a punto, trazo a trazo. Un cuerpo no se salta el trazado teórico que le corresponde; cumple la ley con precisión total. Es claro que las leyes escritas son –por necesidad– aproximaciones al desiderátum, pero en general excelentes aproximaciones. Lo escribió Isaac Newton hace más de trescientos años y sigue siendo cierto: si se aplica la fuerza f a un cuerpo de masa m , éste adquiere una aceleración igual a f/m . En ningún momento el cuerpo se abstiene de cumplir la ley ni se desvía de sus dictados. Éste es el determinismo de la ciencia: sólo en la magia, los cuentos infantiles, los sueños y las religiones se dan conductas violatorias de las normas deterministas. En la física clásica, en particular, las leyes se cumplen sin excepción.

Pero no es el caso en la visión dominante de la mecánica cuántica. Heisenberg interpretó el inesperado comportamiento azaroso de los electrones como intrínseco al mundo cuántico; simplemente se trataba de fluctuaciones cuánticas, sin mayor explicación. Al negar la causalidad, involuntariamente elevó el indeterminismo al nivel de lo esencial, inmanente, primario: existen las fluctuaciones cuánticas y hay que aprender a coexistir con ellas. Dichas fluctuaciones no se entienden como el efecto de una causa no identificada, sino como la causa del comportamiento cuántico –con lo cual se deja abierta la puerta al galimatías cuántico actual–. Así, la mecánica cuántica ha «educado» a las grandes mentes de la física (digamos, a la *gran* mayoría) como indeterministas y acausales –conscientes

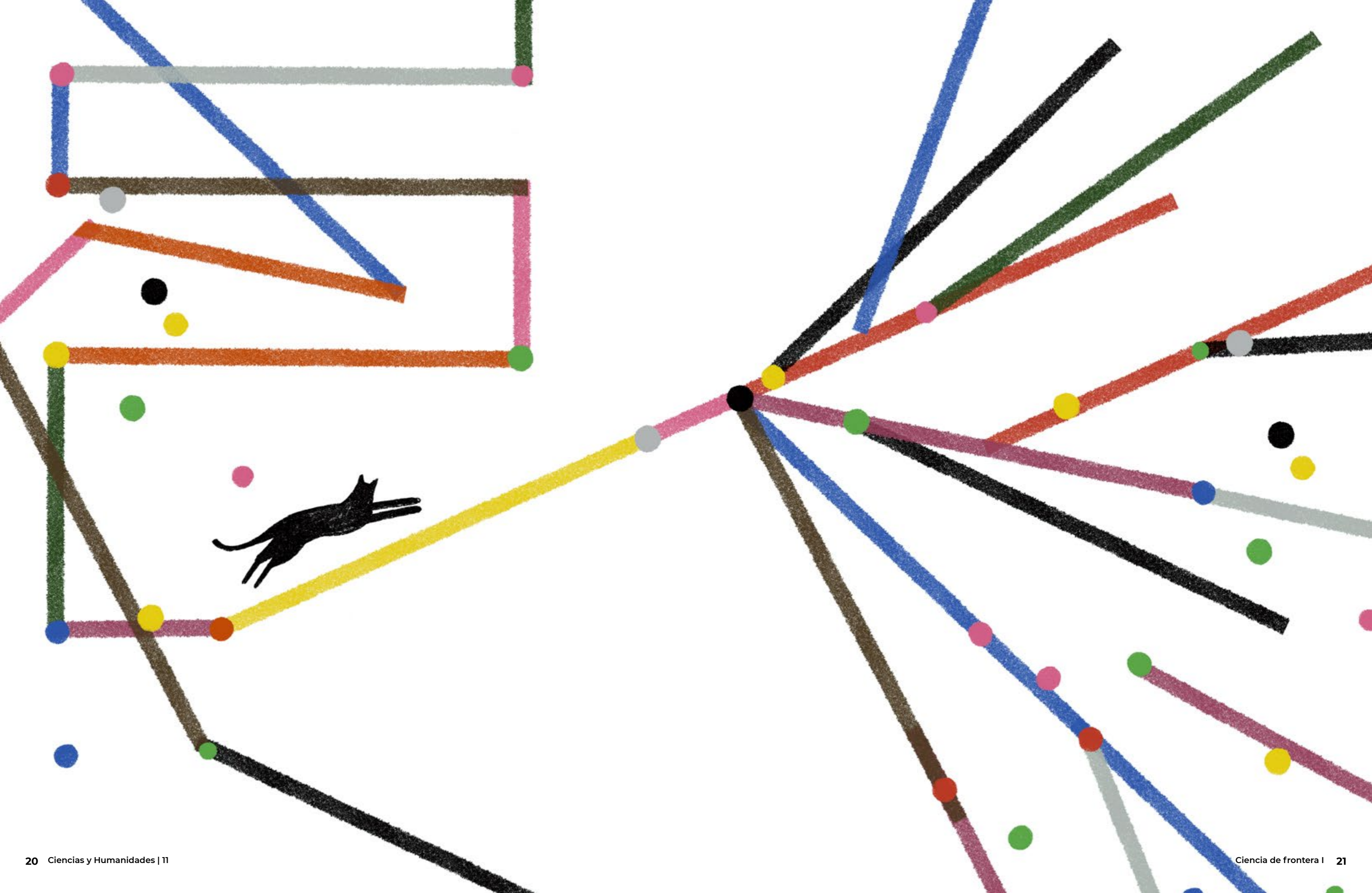



o inconscientes de ello, hay de ambos bandos—. Los temas se discuten, no se niegan. Ni se superan.

A lo anterior se agrega que la mecánica cuántica contemporánea es no local. Esto significa que las acciones de un elemento del sistema pueden afectar a otro del mismo sistema sin entrar en contacto con él: de lejos, asépticamente. Esto niega otro de los grandes principios generales de la ciencia: los fenómenos naturales son locales; los efectos se transmiten por contacto directo o por algún medio portador, como un haz de luz, ondas de radio o sus variantes. Lo contrario da lugar a la acción a distancia (como en la brujería o los ritos mágicos y los cuentos infantiles). Estas llamadas acciones a distancia fueron denominadas «escalofrantes» por Albert Einstein, como *spooky actions at a distance*, en un (fallido) intento de eliminarlas de las mentes de la física.

Por si fuera poco, la mecánica cuántica de hoy es una teoría difusa, la cual carece de elementos interpretativos centrales. Para empezar, lo que describe la ecuación propuesta por Erwin Schrödinger –punto general de arranque de la descripción de la mecánica cuántica– es para algunas personas una partícula individual, para otras consiste en un conjunto estadístico de ellas, mientras que para otras más son *quantones*, los cuales pueden revelarse como partículas (localizadas, puntos materiales), pero también como ondas (extensas, deslocalizadas), sin que tengamos reglas precisas que fijen cuándo es una o la otra.

La ambigüedad conceptual de la teoría, aunada a sus transcendentales baches, como los referidos, ha conducido a que toda una serie de autores hayan propuesto, cada uno por su lado, su interpretación (o visión) personal sobre el contenido físico de la teoría cuántica. Así, circulan en la literatura científica cosa de docena y media de interpretaciones diferentes, que fácilmente entran en conflicto unas con otras. ¿Cuál debemos adoptar para la enseñanza en el






aula y para nuestro trabajo cotidiano? ¿Según qué criterio preferimos una por sobre las otras? Y si por comodidad, ignorancia u otra razón, tomamos el camino aparentemente cómodo de seleccionar la interpretación dominante, la «oficial» –llámase así a la de Copenhague–, resulta que hay cerca de media docena de variantes de ella. ¿Cuál deberíamos preferir si hemos de hacerlo con honestidad? En la práctica cotidiana tal selección es aparentemente un resultado accidental.

La pregunta crucial: ¿cómo puede ser que la teoría fundamental de los átomos y las moléculas, de la materia en general, sea tan indefinida –tan esponjosa– que resulta capaz de aceptar una veintena de diferentes interpretaciones, incluso contradicciones? Aunque la pregunta es obvia, la respuesta no lo es, como lo demuestra la misma abundancia de interpretaciones diversas y contradictorias de la teoría. Es característico que su aparato matemático, su formalismo, en general no se discute, sino que tiende a ser unánimemente aceptado; luego es el contenido físico lo que entra en juego.

El punto es que el lenguaje formal es oscuro en sí mismo; para emplear el término con el que se calificó desde el inicio a la teoría de Heisenberg, el resultado final que nos ofrece es «físicamente invisualizable». No nos dice, por ejemplo, qué hace un electrón atómico, cómo es su órbita en particular, sino que dice cómo se distribuye en el espacio atómico un conjunto estadístico de los electrones en la situación dada. Y no lo dice en términos de una descripción en el espacio físico del átomo, sino en un espacio matemático (un espacio de Hilbert).

No conocemos con detalle cómo son las órbitas atómicas, pues la teoría no las describe; hay incluso quienes niegan su existencia, pese a que es posible averiguar varias de sus propiedades. En síntesis, no sabemos cómo se mueve un electrón atómico. La noción de órbita atómica,



así como la de trayectoria del electrón, no son una parte común de la teoría cuántica.

Una teoría física –sobre todo si es fundamental– no acepta reinterpretaciones, y menos meramente individuales. Y es que la interpretación de la teoría (su semántica) le es parte consustancial: queda establecida como un contenido adjunto al formalismo y le asigna a éste su sentido físico. En la segunda ley de Newton ($F = m a$), ninguno de los tres símbolos semánticos puede cambiar de significado sin que se pierda radicalmente el sentido original de la expresión. Dejaría de ser una ley de la naturaleza para convertirse en una interpretación personal, la primera ley de Sutanito.

Pero a pesar de todo ello, circulan docena y media de «mecánicas cuánticas». ¿Cómo podemos entender esta perseverancia? Es obvio que no es cuestión de capricho o gusto personal, sino más bien de disgusto personal hacia la visión en circulación, la predominante. Algo sustancial falla. Y a pesar de que la falla es sustancial, la teoría es correcta, como lo prueban su impresionante capacidad predictiva y precisión. Recordemos: con todas sus fallas, la mecánica cuántica nunca ha fallado.

La única conclusión posible es que eso consustancial que falla no falla por fallido, sino por ausencia, por extravío, porque le hace falta a la teoría. Y debe ser un elemento muy importante, pero cuya falta no ha impedido esa capacidad predictiva, aquella veracidad sistemática de las predicciones. Ésta es una contradicción sorprendente: falta algo muy importante, seguramente consustancial a la teoría, ¡pero la porción de teoría que resulta es excelente!

Esto mismo apunta hacia la solución del dilema. Hoy sabemos que a la mecánica cuántica contemporánea le falta un elemento para reintegrarle causalidad. De aquí resulta posible agregar lo requerido corrigiendo simultáneamente la falta de causalidad y el indeterminismo. Y





más aún, el elemento faltante es conocido para la mecánica cuántica desde su mismo nacimiento: estaba a la mano y sigue estando en espera de que entendamos que debemos agregarlo.

Lo que le falta a la teoría es obviamente la fuente –la causa– de las fluctuaciones cuánticas. Esto significa que se requiere agregar un elemento naturalmente estocástico, capaz de imprimirle al sistema sus fluctuaciones características. Este elemento, conocido desde 1912 cuando Max Planck lo descubrió –14 años antes de la teoría de Heisenberg–, es el campo electromagnético de punto cero (CPC), un campo electromagnético que se mantiene activo a una temperatura de cero kelvin. Se trata de un campo

residual, posiblemente generado a lo largo de los millones de milenios de la evolución del universo, que se mantiene como un campo electromagnético estacionario de fondo que llena uniformemente todo el espacio, con propiedades estadísticas bien conocidas. Lo singular y sorprendente del asunto es que, siendo ésta la medicina que le urge a la mecánica cuántica, esta última ha prescindido absolutamente del remedio que la puede curar. Y la teoría ha vivido así durante un siglo, con los obvios problemas de acausalidad e indeterminismo. Parece que la convicción de la total validez y completitud de la mecánica cuántica ha conducido a que, con excepciones muy contadas, al CPC no sólo no se le use en la mecánica cuántica, sino que ni siquiera se le recuerde.

Es interesante observar que la introducción del CPC resuelve varios problemas adicionales de la mecánica cuántica actual. Excepto por los estados atómicos de mínima energía, el resto de los estados no son estables. Los electrones atómicos realizan con frecuencia transiciones entre estados al absorber o emitir un fotón –un cuanto de radiación electromagnética que posee energía bien definida (la diferencia de energías de las órbitas involucradas en la transición)–. El mecanismo de estas transiciones se ha conocido y explicado perfectamente, pero no por la mecánica cuántica, sino por la electrodinámica cuántica, que es una teoría más avanzada. La explicación hace uso del CPC, pero lo considera un «campo virtual».

Con la incorporación del CPC como elemento central de su ontología (es decir, como campo físico, real y activo), el cambio que experimenta la mecánica cuántica es, pues, transparente y natural, pero no por ello menos radical. Así, la introducción de este elemento subcuántico abre la posibilidad de abordar el asunto de la «invisualizabilidad» de la solución atómica, problema que aún está pendiente por resolver.

Hacia el diseño racional de moléculas:

estrategias cuánticas en química

Rubicelia Vargas Fosada

Profesora titular del Departamento de
Química de la División de Ciencias Básicas
e Ingeniería de la Universidad Autónoma
Metropolitana, unidad Iztapalapa.

La palabra *cuántico* o *cuántica* ha adquirido una presencia cada vez más prominente en nuestro vocabulario cotidiano. Un ejemplo de ello son los televisores QLED (diodos emisores de luz cuántica) de alta definición, los cuales recientemente han experimentado un notable aumento en popularidad. En parte, esto se debe al hecho de que el Premio Nobel de Química de 2023 fue otorgado a los investigadores que descubrieron y sintetizaron por primera vez unas diminutas estructuras conocidas como puntos cuánticos, que constituyen la base de la tecnología QLED. A pesar de que antes no se escuchaba esta palabra con tanta frecuencia, el fenómeno cuántico forma parte de nuestra vida, pero no necesariamente de nuestra experiencia diaria. ¿Por qué sucede esto?

En términos generales, sabemos que todo en el universo está compuesto por átomos. Aunque reconocemos su existencia, no los percibimos a simple vista, debido a su diminuto tamaño. Además, sabemos que dentro de los átomos hay partículas aún más diminutas, como los electrones, que son cien mil veces más pequeños que los propios átomos. Para describir el comportamiento de estas partículas, se requiere de una física distinta a la que gobierna a los objetos de mayor escala, aquéllos que podemos percibir a simple vista o incluso observar con los telescopios. Es en este mundo de lo ínfimo donde

se manifiesta el comportamiento cuántico de la materia.

Un poco de historia

El término *cuántico* proviene del vocablo *cuanto*, propuesto por Max Planck en 1900 para explicar la conversión de la energía de un cuerpo en radiación electromagnética, lo que comúnmente llamamos luz. Se sabe que cualquier objeto que absorba cierta cantidad de energía, como la térmica, emitirá luz de color variado, cuya longitud de onda e intensidad dependerán de la temperatura. Antes de 1900, pese a los diversos intentos por ajustar los modelos matemáticos y reproducir lo observado, ninguno arrojó resultados precisos conforme a los enfoques de la física conocida hasta ese momento. Pero Planck introdujo una propuesta revolucionaria: los cuantos de energía.

Inicialmente, Planck usó un método para conciliar el modelo matemático con los resultados experimentales. Sin embargo, al buscar la justificación teórica de esta propuesta, se vio compelido a proponer algo que supuso una auténtica revolución en la ciencia de su época: la energía de la radiación proveniente de un objeto caliente no podía ser continua; en su lugar, debía agruparse en lo que Planck denominó cuantos de energía o, en otras palabras, paquetes de





energía. Esto se puede comparar a distribuir agua en cubetas en lugar de con una manguera, si acaso sirve la analogía visual.

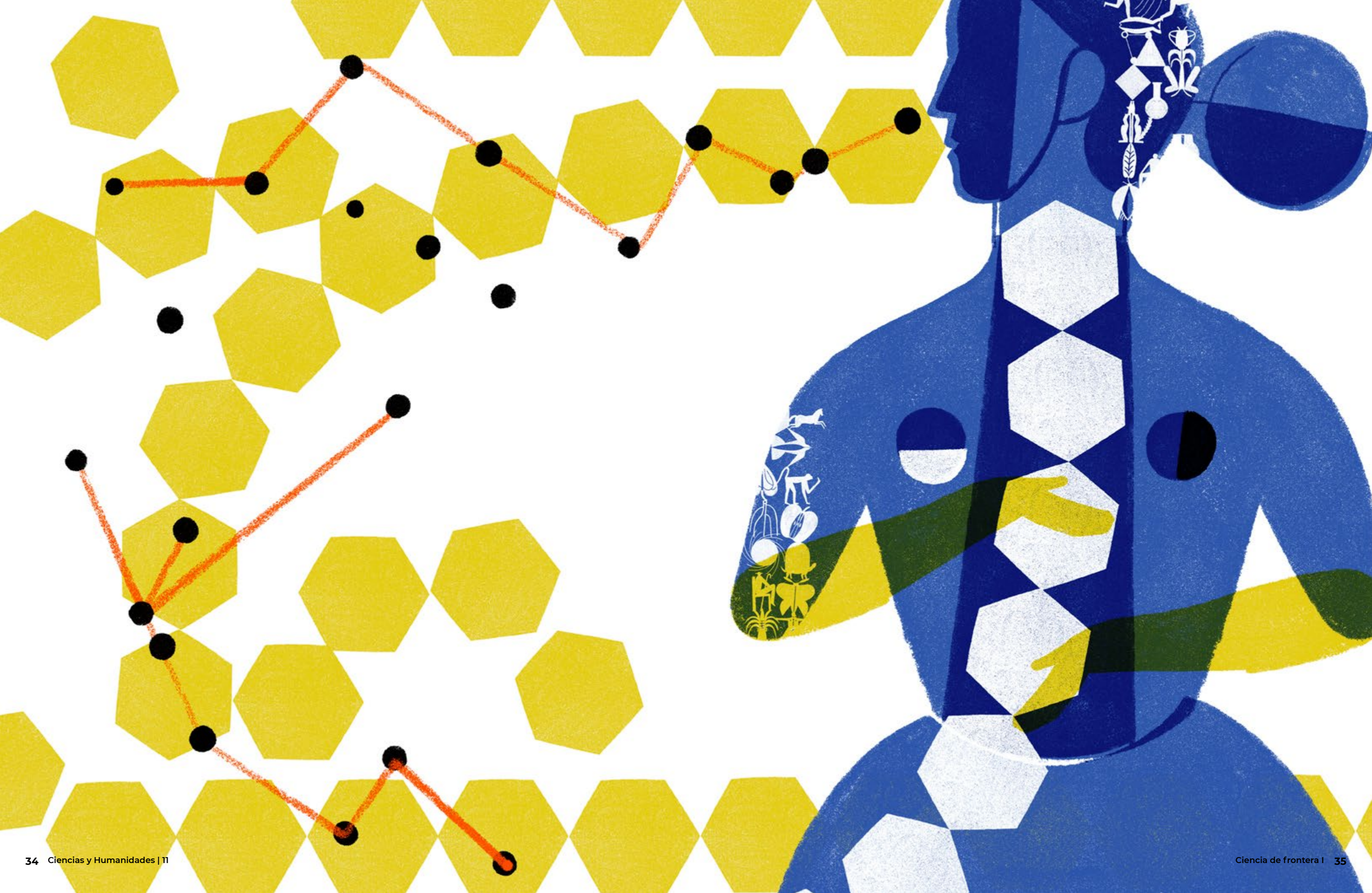
Planck formuló los cuantos de energía en una ecuación simple: $E = h \nu$. En esta expresión, la energía (E) de cada paquete está directamente relacionada con la frecuencia de la luz (ν), y h es la constante de proporcionalidad, que equivale a 6.63×10^{-34} joules/segundo. La hoy conocida como constante de Planck se caracteriza por su valor extremadamente pequeño.

La innovadora idea de Planck marcó el inicio de una nueva forma de explorar el mundo y el comienzo de una revolución científica. En 1924, Louis de Broglie postuló el comportamiento dual de la materia: propuso que la longitud de onda (λ) de una partícula seguía la ecuación: $\lambda = h / m \nu$, donde m es la masa y ν es la velocidad de la partícula. Nótese la relación entre una propiedad de onda (λ) y un atributo de una partícula, en este caso, su masa (m). Esto significa que toda la materia podría ser difractada, al igual que ocurre con la luz, lo que se demostró en 1927 mediante un experimento en el que se observó la difracción de electrones. Usemos ahora a De Broglie para calcular la longitud de onda de Usain Bolt si corre a una velocidad de 45 km/h. En la ecuación $\lambda = h / m \nu$, considerando que Bolt tiene una masa aproximada de 90 kg, su longitud de onda sería 1.63×10^{-43} mm, una

medida increíblemente diminuta, debido al valor tan pequeño de h . Por esta razón nunca lo veríamos difractándose, como en el caso de los electrones, porque sería necesaria una rendija pequeñísima.

A principios del siglo XX, los cuantos de energía desencadenaron avances significativos en la ciencia. En este contexto surge el modelo mecánico cuántico del átomo. Ahora podemos comprender el significado de estas palabras: *mecánico* proviene del término utilizado en la física para estudiar el movimiento de los cuerpos, y *cuántico* hace referencia a la cuantización de la energía propuesta por Planck. De esta forma, la química cuántica usa la mecánica cuántica para conocer el comportamiento de la materia a nivel atómico y molecular, con el fin de predecir cómo interaccionarán las moléculas entre sí, lo que definirá algunas propiedades a nivel macroscópico.

A diferencia del modelo atómico de Niels Bohr (1917), Erwin Schrödinger no impuso la cuantización de la energía en el átomo, pero ésta aparece al resolver su ecuación. El modelo de Schrödinger (1926) se ha empleado con mayor amplitud para describir a los átomos y moléculas en la química cuántica. Así, es fácil imaginar la complejidad de reunir todas las interacciones entre partículas en una ecuación y, más aún, de resolverla.





Al encontrar la solución de la ecuación de Schrödinger, además de la energía del sistema, se obtiene otra cantidad de enorme importancia, conocida como función de onda (ψ), que también es llamada orbital. Por sí sola, la ψ carece de un significado físico definido; sin embargo, el cuadrado de esta función representa la densidad de probabilidad electrónica, es decir, la zona donde es probable encontrar a los electrones. De este modo, a diferencia de lo que ocurre en la mecánica clásica, ya no hay certeza sobre la posición o velocidad de los electrones. Debemos contentarnos con saber que es más o menos probable encontrarlos en unas regiones; esto es un resultado del comportamiento ondulatorio de la materia. La química cuántica estudia la estructura de los materiales, con el objetivo de prever cómo cambian sus propiedades ante variaciones en su configuración o estructura electrónica, lo que modifica la densidad de probabilidad electrónica.

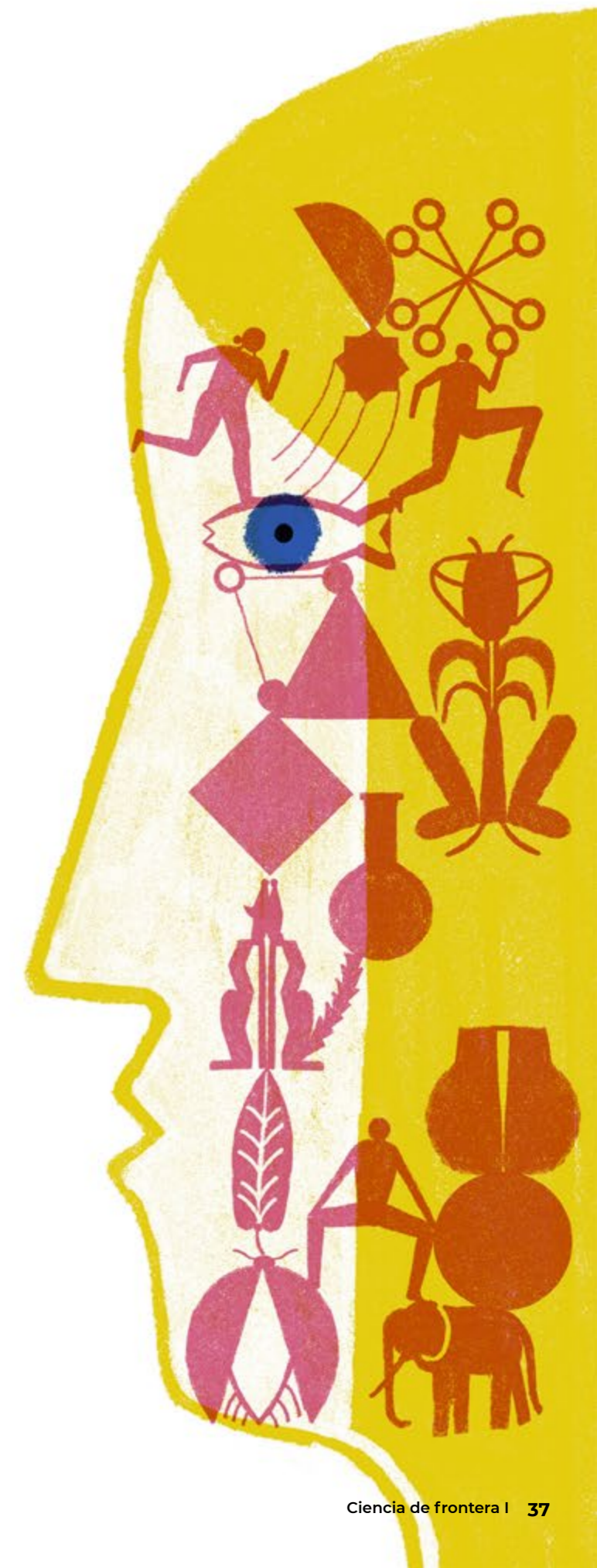
Aplicaciones de la química cuántica

Si resolvemos la ecuación de Schrödinger para la molécula de agua (H_2O), obtenemos su función de onda y, por ende, su densidad de probabilidad electrónica, tendremos la gráfica de la figura 1. Es más probable encontrar a los electrones que conforman la molécula cerca de los

núcleos de cada átomo de hidrógeno (H) y de oxígeno (O), pero también hay densidad electrónica entre ellos, lo que denominamos enlace en términos químicos. Esta distribución de la densidad electrónica permite predecir cómo interactúan los átomos; pero no sólo eso, además, hay teorías en la química cuántica que cuantifican la fuerza con la que se unen.

En la actualidad, para estudiar los átomos y las moléculas se debe resolver la ecuación de Schrödinger. No obstante, el desafío es que sólo podemos aproximar la solución de esta ecuación cuando se trata de sistemas con más de un electrón. Para esto se vuelve esencial emplear herramientas matemáticas y computacionales. De esta forma, la química cuántica requiere, además, desarrollar y utilizar programas de cómputo para resolver la ecuación de Schrödinger, ya sea para átomos, moléculas de pequeño o gran tamaño –como las proteínas o el ADN–, así como para sólidos o superficies. ¿Y para qué nos sirve esto? Lo veremos a continuación.

Un ejemplo de aplicación directa de gran relevancia es la comprensión de la estructura y geometría de las moléculas; es decir, cómo se unen los átomos para constituir la molécula y cómo se distribuyen en el espacio tridimensional. Esta información proporciona valiosas indicaciones acerca de la reactividad química o de cómo puede interactuar con otras moléculas.



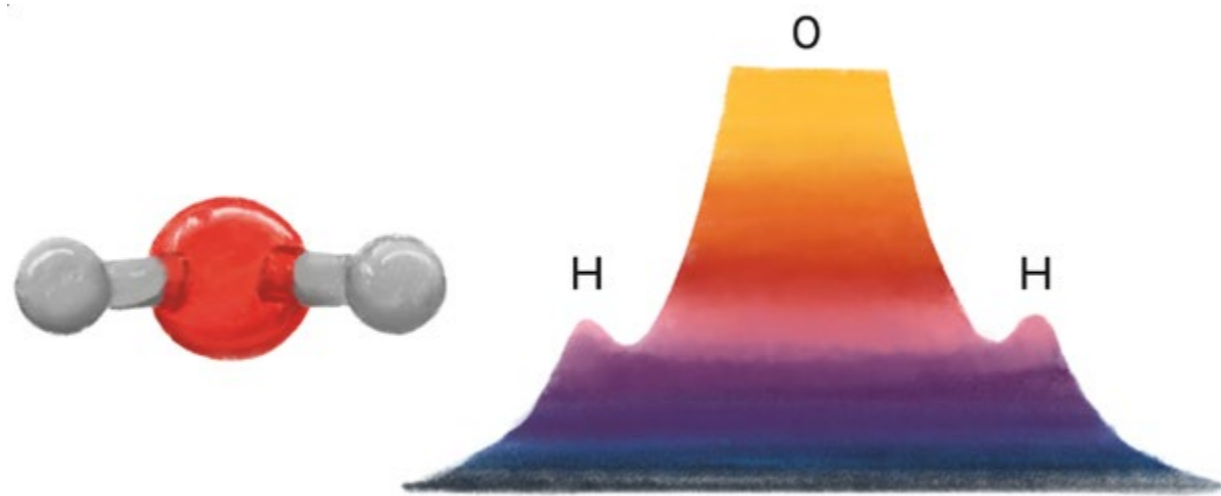


Figura 1.

A la izquierda se representa la molécula de agua (H_2O): la esfera roja es el átomo de oxígeno (O) y las grises son los átomos de hidrógeno (H).

A la derecha, la densidad de probabilidad electrónica del agua: es mayor cerca de los núcleos de los átomos. Nótese la densidad de probabilidad entre O y H.

Las aplicaciones de la química cuántica son vastas y diversas, pero nos enfocaremos en la utilidad de la densidad electrónica mediante la obtención de la función de onda. Un campo crucial en nuestra vida es el diseño y desarrollo de fármacos, donde la química cuántica desempeña un papel fundamental. Con ella, podemos anticipar cómo un fármaco interactuará con su objetivo terapéutico.

Para ilustrar esto, consideremos un fármaco utilizado en psiquiatría para tratar la esquizofrenia: la risperidona. Sabemos que este fármaco interactúa con los receptores de dopamina (D2) para prevenir alucinaciones y otros síntomas asociados a la enfermedad, aunque el

mecanismo exacto no está completamente elucidado. Los receptores de dopamina son proteínas que están distribuidas en varias áreas del sistema nervioso central. Mediante la densidad electrónica obtenida con métodos de química cuántica, podemos analizar cómo la risperidona interactúa con un modelo del receptor D2 para comprender a nivel atómico los detalles de esta interacción (Figura 2). Estos análisis nos ayudan a determinar qué partes de la molécula de risperidona son cruciales para la acción del fármaco, lo que contribuye al desarrollo de nuevas medicinas que puedan reducir, por ejemplo, los efectos secundarios. Recientemente, nuestro grupo de investigación ha abordado este

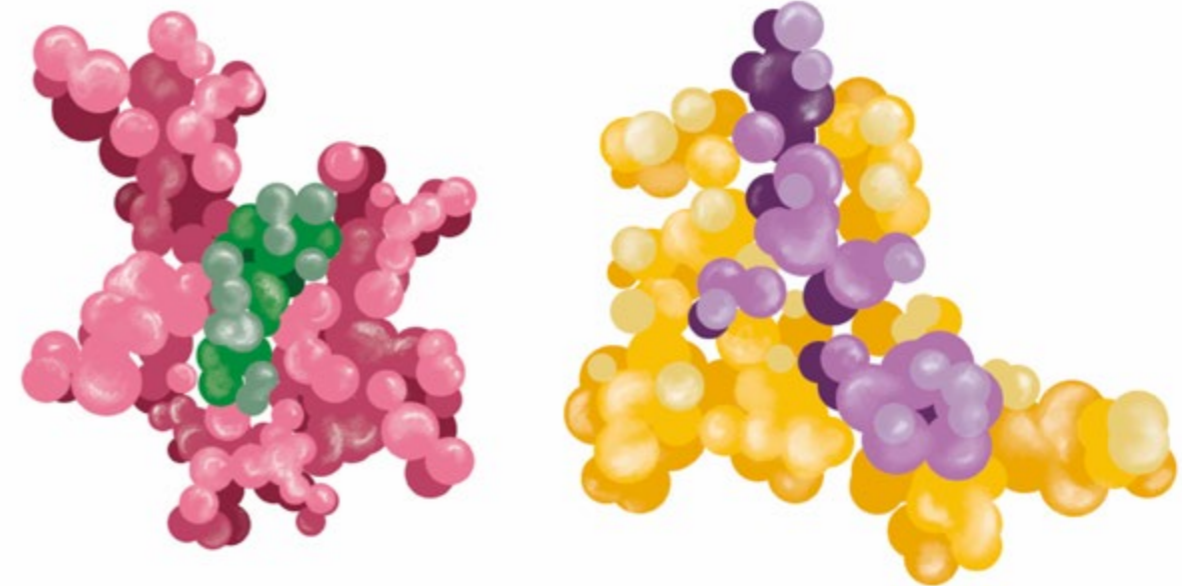


Figura 2.

A la izquierda, se representan las densidades electrónicas de la molécula de risperidona (verde) y un modelo del receptor D2 (magenta).

A la derecha, la densidad del inhibidor N3 (en morado) interactuando con un modelo de la proteasa principal del virus SARS-CoV-2 (amarillo).

problema al estudiar más fármacos y diversos receptores (Martínez *et al.*, 2021).

Durante la pandemia desencadenada por el virus SARS-CoV-2, la comunidad científica, desde muy diversas disciplinas, se abocó a buscar alternativas, no sólo para las vacunas, sino también para los medicamentos antivirales. Antes de que apareciera este devastador virus, en 2002 surgió el SARS-CoV. A partir de las investigaciones se descubrió que ambos virus compartían proteasas muy similares, las cuales son enzimas que rompen proteínas y tienen una función fundamental en la replicación del virus. Entonces se planteó la posibilidad de que los inhibidores dirigidos contra una de las prin-

cipales proteasas del SARS-CoV pudiesen ejercer un efecto inhibitorio sobre el SARS-CoV-2. Una estrategia potencial para probar esta hipótesis implica el empleo de la química cuántica, con el fin de examinar la interacción entre los inhibidores y ambas proteasas. Dado que se dispone de las estructuras de dichas proteasas y de los inhibidores, es factible evaluar, a partir de la densidad electrónica, si interactúan de manera semejante (Figura 2). Este estudio representó una de las contribuciones de nuestro grupo de investigación (García-Gutiérrez *et al.*, 2021).

Los acarreadores de fármacos, también conocidos como plataformas moleculares, son estructuras químicas diseñadas para transportar



y liberar estas sustancias de manera controlada en el organismo. Su finalidad es dirigir el fármaco hacia el sitio específico de acción, mientras lo protege de la degradación o metabolización prematura, con lo cual asegura su eficacia. Existen diversos tipos de acarreadores, y recientemente se han propuesto las estructuras metalorgánicas, conocidas como MOF (*metal-organic frameworks*), para esta función. Éstas presentan cavidades que se pueden diseñar a medida según el ligante o metal utilizado. Para determinar si una MOF en particular puede utilizarse como acarreador para un fármaco específico, es posible emplear el análisis de la densidad electrónica de la interacción entre ambas, lo que permite prever si la interacción es favorable o si la estructura de la MOF requiere modificaciones para mejorar la viabilidad del transporte. En la figura 3 se ilustra un ejemplo de este proceso (Medel *et al.*, 2023).

Es fácil concebir que para resolver las ecuaciones implicadas en la descripción cuántica de la materia hay que usar recursos computacionales considerables. En efecto, la química cuántica demanda lo que se conoce como supercomputadoras, es decir, sistemas con una notable capacidad de cálculo y almacenamiento de datos. Asimismo, los avances en tecnología informática cada vez permiten estudiar moléculas de menor tamaño. En tiempos recientes, tam-

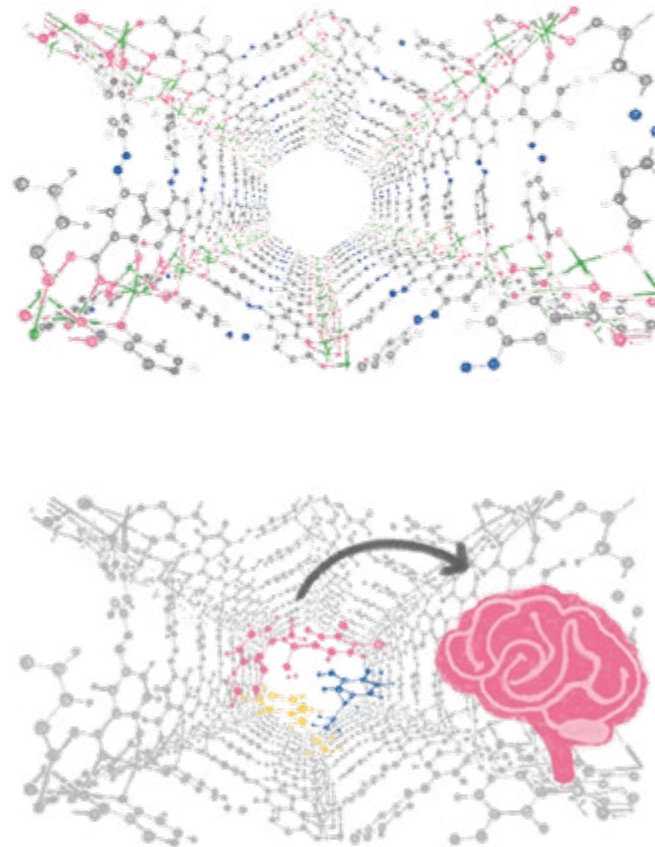


Figura 3. Estructuras metalorgánicas (MOF) como acarreadores de fármacos relacionados con el sistema nervioso central. Fuente: adaptado de Atkins y De Paula (2008).

bién se han incorporado tarjetas gráficas (GPU), inicialmente diseñadas para videojuegos; nuestro grupo ha desarrollado el software GPUAM para hacer el análisis y la visualización de la densidad electrónica con estas tarjetas gráficas (Hernández-Esparza *et al.*, 2014).

Conclusiones

Los fenómenos cuánticos de los materiales sólo se manifiestan en una escala subatómica y no forman parte de nuestra experiencia cotidiana. La química cuántica es la aplicación de la mecánica cuántica para estudiar los sistemas cuánticos; en este campo, la ecuación de Schrödinger es la piedra angular para analizar la materia a nivel molecular, a partir de lo cual se deriva la densidad de probabilidad electrónica. Esta última contiene una cantidad significativa de información que resulta invaluable en áreas como la química farmacológica. Así, la química cuántica representa una fusión entre la física, las matemáticas y la computación, lo que la convierte en una disciplina sumamente fascinante y relevante en diversas áreas del estudio de los materiales.

Referencias

- Atkins, P. y De Paula, J. (2008). *Química Física*. Editorial Médica Panamericana.
- García-Gutiérrez, P., Zubillaga, R., Ibarra, A., Martínez, A., Vargas, R. y Garza, J. (2021). Non-conventional interactions of N3 inhibitor with the main protease of SARS-CoV and SARS-CoV-2. *Computational and Structural Biotechnology Journal*, 19, 4669-4675. doi.org/10.1016/j.csbj.2021.08.015
- Hernández-Esparza, R., Mejía-Chica, S. M., Zapata-Escobar, D. A., Guevara-García, A., Martínez-Melchor, A., Hernández-Pérez, J. M., Vargas, R. y Garza, J. (2014). Grid-Based Algorithm to Search Critical Points, in the Electron Density, Accelerated by Graphics Processing Units. *Journal of Computational Chemistry*, 35, 2272-2278. doi.org/10.1002/jcc.23752
- Martínez, A., García-Gutiérrez, P., Zubillaga, R., Garza, J. y Vargas, R. (2021). Main interactions of dopamine and risperidone with the dopamine D2 receptor. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 23, 14224-14230. doi.org/10.1039/d1cp01637g
- Medel, E., Ibarra, A., Martínez, A., Garza, J. y Vargas, R. (2023). Non-covalent interactions in biocompatible platforms for drug delivery: Mg2(olsalazine) Metal-Organic Framework with phenylethylamine, dopamine and sertraline. *Computational and Theoretical Chemistry*, 1228, 114265. doi.org/10.1016/j.comptc.2023.114265

Exploración del clima en el espacio sideral

Humberto Salazar Ibargüen

Investigador de la Facultad de Ciencias
Físico Matemáticas de la Benemérita
Universidad Autónoma de Puebla.

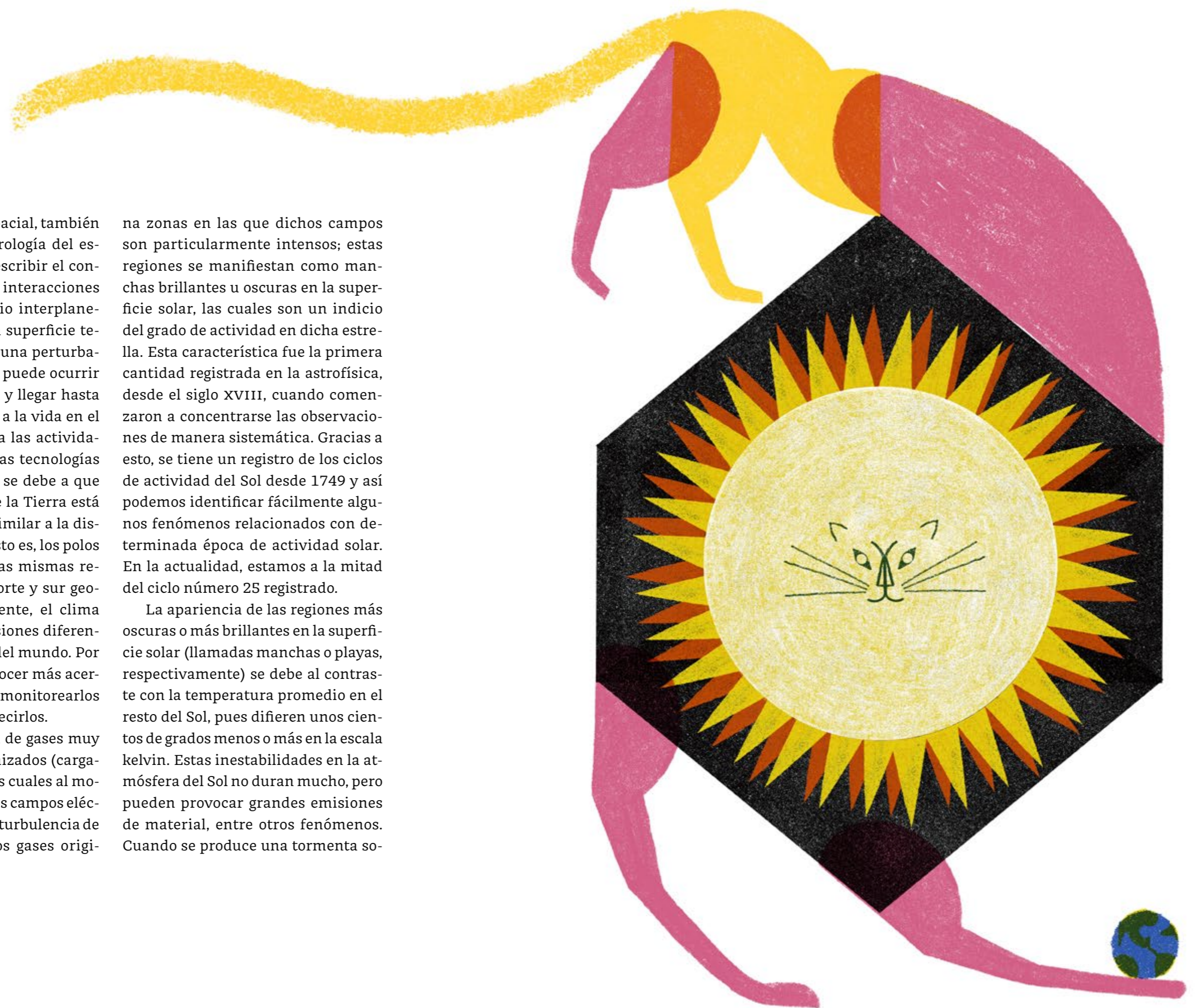


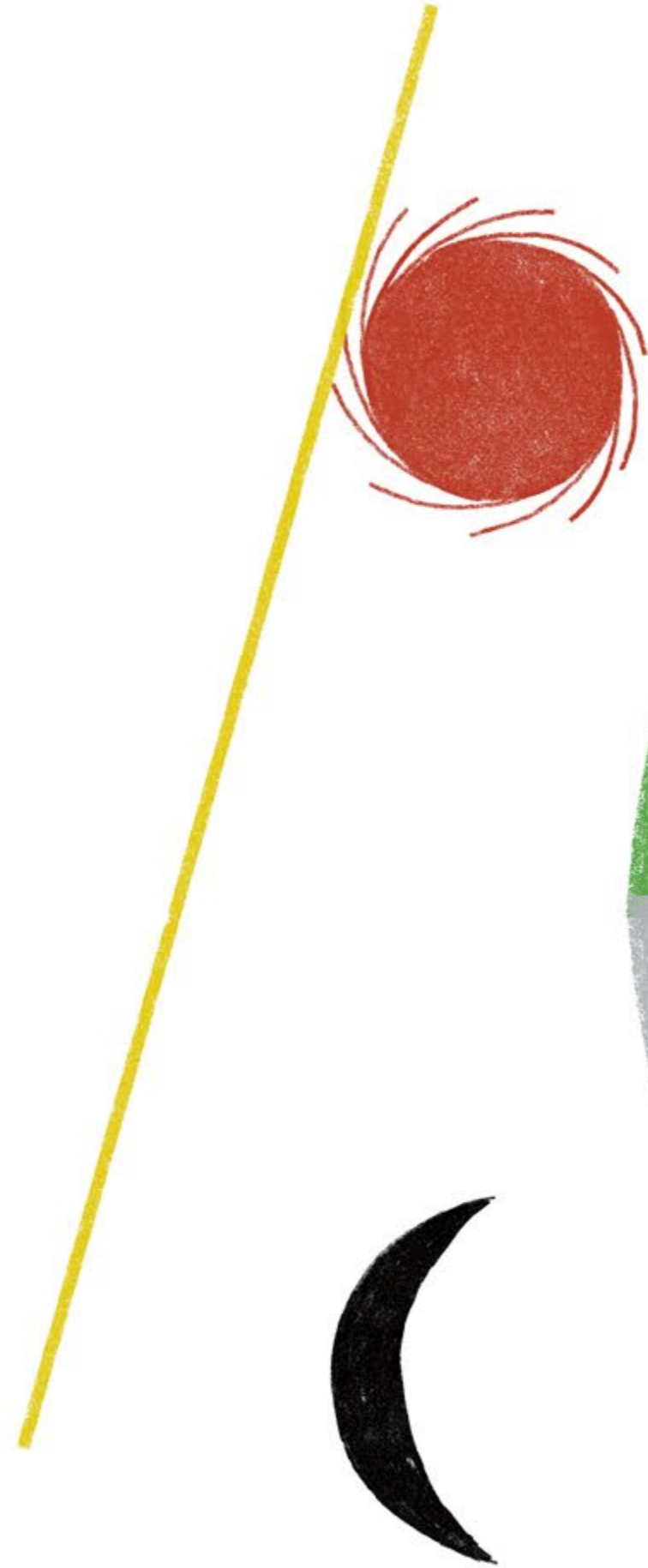
El estudio del clima espacial, también conocido como meteorología del espacio, se encarga de describir el conjunto de fenómenos e interacciones físicas del Sol, el medio interplanetario, la atmósfera y la superficie terrestre. Por lo general, una perturbación del clima espacial puede ocurrir en la superficie del Sol y llegar hasta la Tierra, donde afecta a la vida en el planeta y, sobre todo, a las actividades relacionadas con las tecnologías modernas. Lo anterior se debe a que el campo magnético de la Tierra está orientado de manera similar a la distribución geográfica, esto es, los polos magnéticos están en las mismas regiones que los polos norte y sur geográficos; por consiguiente, el clima espacial tiene repercusiones diferentes en diversas partes del mundo. Por ello, es importante conocer más acerca de estos fenómenos, monitorearlos y –en dado caso– predecirlos.

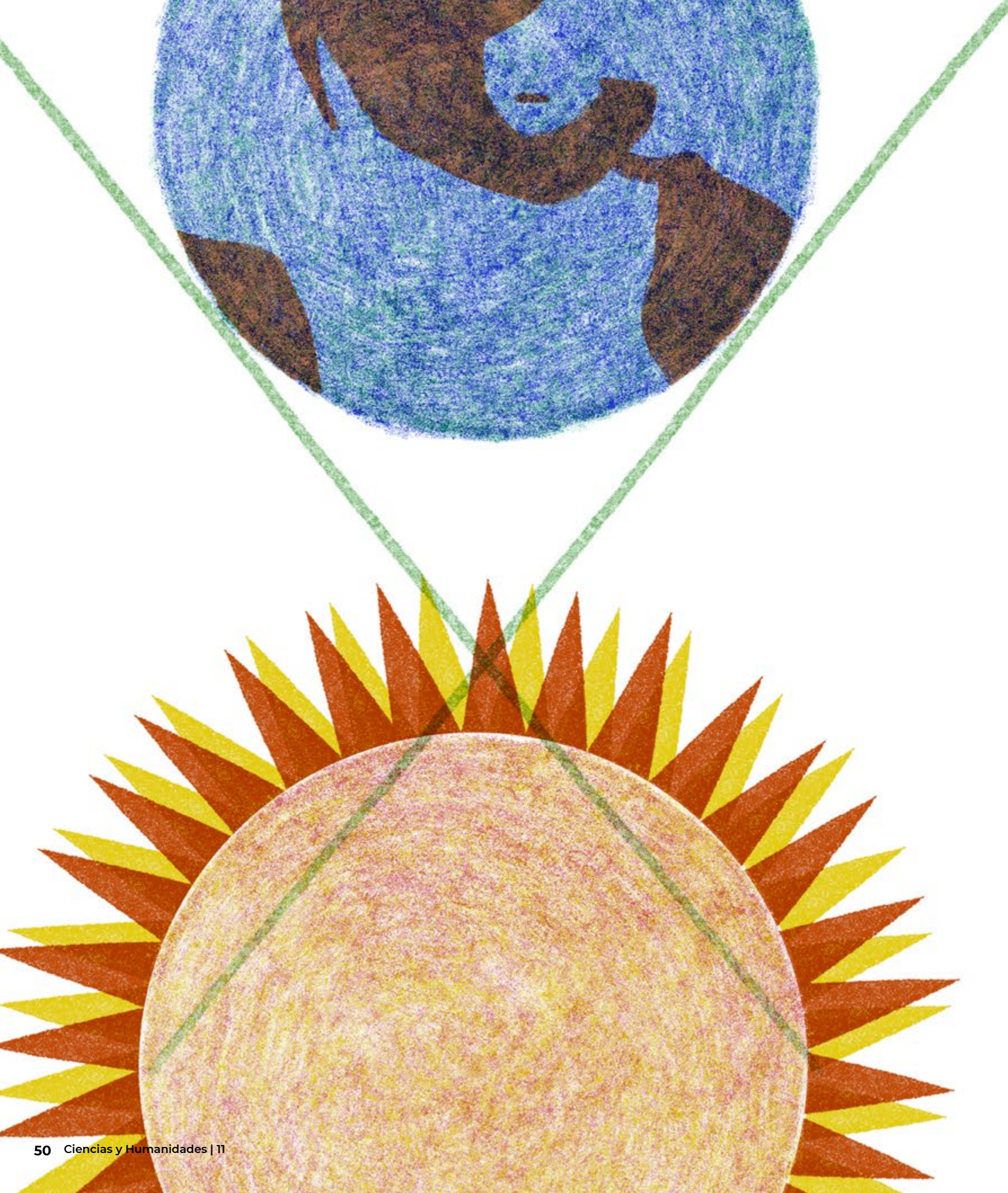
El Sol es una esfera de gases muy calientes y, por ello, ionizados (cargados eléctricamente), los cuales al moverse producen intensos campos eléctricos y magnéticos. La turbulencia de los movimientos de los gases origi-

na zonas en las que dichos campos son particularmente intensos; estas regiones se manifiestan como manchas brillantes u oscuras en la superficie solar, las cuales son un indicio del grado de actividad en dicha estrella. Esta característica fue la primera cantidad registrada en la astrofísica, desde el siglo XVIII, cuando comenzaron a concentrarse las observaciones de manera sistemática. Gracias a esto, se tiene un registro de los ciclos de actividad del Sol desde 1749 y así podemos identificar fácilmente algunos fenómenos relacionados con determinada época de actividad solar. En la actualidad, estamos a la mitad del ciclo número 25 registrado.

La apariencia de las regiones más oscuras o más brillantes en la superficie solar (llamadas manchas o playas, respectivamente) se debe al contraste con la temperatura promedio en el resto del Sol, pues difieren unos cientos de grados menos o más en la escala kelvin. Estas inestabilidades en la atmósfera del Sol no duran mucho, pero pueden provocar grandes emisiones de material, entre otros fenómenos. Cuando se produce una tormenta so-







lar, ésta atraviesa la corona del Sol y perturba el viento solar. Cuando éste llega a la Tierra, interacciona con la magnetosfera terrestre, que desvía las partículas cargadas (principalmente electrones y núcleos atómicos ionizados) hacia las líneas del campo magnético terrestre, donde chocan con la atmósfera y la ionosfera. Esto es lo que origina las auroras polares. En ocasiones excepcionales y durante eventos de alta actividad solar, las auroras pueden verse en latitudes más bajas, como ocurrió el 10 de mayo del presente año.

Efectos del clima espacial

Los diferentes fenómenos del clima espacial pueden afectar a varias de las tecnologías de distribución de energía y telecomunicaciones en la Tierra. Por ejemplo, las erupciones solares pueden producir rayos X intensos que degradan o bloquean las ondas de radio de alta frecuencia que se usan en las telecomunicaciones; estos eventos son conocidos como tormentas de radio (o apagón de radio). Asimismo, las partículas solares

energéticas (protones energéticos) pueden penetrar los circuitos electrónicos de los satélites y causar fallas eléctricas; además, también bloquean las comunicaciones de radio en latitudes altas durante las tormentas de radiación solar.

Por otra parte, las eyecciones de masa coronal son fenómenos explosivos en los que el Sol expulsa una gran cantidad de material de manera muy violenta; aunado a esto, ocurren perturbaciones intensas en el campo magnético, desde la corona solar hacia el espacio interplanetario. Estas eyecciones pueden provocar tormentas geomagnéticas en la Tierra e inducir corrientes adicionales en el suelo que llegan a ocasionar sobrecargas tanto en las líneas de transmisión como en los transformadores de la red de distribución eléctrica, con unos efectos que podrían ser muy graves por los daños generados en la infraestructura y por el tiempo necesario para su reparación. Además, las tormentas geomagnéticas pueden modificar la señal de los dispositivos para navegación por radio del sistema de posicionamiento global (GPS) y



del sistema global de navegación por satélite (GNSS), lo que provoca una precisión degradada. De esta manera, el clima espacial puede afectar a las personas y los procesos que dependen de este tipo de tecnologías.

Los efectos del clima espacial en la Tierra, en su espacio exterior cercano y en sus tecnologías por lo general se relacionan con eventos de corta duración (horas o días); sin embargo, algunos fenómenos que tienen una gran importancia para definir el clima espacial ocurren en ciclos de larga duración, como los de actividad solar (medidos por el número de manchas solares), que tardan aproximadamente 11 años. Es importante señalar que el campo magnético del Sol se invierte cada que cumple un ciclo, por lo que recupera su orientación original cada 22 años. En los máximos de estos ciclos largos han sucedido, en repetidas ocasiones, fenómenos de corta duración que han afectado a la Tierra de una manera espectacular, por ejemplo:

- En el siglo XVIII se observó una aurora boreal de gran intensi-

dad en muchas partes del mundo (Luna y Biro, 2017). Este evento es conocido como la Gran Aurora de 1789 y se produjo en el máximo del cuarto ciclo solar monitoreado. Las auroras boreales fueron visibles en latitudes inusualmente bajas, incluidas regiones ecuatoriales. En México se documentaron estos eventos ampliamente, y se dice que era posible leer en las noches sin necesidad de iluminación artificial.

- En 1859 ocurrió el llamado Evento Carrington, que dio lugar a auroras boreales en latitudes inusualmente bajas (Clauer y Siscoe, 2006), incluso en regiones como Puebla y Oaxaca. El Evento Carrington coincide con el máximo del ciclo solar monitoreado número 10, y es el más famoso de auroras observadas en todo el mundo.
- En 1989, una intensa tormenta geomagnética, la cual es recordada como la tormenta magnética de Quebec, causó que las auroras boreales fueran visibles en latitudes que incluyen partes del noreste de Estados Unidos. Esta tormenta

solar corresponde con el máximo del ciclo solar monitoreado número 22 y afectó a la red eléctrica en Quebec, donde hubo un apagón masivo.

Aunque la actividad solar intensa puede aumentar la probabilidad de que las auroras sean visibles en latitudes más bajas, no todos los máximos solares resultan en auroras cerca del ecuador. Otros factores, como la orientación del campo magnético terrestre y la intensidad de la tormenta solar, también influyen en la visibilidad de las auroras en regiones poco probables.

Estos espectaculares y potencialmente catastróficos efectos históricos no son los únicos producidos por el aumento de la actividad solar. De hecho, en la actualidad pueden ser más evidentes con el desarrollo de la tecnología, pues afectan el desempeño de muchos dispositivos y sistemas de los que dependemos enormemente. Por ejemplo, los eventos geomagnéticos de 2003 (tormenta solar de Halloween) y 2013 se desarrollaron en los máximos de los ciclos solares

monitoreados números 23 y 24, respectivamente, y tuvieron efectos significativos en las redes eléctricas y las comunicaciones. Afortunadamente, en estas tormentas solares se aplicaron valiosas lecciones aprendidas de la tormenta magnética de Quebec en 1989, lo cual contribuyó a disminuir su impacto (Figura 1).

Exploración del clima espacial mediante rayos cósmicos

Cabe destacar que la mayoría de los estudios relacionados con el monitoreo del clima espacial se llevan a cabo con satélites y sondas espaciales complejas y costosas, que proporcionan una visión del Sol y su actividad en tiempo prácticamente real, lo que permite hacer predicciones del clima espacial. Las investigaciones realizadas con estos instrumentos también nos ayudan a comprender mejor la física solar y los fenómenos asociados, algo fundamental para el pronóstico del clima espacial y, en consecuencia, para planear cómo proteger los sistemas tecnológicos en la Tierra y en el espacio.

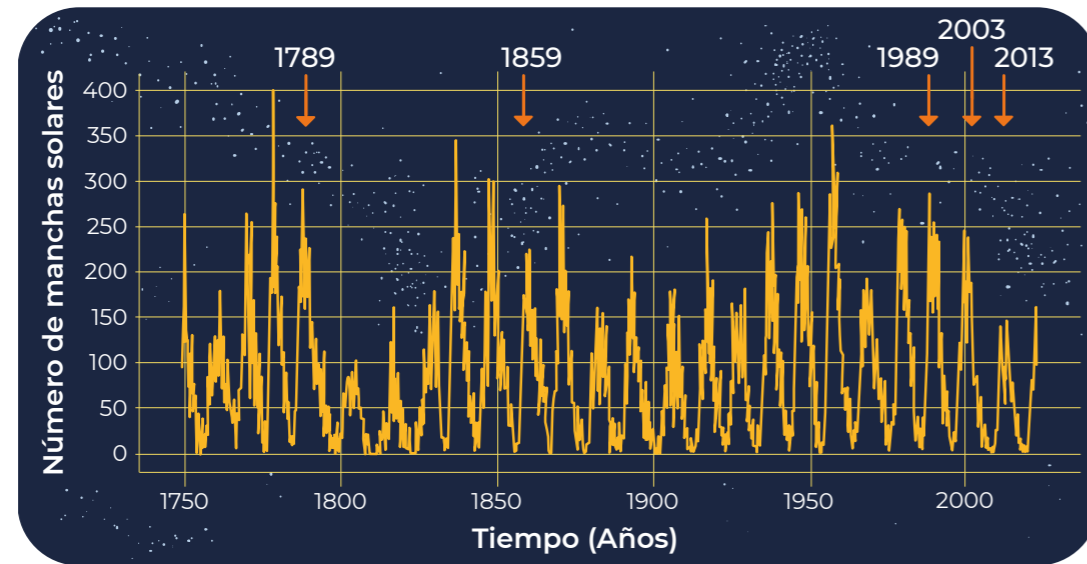


Figura 1.

Actividad solar mensual de 1749 a 2023. A partir de los datos de las manchas solares se pueden analizar los ciclos solares desde el inicio de su registro; actualmente estamos

en el ciclo número 25. En el eje vertical se indica el número mensual de manchas solares. Fuente: adaptado de Solar Influences Data Analysis Center (2023).

Sin embargo, los fenómenos que definen el clima solar, tanto de corta como de larga duración, también afectan la llegada de los rayos cósmicos galácticos a la Tierra, por lo que al estudiarlos podemos conocer más acerca del clima espacial. Como ejemplos de eventos de corta duración están las tormentas solares y las eyecciones de masa coronales, que explicamos líneas arriba, mientras que algunos fenómenos de larga duración

que también afectan la llegada de los rayos cósmicos a la Tierra son los ciclos de manchas solares y los agujeros coronales, los cuales están inversamente correlacionados.

En general, se construyen observatorios de rayos cósmicos para estudiar diversos objetos astrofísicos, pero como parte de su tecnología de calibración incluyen la medición tanto de rayos cósmicos galácticos como de sus subproductos, que surgen de

la interacción con la atmósfera terrestre. Con este proceso de calibración y monitoreo continuo es posible conocer más acerca de los cambios en el clima espacial, que pueden ser eventos de corta o de larga duración. Este sistema de monitoreo de los rayos cósmicos también ha permitido medir las ondas de presión producidas por las erupciones volcánicas o las ondas sísmicas de los terremotos.

Para ejemplificar estos hechos, los llamados decaimientos de Forbush (nombrados en honor de Scott E. Forbush, quien los descubrió en 1930), así como otros fenómenos producidos por los cambios en el clima espacial, se han reportado en instalaciones tan grandes como el Observatorio Pierre Auger (The Pierre Auger Collaboration, 2011), el Observatorio de Rayos Gamma HAWC (Albert *et al.*, 2023) o el Observatorio Gigante Latinoamericano. En todos ellos participan instituciones mexicanas que continúan desarrollando proyectos de investigación para conocer más acerca de los efectos del clima espacial.

Referencias

- Albert, A., Alfaro, R., Álvarez, C., Arteaga-Velázquez, J. C., Ávila Rojas, D., Ayala Solares, H. A., Babu, R., Belmont-Moreno, E., Brisbois, C., Caballero-Mora, K. S., Capistrán, T., Carramiñana, A., Casanova, S., Chaparro-Amaro, O., Cotti, U., Cotzomi, J., Coutiño de León, S., De la Fuente, E., Díaz Hernández, R., ... Zhou, B. (2023). Discovery of Gamma Rays from the Quiescent Sun with HAWC. *Physical Review Letters*, 131, 051201.
- Clauer, C. R. y Siscoe, G. (2006). The great historical geomagnetic storm of 1859. A modern look. *Advances in Space Research*, 38(2), 117-118.
- Luna, A. y Biro, S. (2017). La ciencia en la cultura novohispana: el debate sobre la aurora boreal de 1789. *Revista Mexicana de Física*, 63, 87-94.
- Solar Influences Data Analysis Center. (2023). *Sunspot Index and Long-term Solar Observations*. <https://www.sidc.be/SILSO/home>
- The Pierre Auger Collaboration. (2011). The Pierre Auger Observatory scaler mode for the study of solar activity modulation of galactic cosmic rays. *Journal of Instrumentation*, 6(1), P01003.

La emergencia del discurso filosófico en Occidente

«En algún rincón apartado del universo, perdido en el flamear de innumerables sistemas solares, hubo una vez un astro sobre el que animales inteligentes inventaron el conocimiento. Fue aquél el minuto más arrogante y mentiroso de la historia universal: pero tan sólo fue un minuto. Tras algunos suspiros de la Naturaleza el astro se congeló y los animales inteligentes perecieron.»

Friedrich Nietzsche,

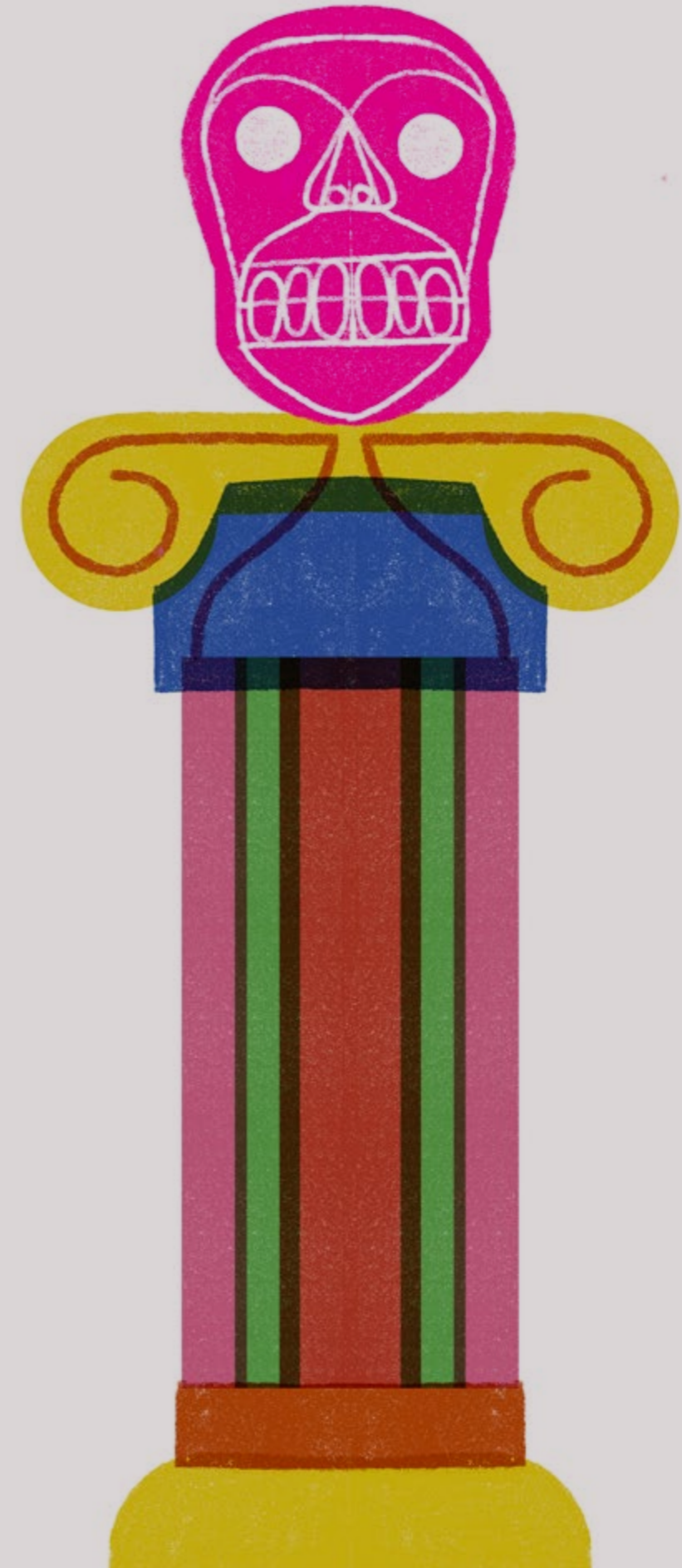
Sobre verdad y mentira en sentido extramoral

(citado en Morey, 1983/2014, p. 29).

Bernardo Berruecos Frank

Investigador del Instituto de Investigaciones Filológicas de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Dos son las cuestiones fundamentales expuestas por esta fábula que no sobra volver a presentar en una discusión acerca de los «orígenes» de la filosofía. Por un lado, la insignificancia del ser humano ante la inmensidad del cosmos, que necesariamente lo desplaza muy lejos de la centralidad que una y otra vez ha creído y querido ocupar. Por otro, la poderosa idea de que el conocimiento es una invención; no se trata de un milagro o de un don que debamos venerar («aquello divino que hay en nosotros», como diría el viejo filósofo Aristóteles en *Ética a Nicómaco* [s. f./1894, 1177a15-16]), tampoco del lenguaje objetivo y único en el que está cifrada la naturaleza y que unos cuantos seres dotados de ciencia pueden decodificar: es más bien un acto de astucia, soberbia y falseamiento, que tan sólo dura un minuto, una simple y efímera exhalación de la naturaleza.



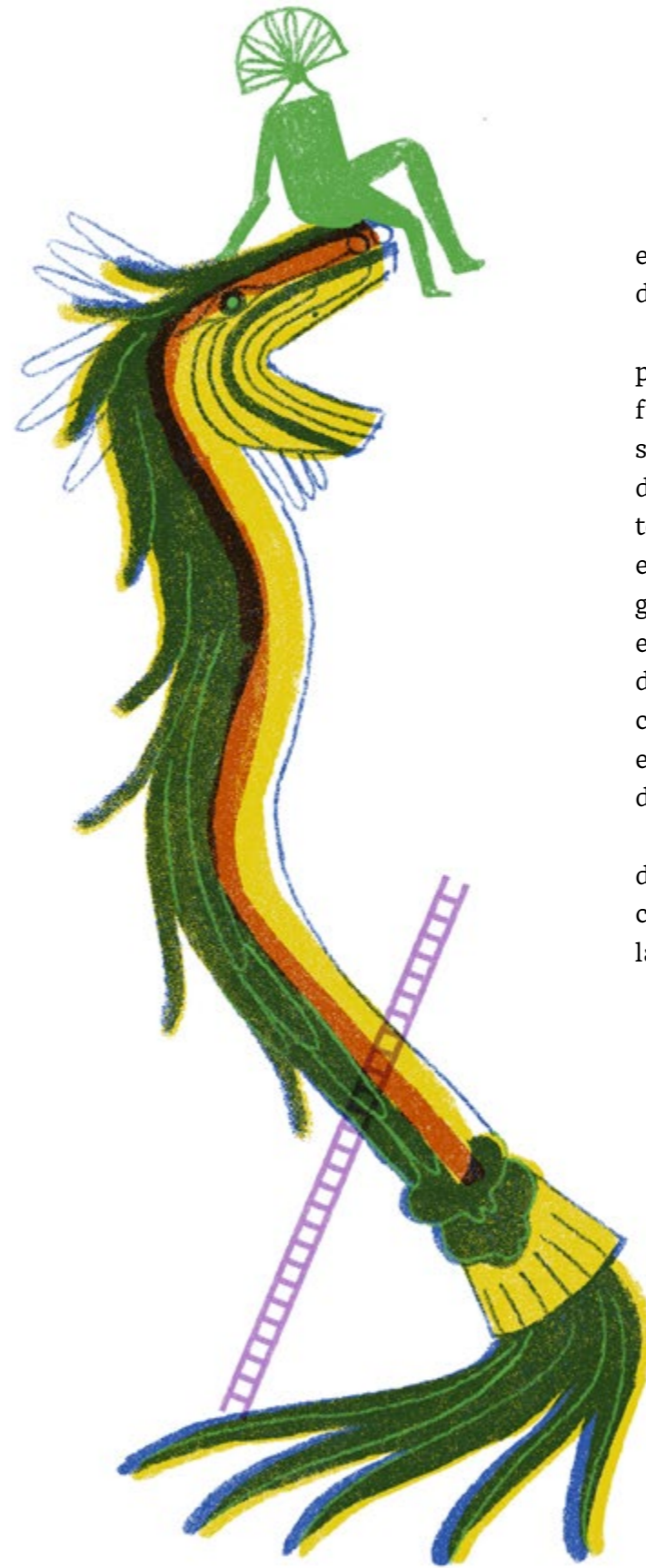




Conservamos un fragmento de un texto de un poeta griego del siglo VI a. n. e., quien nació en la ciudad de Colofón y fue miembro del grupo de los llamados filósofos presocráticos. Los cuatro versos que lo conforman eran parte de un poema filosófico titulado «Sobre la naturaleza» y constituyen la primera expresión inequívoca de una larga tradición de pensamiento escéptico occidental:

la clara verdad ningún hombre la ha visto, ni tampoco habrá alguno que tenga conocimiento acerca de los dioses ni de lo que yo afirmo sobre todas las cosas; pues si llegara a haber alguno que, por casualidad, pudiera decir algo cabalmente verdadero, ni él mismo, sin embargo, lo sabría; pues conjetura es lo que les ha tocado a todos por lote. (Jenófanes, s. f./1952, DK B34)

Imaginemos, a la luz de esta enérgica declaración, aquel minuto arrogante y soberbio de la fábula. Como una botella lanzada al mar que transporta un mensaje de 2600 años de antigüedad, estos versos reproducen la voz de uno de aquellos animales inteligentes en el acto de estar inventando el conocimiento. No contento con esta altanería, este animal particular confiesa que el suyo es un mero «juego de tanteo sobre el dorso de las cosas», ocasionado por una «niebla cegadora colocada sobre los ojos y sobre los sentidos» humanos. Este animal de conocimiento posee plena consciencia de que el «revoloteo incesante ante la llama de la vanidad» acecha siempre bajo sus teorías y razonamientos, y que, por lo mismo, «apenas hay nada más inconcebible que el hecho de que haya podido surgir



entre los hombres un impulso sincero y puro hacia la verdad» (Nietzsche citado en Morey, 2014, p. 29).

El desasosiego de la duda endilgado por esta voz del pasado no sólo invita a buscar los orígenes de la filosofía fuera de la lógica evolucionista y teleológica del progreso, sino que también obliga a dejar de pensar el fenómeno del «nacimiento de la filosofía» como un acontecimiento privilegiado en la historia de la humanidad con el que, en una constante y ascendente prosperidad, pasamos de golpe de ser primitivos a ser racionales, de estar anclados en los pensamientos míticos a proponer argumentos, de dejar de interpretar el mundo basándonos en imágenes a conocerlo partiendo de conceptos y con razonamientos, y en el que «Occidente» se constituyó como el centro, el fundamento y la base de la ciencia y la razón.

En una entrevista, Michel Foucault expresó con claridad en qué consiste «esa película de pensamiento implícito en las culturas» (citado en Morey, 1983/2014, p. 34) a la que llamamos saber:

En una sociedad, los conocimientos, las ideas filosóficas, las opiniones cotidianas, así como las instituciones, las prácticas comerciales y policíacas, las costumbres, todo se refiere a un saber implícito propio [...]. Este saber es profundamente distinto de los conocimientos que se pueden encontrar en los libros científicos, las teorías filosóficas, las justificaciones religiosas, pero es el que hace posible, en un momento dado, la aparición de una teoría, de una opinión, de una práctica. (Foucault citado en Bellour, 1966/1971, p. 9)



¿Qué saberes y condiciones hicieron posible la aparición de un tipo específico de discurso que los antiguos llamaron filosofía? Propongo examinar cuatro fenómenos que posibilitaron la emergencia del discurso filosófico en Grecia.

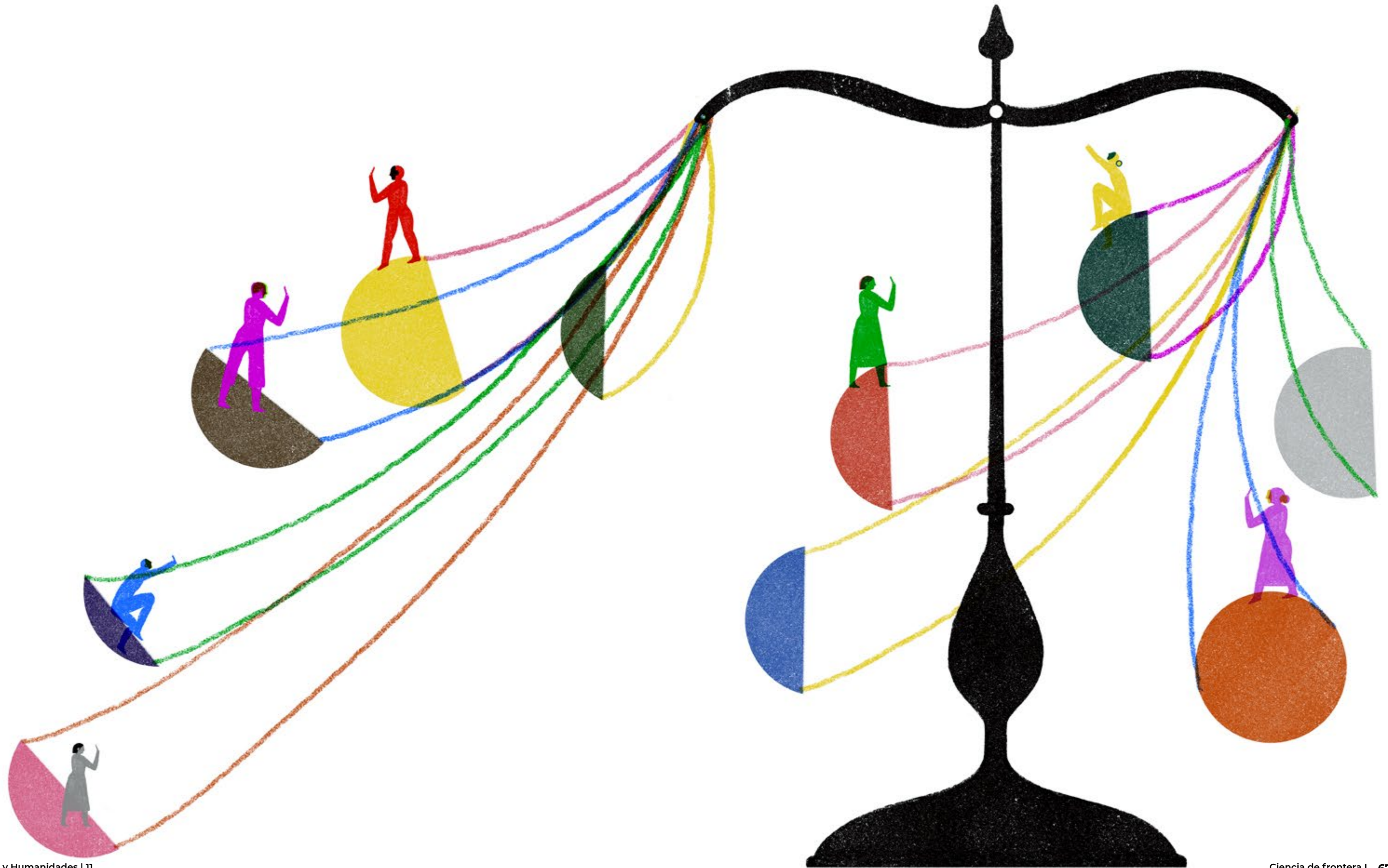
El primero tiene que ver con una serie de condiciones políticas. En *Les origines de la pensée grecque* [Los orígenes del pensamiento griego], el helenista Jean Pierre Vernant (1962) sintetizó el enorme condicionamiento y el impulso determinante que ejercieron las instituciones políticas y la propia estructura de la polis arcaica sobre el llamado «nacimiento de la filosofía» con la frase: «la filosofía es hija de la ciudad». En contraposición con las estructuras jerárquicas de la institución monárquica, los conceptos de «positividad» y «publicidad», que son centrales para definir los fenómenos de intercambio social y político, dan pie al desarrollo de prácticas filosóficas y definen sus características esenciales. La plaza pública de la polis arcaica emplazada en el centro (ágora) encarna un nuevo espacio social que es producto de la geometrización del pensamiento.

Con base en los saberes desarrollados dentro de la conformación de este espacio, los primeros filósofos, Anaximandro y Anaxímenes de Mileto, escribieron sobre la historia del cosmos, a comienzos del siglo VI a. n. e., y proyectaron en su concepción de la naturaleza las estructuras del mundo de la ley y del orden que habían estado inventando. La noción misma de *kósmos* (universo) no es más que una proyección en la concepción del mundo natural de las estructuras de la polis, en particular, de la idea de



isonomía (igualdad ante la ley), que fue central para entender a la naturaleza como un todo donde diversas fuerzas opuestas y en conflicto participan bajo una jerarquía análoga a la de la sociedad humana. El «discurso filosófico» en Grecia es producto, entonces, de una estructura política que lo hizo posible, y esta estructura no es otra que la de la naciente polis arcaica (Laks, 2010).

El segundo fenómeno se relaciona con una crisis en el seno de la religiosidad tradicional. A mediados del siglo pasado, todavía era un lugar común describir el nacimiento de la filosofía como el paso del *mýthos* al *lógos*; es decir, el tránsito emprendido por la mente humana de una racionalidad mítica y religiosa a una racionalidad lógica y científica (Nestle, 1940). Diversos estudios de sociología y antropología del mundo antiguo vinieron a demostrar cómo ambos polos del espectro no son excluyentes (Vernant, 1965 y 1974). La diferenciación de la filosofía como disciplina autónoma tuvo que ver con un incremento de los procesos de racionalidad que no necesariamente cancelaron a las formas de pensamiento ligadas con lo que en Grecia llamaban *mýthos* –palabra narrativa frecuentemente ficticia que se ocupa del pasado lejano y de las leyendas legadas por la tradición–, en oposición al *lógos* –el discurso argumentativo con pretensiones de verdad– (Laks, 2010). Muchos de los fenómenos atmosféricos, meteorológicos y astronómicos que recibieron, en el pensamiento colectivo de la comunidad, explicaciones mitológicas (el relámpago de Zeus, el arcoíris, los terremotos de Poseidón, etc.) comenzaron a prescindir por completo de la agentividad divina en los primeros discursos de los filósofos de Mile-



to. Tal secularización racionalista, resultado también de la caída de los regímenes centralizados en la figura del monarca, así como de la creación de otras formas políticas de organización, fue una de las condiciones que posibilitaron la emergencia del discurso filosófico en Grecia.

En tercer lugar, otra de las condiciones concierne al orden socioeconómico, en particular a la acuñación de la moneda. La propia conformación de la idea de un *kósmos* ordenado que funciona como un sistema impersonal regido por fuerzas abstractas debió verse profundamente influida por la circulación de la moneda, que no es más que la abstracción de la materia en un sistema simbólico de representación que crea un concepto de valor abstracto. Así, el famoso *kósmos* del filósofo Heráclito de Éfeso, que no fue creado por ninguno de los dioses ni de los hombres, sino que es fuego siempre vivo (s. f./1952, DK B30), se manifiesta como una serie de transformaciones de ese elemento; en otras palabras, todas las cosas son intercambio del fuego, y el fuego lo es de todas las cosas, como las mercancías del oro, y el oro de las mercancías (s. f./1952, DK B90). Este universo se gobierna por la propia idea de intercambio, que está pensada a partir de la transacción monetaria y económica (Schell, 1981; Seaford, 2005).

El cuarto y último fenómeno se vincula con una revolución performativa (práctica) y tecnológica. El periodo que suele identificarse como aquél en que «nace» la filosofía en Grecia coincide con el momento histórico en que la tecnología de la escritura se afianza y comienza a diseminarse en los «libros» escritos (mayoritariamente en rollos de papiro), que poco a poco fueron acumulándose en institu-

ciones de conservación y transmisión del saber, como la biblioteca de la casa de las musas en Alejandría. Desde el libro *Preface to Plato* [*Prefacio a Platón*] de Eric A. Havelock (1982) –en el que defendió la idea de que el pensamiento de Platón y la propia filosofía inauguraron un nuevo lenguaje abstracto y una nueva sintaxis que rompieron con la «enciclopedia tribal» y con el lenguaje oral de la tradición poética–, se ha debatido mucho sobre las relaciones entre el discurso filosófico y el desarrollo de una sociedad y una cultura escriturizadas. Como argumentó André Laks (2001), la escritura vuelve posible la subsistencia de los rastros y las huellas anteriores que favorecen la localización de las inconsistencias y, con ello, la innovación, la polémica y la controversia.

La emergencia del discurso filosófico en la Grecia arcaica no fue, entonces, un milagro de una cultura dotada de superpoderes que logró crear una serie de maravillas que constituyen una herencia extraordinaria cifrada en el ADN cultural de Occidente y a la que debemos nuestra reverencia. La extraordinaria concomitancia de estos fenómenos y muchos otros que aquí no es posible analizar a fondo es lo que en realidad arroga a Grecia la posición de privilegio en las genealogías occidentales que han construido una narrativa sobre el descubrimiento del conocimiento.

Volviendo a la fábula del principio, el conocimiento no se descubre, como el arqueólogo que encuentra un papiro carbonizado en una tumba y lo descifra, sino que se inventa, y esta invención conlleva siempre la crueldad de la destrucción. A lo largo de la historia, «se ha realizado un





epistemicidio masivo [...] por el que una inmensa riqueza de experiencias cognitivas ha sido perdida» (De Sousa Santos, 2009, p. 191) y en el que se ha sustentado «el privilegio epistemológico de la ciencia moderna» (De Sousa Santos, 2009, p. 81). ¿Cómo es posible responder de manera responsable a la pregunta por los inicios de la filosofía sin privilegiar una tradición (la occidental), una forma de comprender el ejercicio del saber (la filosofía) y un lugar específico favorecido con la prerrogativa de haber sido artífice de semejante creación (Grecia)? Tenemos la obligación de emprender narrativas incluyentes sobre todas esas otras formas de conocimiento y de saberes que han sido invisibilizadas y marginalizadas en favor de un discurso único y homogeneizador que, a la fecha, normalmente habla en inglés, se alía con el mercado y el capital, y mide su valía en cuartiles e índices H. Por ello, apostar por la ciencia de frontera significa abrir los ojos no sólo a nuevos problemas, sino también a métodos innovadores para afrontarlos. Debemos contar nuevas fábulas sobre aquellos innumerables minutos, ya no arrogantes ni altaneros, sino humildes y respetuosos, en que múltiples animales inteligentes inventaron y siguen inventando ilimitadas formas de saber y conocer.



Referencias

- Aristóteles.** (1894). *Ethica Nicomachea* (I. Bywater, ed.). Clarendon Press. (Original publicado s. f.).
- Bellour, R.** (1973). Entrevista con Michel Foucault (F. Serra Cantarell, trad.). En *El libro de los otros* (pp. 7-16). Anagrama. (Original publicado en 1966).
- De Sousa Santos, B.** (2009). *Una epistemología del sur. La reinención del conocimiento y la emancipación social*. Siglo XXI Editores.
- Havelock, E.** (1982). *Preface to Plato*. Harvard University Press.
- Heráclito de Éfeso.** (1952). Sección. En H. Diels y W. Kranz (eds.), *Die Fragmente der Vorsokratiker* (6.ª ed.). Weidmann. (Original publicado s. f.).
- Jenófanes.** (1952). Sección. En H. Diels y W. Kranz (eds.), *Die Fragmente der Vorsokratiker* (6.ª ed.). Weidmann. (Original publicado s. f.).
- Laks, A.** (2001). Écriture, prose et les débuts de la philosophie grecque. *Methodos*, 1, 131-151.
- _____. (2010). *Introducción a la filosofía presocrática* (L. Iribarren, trad.). Gredos.
- Morey, M.** (2014). *Lectura de Foucault*. Sexto Piso. (Original publicado en 1983).
- Nestle, W.** (1940). *Von Mythos zum Logos*. A. Kröner.
- Schell, M.** (1981). *La economía de la literatura* (J. Aguilar Mora, trad.). Fondo de Cultura Económica.
- Seaford, R.** (2005). *Money and the Early Greek Mind*. Cambridge University Press.
- Vernant, J. P.** (1962). *Les origines de la pensée grecque*. Presses Universitaires de France.
- _____. (1965). *Mythe et pensée chez les Grecs. Études de psychologie historique*. Maspéro.
- _____. (1974). *Mythe et Société en Grèce ancienne*. Maspéro.

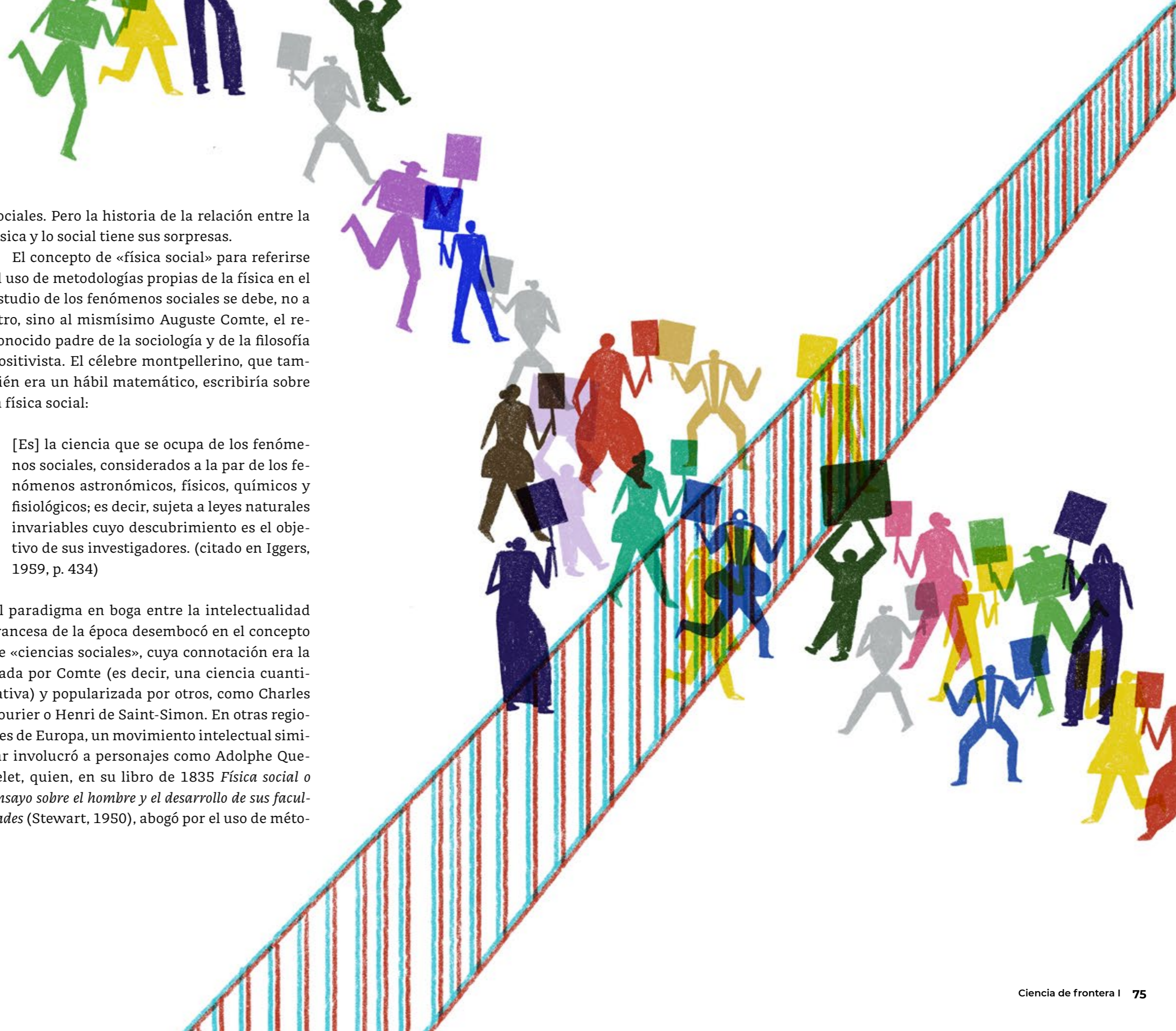


Física de sistemas complejos y fenómenos sociales

Octavio Miramontes Vidal

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





¿Puede la física explicar fenómenos humanos y sociales? Muchos ceños se fruncirán, como, por ejemplo, el de José Ortega y Gasset. El afamado intelectual madrileño habla sobre el «imperialismo de la física» en su obra *¿Qué es filosofía?* (1957/2004):

La física cobró un prestigio sin par porque de ella emanaba la máquina y la medicina. Las masas medias se interesaron en ella no por curiosidad intelectual, sino por interés material. En tal atmósfera se produjo lo que pudiéramos llamar «imperialismo de la física» [...] La filosofía quedó aplastada, humillada por el imperialismo de la física y empavorecida por el terrorismo intelectual de los laboratorios. (pp. 23 y 26)

Esta queja se basa en la idea común de que la física es la ciencia preponderante que daría el visto bueno a las demás actividades científicas e intelectuales, al tratarse, en la «tradición occidental», de la ciencia más antigua y consolidada. Pero para muchas mentes tradicionalistas, la física es el estudio de la energía y la materia solamente, es decir, del calor o la electricidad, de las partículas elementales y los átomos. Nada tiene que ver con el análisis de los fenómenos sociales, opinión que es compartida por la mayoría de quienes hoy se dedican a las disciplinas

sociales. Pero la historia de la relación entre la física y lo social tiene sus sorpresas.

El concepto de «física social» para referirse al uso de metodologías propias de la física en el estudio de los fenómenos sociales se debe, no a otro, sino al mismísimo Auguste Comte, el reconocido padre de la sociología y de la filosofía positivista. El célebre montpellerino, que también era un hábil matemático, escribiría sobre la física social:

[Es] la ciencia que se ocupa de los fenómenos sociales, considerados a la par de los fenómenos astronómicos, físicos, químicos y fisiológicos; es decir, sujeta a leyes naturales invariables cuyo descubrimiento es el objetivo de sus investigadores. (citado en Iggers, 1959, p. 434)

El paradigma en boga entre la intelectualidad francesa de la época desembocó en el concepto de «ciencias sociales», cuya connotación era la dada por Comte (es decir, una ciencia cuantitativa) y popularizada por otros, como Charles Fourier o Henri de Saint-Simon. En otras regiones de Europa, un movimiento intelectual similar involucró a personajes como Adolphe Quételet, quien, en su libro de 1835 *Física social o ensayo sobre el hombre y el desarrollo de sus facultades* (Stewart, 1950), abogó por el uso de méto-

dos matemáticos en el estudio de lo social. No menos notorio es que grandes pensadores de las ciencias sociales, como Karl Marx o Thomas Hobbes, tenían una formación sólida en matemáticas; en el caso de Hobbes, quien trabó amistad directamente con Galileo Galilei (Encyclopædia Britannica, 2023), defendía el uso de métodos científicos similares a los de la física para estudiar los fenómenos sociales.

A pesar de que las grandes figuras fundadoras de las ciencias sociales se inclinaron por el uso de métodos semejantes a los de la física, la mayoría de los estudiosos contemporáneos de las ciencias sociales entraron más en sintonía con pensamientos como los de Ortega y Gasset. De esta forma, a lo humano se le consideró especial y no reducible al lenguaje matemático (las personas no son electrones); esto, un poco dentro de la tradición antropocéntrica que sitúa al ser humano como creado específicamente por un ser superior, situado en un lugar especial, fijo al centro del universo y dotado de racionalidad y libre albedrío.

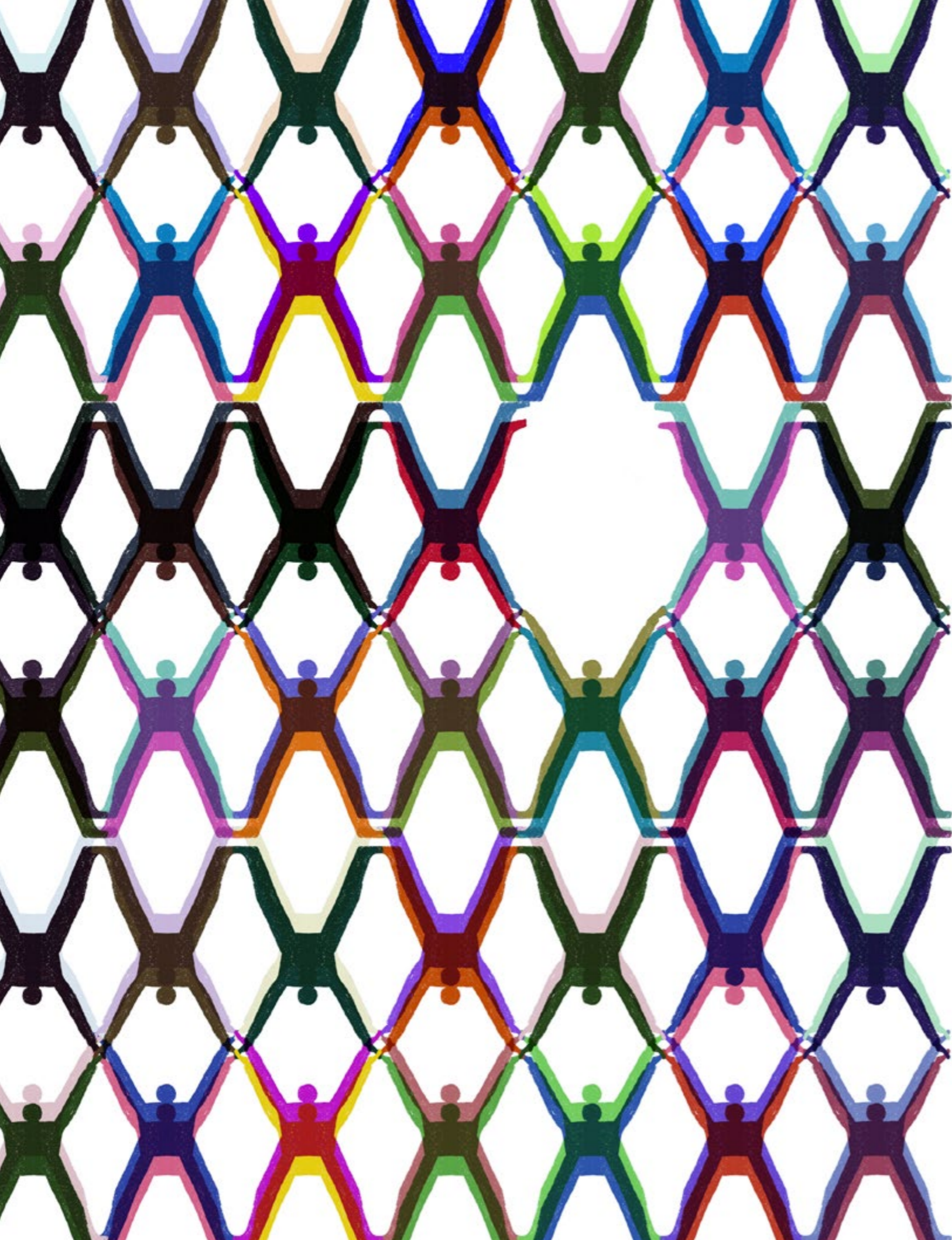
Sin embargo, la ciencia occidental no ha hecho más que demoler, inexorablemente, el antropocentrismo. Nicolás Copérnico propuso que la especie humana no está en el centro del Sistema Solar, lugar que ocupa el Sol. A Galileo Galilei lo apresaron y castigaron por divulgar que la Tierra se mueve alrededor del Sol. Johannes Ke-

pler mostró que las trayectorias de los planetas, incluida la de la Tierra, son elipses y no el círculo platónico perfecto (divino). Charles Darwin vino a revelar que los seres vivos son el producto de una evolución natural y no de una creación divina. Sigmund Freud sugirió que los actos humanos no son del todo racionales. Finalmente, la física de los sistemas complejos dice que los seres humanos, en un contexto social, resultan predecibles y parcialmente despojados de su libre albedrío.

Pero ¿qué son los sistemas complejos? Basta para nuestro propósito definirlos como aquéllos en los que una multitud de elementos similares interactúan para generar propiedades colectivas que no están presentes en ninguno de los elementos individualmente; es algo a lo que llamamos propiedades emergentes (Miramontes y Volke, 2013; Miramontes, 2014). El bosque es una propiedad colectiva de un conjunto de árboles; pero un árbol no es el bosque. El pensamiento humano es el producto de la acción colectiva de millones de neuronas; pero en una neurona individual no está el pensamiento.

El estudio y perspectiva de los sistemas complejos se remonta, por lo menos, a la antigua Grecia y se manifiesta de mejor manera en la dialéctica. Su abordaje moderno y matematizado se produce con el surgimiento de la dinámica no lineal y la teoría del caos determinista (Hen-





ri Poincaré, Edward Lorenz, Stephen Smale, Benoît Mandelbrot, etc.), la física estadística y la termodinámica fuera de equilibrio (Ernst Ising, Harry Eugene Stanley, Leo Kadanoff, Ilya Prigogine y demás), así como la invención de las computadoras y los autómatas celulares (Alan Turing, John von Neumann, Stanisław Ulam, entre otros).

El pionero indiscutible de la física de los sistemas complejos y el estudio de los fenómenos sociales en México fue Germinal Cocho, investigador emérito de la Universidad Nacional Autónoma de México (Cocho, 2017). Su investigación cobró tanta relevancia que una rama de estudio pasó a llamarse sociofísica. Es importante mencionar que no se trata simplemente de la «aplicación» de los métodos de la física en el estudio de los fenómenos sociales, sino más bien de considerar a los últimos como fenómenos físicos y, por lo tanto, susceptibles de ser estudiados por la física (Schweitzer, 2018). A continuación describiremos algunos ejemplos.

Vamos al fútbol

Durante el mundial de fútbol de 1986 en México, debido a la transmisión televisiva, alrededor del mundo se popularizó un fenómeno curioso: espontáneamente, el público en las tribunas se alzaba de sus asientos de manera sincronizada

para generar una onda en movimiento que recorría todo el estadio y le daba varias vueltas. Fue llamada la ola mexicana. Es claro que un individuo aislado, incluso el más entusiasta por su equipo favorito, no va a producir una ola mexicana frente a su televisor. Es imprescindible que ese entusiasmo se contagie a más espectadores y se convierta de esta manera en una acción colectiva y no una individual, es decir, un fenómeno de masas.

Dado que la ola mexicana es un proceso autoorganizado, no es posible predecir cuándo o en qué parte del estadio va a surgir; pero al tener un carácter colectivo, otros aspectos son por completo predecibles. La ola se mueve típicamente con una velocidad de unos 12 metros (20 asientos) por segundo y tiene una anchura de entre 6 y 12 metros (15 asientos en promedio), según afirma un grupo de físicos liderados por Tamás Vicsek, de la Universidad de Budapest (Farkas *et al.*, 2002). Estos autores desarrollaron varias simulaciones de personas en un estadio y las consideran como parte de un «medio excitable», es decir, son susceptibles de responder a un estímulo externo siguiendo reglas muy básicas de conducta, simplemente por imitación. Así, los investigadores fueron capaces de identificar en sus modelos la masa crítica mínima que se requiere para que se produzca la ola mexicana (Figura 1).





Prevención de desastres

Los desastres ocurridos por los fenómenos naturales o accidentes cobran miles de vidas al año en el mundo entero. La mayoría se produce por derrumbes, inundaciones o incendios, por lo que diseñar espacios con rutas de escape y salidas de emergencia para las edificaciones es un reto que se puede abordar gracias a los modelos de simulación de personas, los que se conocen como modelos de agentes (Bankes, 2002; Quezada y Canessa, 2010), que entran en modo de imitación (pánico) cuando se produce un evento catastrófico. Imaginemos una sala de cine oscura que súbitamente se llena de humo por un incendio y el público debe encontrar las salidas. Dada la tendencia de los seres humanos a imitarse (abandono del libre albedrío), es fácil que un grupo de individuos acabe siguiendo a una persona que equivoca el camino hacia la salida (Figura 2). Los agentes en estas simulaciones de sistemas complejos pueden considerarse como un medio excitable que se mueve de manera colectiva frente a los obstáculos. Así, es posible identificar la anchura y forma de los pasillos o las calles que resultan ser las mejores rutas de escape (Conte, 2002; Chen *et al.*, 2012).



Figura 1.

La ola mexicana es un típico fenómeno de masas que puede ser modelado y explicado por la física de los sistemas complejos. Es un proceso autoorganizado que sólo se

presenta en un colectivo de personas que actúan imitando a sus vecinos más inmediatos. Los parámetros de la onda pueden predecirse con modelos de agentes.

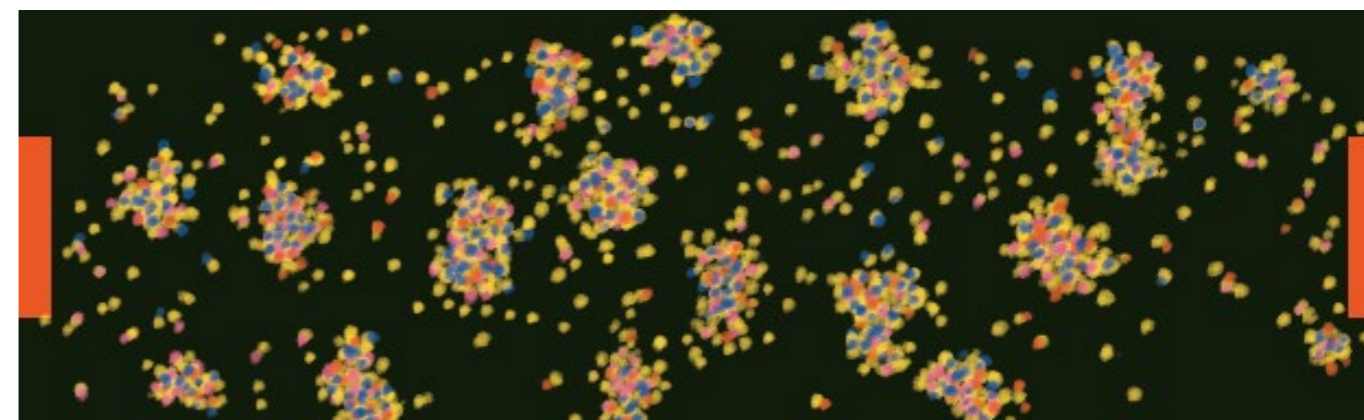
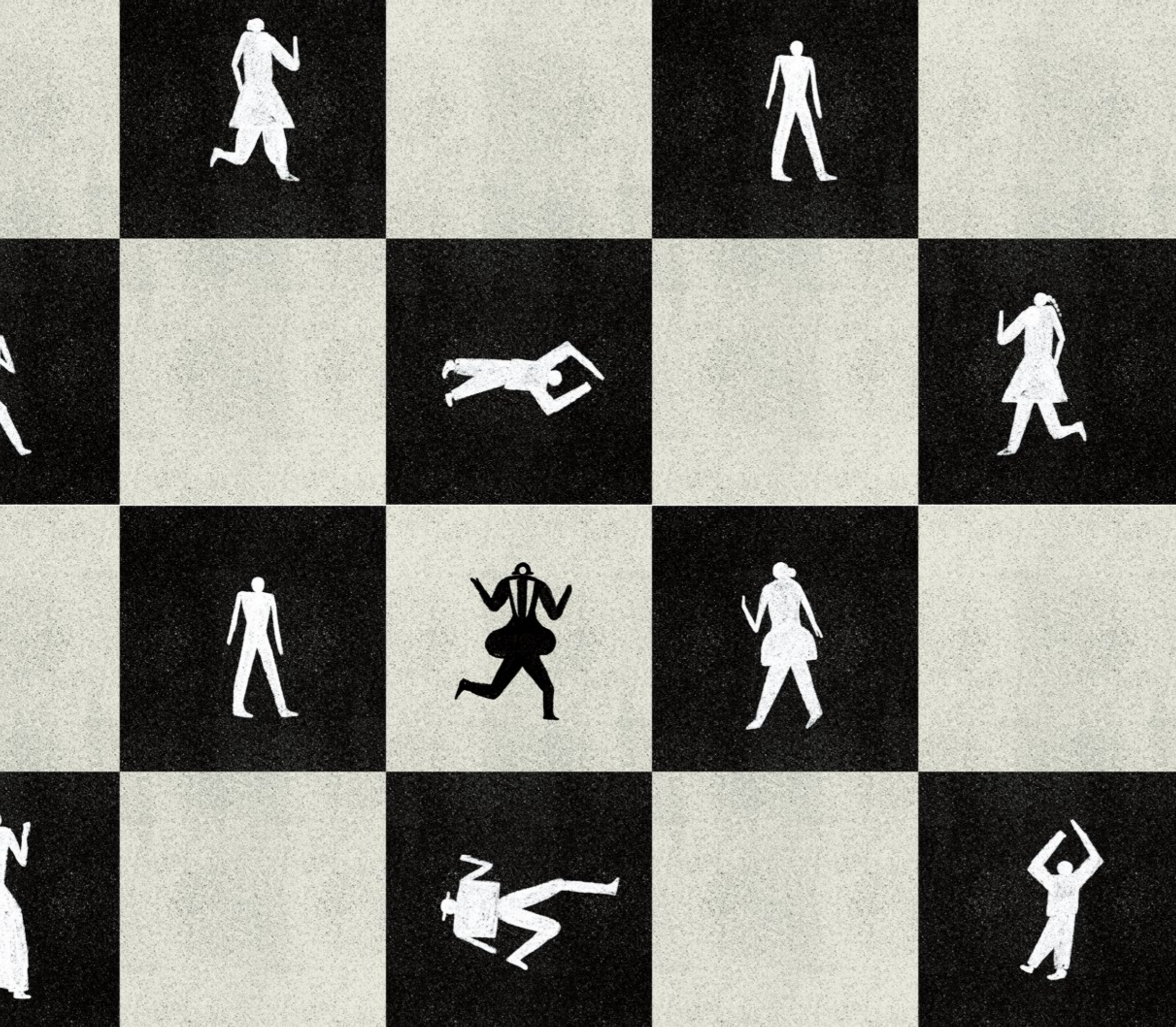


Figura 2.

Simulación de un grupo de peatones al evacuar cierta área. Los modelos de agentes de movilidad humana pueden aplicarse a una diversidad de situaciones para diseñar corredores o calles donde ocurre el flujo de personas que

interactúan, y visualmente se nota que adoptan conductas colectivas basadas en reglas. En la imagen, se pueden formar cúmulos de concentración que entorpecen el flujo. Fuente: adaptado de Wang *et al.* (2002).

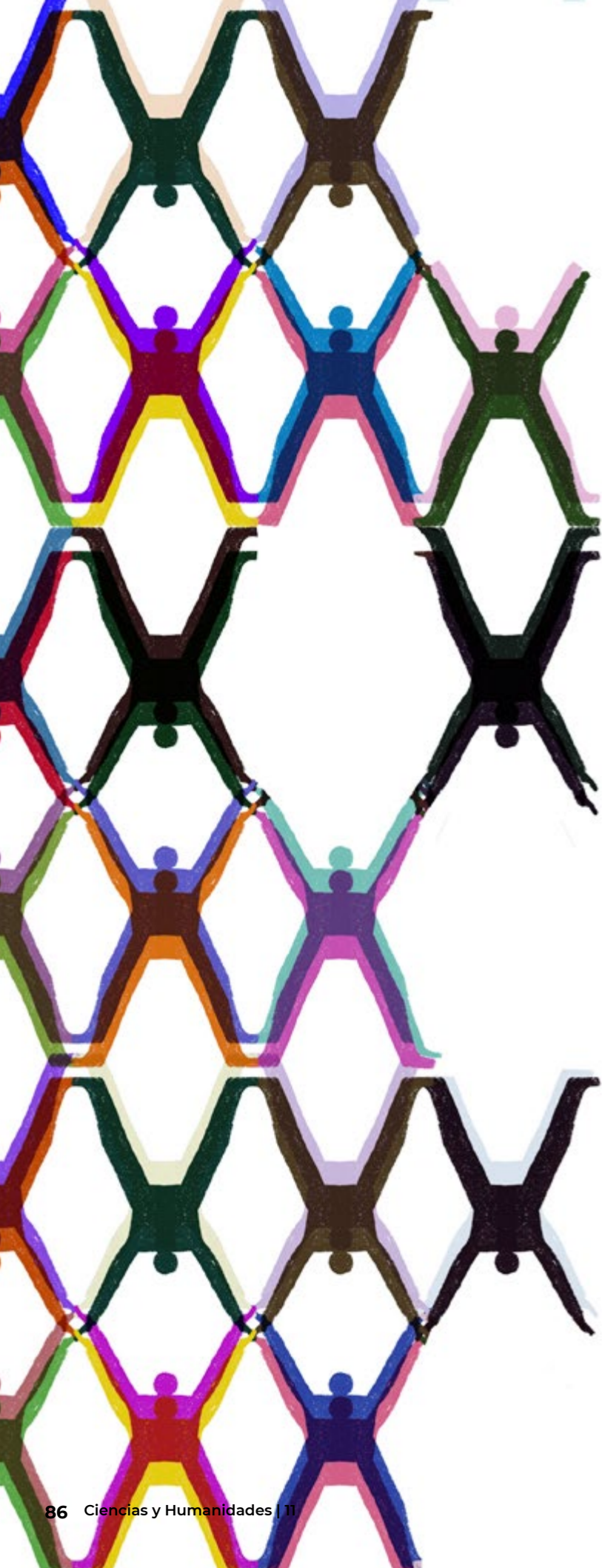


Tolerancia social y territorio

Las personas tendemos a ver y juzgar a nuestros semejantes con base en varios prejuicios alimentados por factores económicos, culturales, religiosos, étnicos, etc., que pueden derivar en múltiples conflictos, incluso guerras. Thomas Schelling, quien ganó el Premio Nobel de Economía en 2005, describe en su libro *Micro-motivos y macroconducta* (1989) un juego del tipo damas chinas en el que hay dos conjuntos de fichas antagónicas: blancas y negras, que pueden representar a dos pueblos originarios, dos grupos religiosos, etc. En su tablero, que es un cuadro cuadriculado, se posicionan las fichas y se aplican reglas básicas de conducta. Si una ficha de un color está rodeada por fichas de otro color, sentirá cierta «incomodidad» y se moverá a otra celda vacía y seguirá moviéndose hasta encontrar fichas vecinas afines, y ahí se detendrá; la sensación de comodidad dependerá del grado de tolerancia y, como resultado, se formarán cúmulos espaciales dependiendo de ese nivel de tolerancia.

En la física de los sistemas complejos, estos modelos se conocen genéricamente como redes tipo Ising y representan una gran variedad de fenómenos comunes a diversos sistemas físicos, como las transiciones de fase y la autoorganización espacial (Gauvin *et al.*, 2009; Avetisov *et*





al., 2018). El modelo de Schelling, comúnmente llamado modelo de segregación social, se usa para explicar, por ejemplo, cómo se forman las estructuras de barrios en las ciudades (Hatna y Benenson, 2012) o territorios socioculturales en los países.

La tolerancia cultural, principalmente religiosa, es muy importante para mantener la paz social. En la historia de la humanidad tenemos múltiples ejemplos de cómo la intolerancia religiosa ha dado lugar a conflictos armados (en México tuvimos la guerra cristera). Otro ejemplo de gran actualidad es el conflicto de Israel y Palestina, analizado por especialistas que se dedican a la teoría de juegos (Tefel-Escudero, 2022), quienes concluyen que acabará de manera violenta cuando una de las partes aplaste y erradique militarmente a la otra, o bien podrá terminar pacíficamente con la creación de dos Estados separados. Esta propuesta ha estado en la mesa de la diplomacia por décadas, pero lamentablemente sin éxito. Es curioso observar que el juego de Schelling predice que, dado el alto grado de intolerancia involucrada, un conflicto como éste desemboca en la creación autoorganizada de dos territorios separados (Figura 3); sólo hace falta la diplomacia y el oficio político para ponerle fin de manera pacífica.

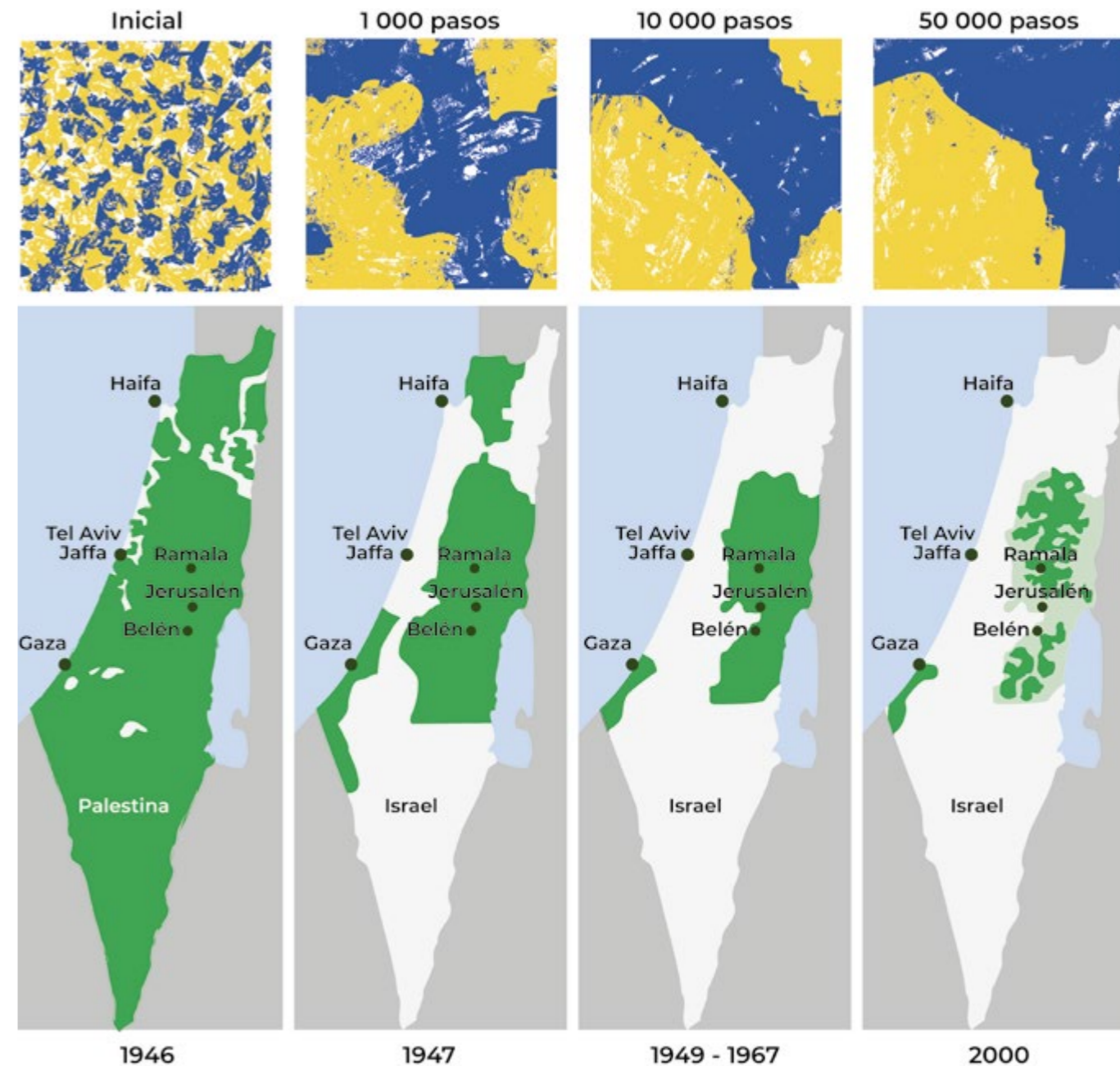
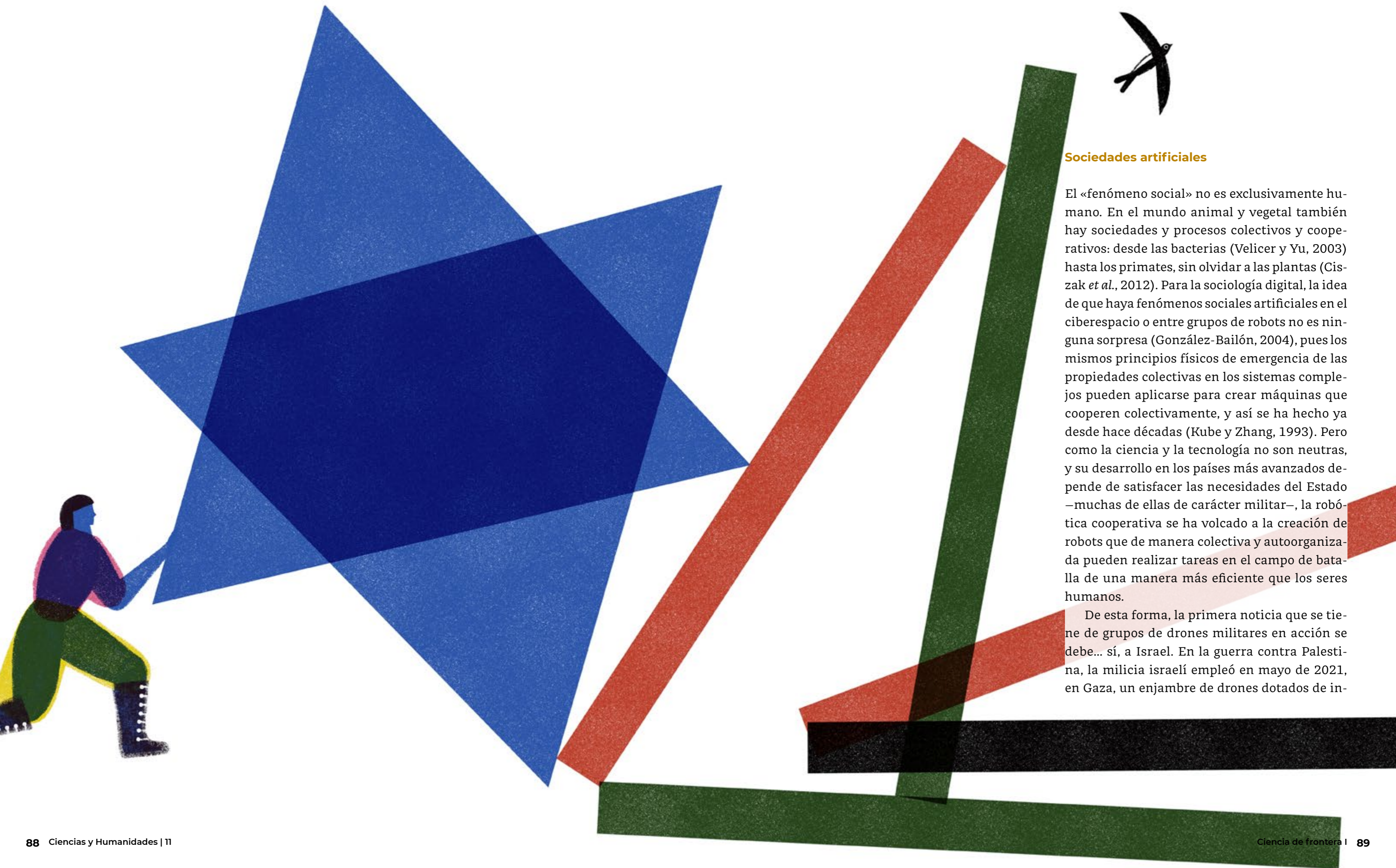


Figura 3.

El modelo computacional de agentes de Schelling explica los fenómenos de segregación espacial cuando los individuos tienen diversos grados de intolerancia hacia sus vecinos, ya sea de tipo religioso, étnico, socioeconómico, etc. Los patrones que típicamente se forman en el modelo muestran (arriba) cómo partiendo de una condición inicial desordenada, los individuos (dos colores) llegan a una situación autoorganizada de segregación en el territorio a medida que transcurre el tiempo (pasos). La imagen

de abajo es el mapa del territorio de Palestina a partir de 1946 y muestra la evolución de la segregación entre los pueblos de Israel y Palestina hasta el año 2000. La primera imagen del modelo permanecería como una mezcla inhomogénea con el paso del tiempo si acaso hubiera tolerancia religiosa total, con lo cual la segregación nunca existiría; algo que se alcanzó por ahí del año 1000 en la ciudad española de Toledo.

Fuente: adaptado, cortesía de Vinković y Kirman (2006).



Sociedades artificiales

El «fenómeno social» no es exclusivamente humano. En el mundo animal y vegetal también hay sociedades y procesos colectivos y cooperativos: desde las bacterias (Velicer y Yu, 2003) hasta los primates, sin olvidar a las plantas (Ciszak *et al.*, 2012). Para la sociología digital, la idea de que haya fenómenos sociales artificiales en el ciberespacio o entre grupos de robots no es ninguna sorpresa (González-Bailón, 2004), pues los mismos principios físicos de emergencia de las propiedades colectivas en los sistemas complejos pueden aplicarse para crear máquinas que cooperen colectivamente, y así se ha hecho ya desde hace décadas (Kube y Zhang, 1993). Pero como la ciencia y la tecnología no son neutras, y su desarrollo en los países más avanzados depende de satisfacer las necesidades del Estado —muchas de ellas de carácter militar—, la robótica cooperativa se ha volcado a la creación de robots que de manera colectiva y autoorganizada pueden realizar tareas en el campo de batalla de una manera más eficiente que los seres humanos.

De esta forma, la primera noticia que se tiene de grupos de drones militares en acción se debe... sí, a Israel. En la guerra contra Palestina, la milicia israelí empleó en mayo de 2021, en Gaza, un enjambre de drones dotados de in-

teligencia artificial para localizar, identificar y atacar a las milicias de Hamas de manera autónoma, según reporta la revista inglesa *New Scientist* (Hambling, 2021), algo que Turquía ya había planeado usar en territorio sirio desde 2019 (Hambling, 2019). Nos queda desear que la robótica social (enjambres) se desarrolle también para aplicaciones pacíficas, por ejemplo, en la medicina y la lucha contra el cáncer (Swana *et al.*, 2022).

Por último, podemos comentar que la física de los sistemas complejos en la explicación de los fenómenos sociales es una tendencia en crecimiento. Se trata de la consolidación de una visión interdisciplinaria que ve a esta área del conocimiento como un auxiliar excepcional para comprender una serie de temas relevantes y entender diversos aspectos de lo social. Resulta alentador ver que las universidades de los países desarrollados ofrecen posgrados específicos en sociología digital, desde los cuales se exploran fenómenos complejos y emergentes de las interacciones humanas, especialmente en el ámbito de las redes sociodigitales y el ciberespacio. Así, las ciencias sociales modernas regresan al camino que vislumbraron Hobbes, Comte y otros pioneros.

Referencias

- Avetisov, V., Gorsky, A., Maslov, S., Nechaev, S. y Valba, O.** (2018). Phase transitions in social networks inspired by the Schelling model. *Physical Review E*, 98(3), 032308.
- Bankes, S. C.** (2002). Agent-based modeling: A revolution? *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(suppl. 3), 7199-7200.
- Chen, X., Kwan, M. P., Li, Q. y Chen, J.** (2012). A model for evacuation risk assessment with consideration of pre-and post-disaster factors. *Computers, Environment and Urban Systems*, 36(3), 207-217.
- Ciszak, M., Comparini, D., Mazzolai, B., Baluska, F., Arecchi, F. T., Vicsek, T. y Mancuso, S.** (2012). Swarming behavior in plant roots. *PLoS One*, 7(1), e29759.
- Cocho, G.** (2017). *Ciencia, humanismo, sociedad: de los sistemas complejos a la imaginación heterodoxa*. Coplt ArXives.
- Conte, R.** (2002). Agent-based modeling for understanding social intelligence. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(suppl. 3), 7189-7190.
- Encyclopædia Britannica.** (2023). *Hobbes, Thomas* — Wikisource. <https://www.britannica.com/biography/Thomas-Hobbes> (consultado el 17 de noviembre de 2023).
- Farkas, I., Helbing, D. y Vicsek, T.** (2002). Mexican waves in an excitable medium. *Nature*, 419(6903), 131-132.
- Gauvin, L., Vannimenus, J. y Nadal, J. P.** (2009). Phase diagram of a Schelling segregation model. *The European Physical Journal B*, 70, 293-304.
- González-Bailón, S.** (2004). ¿Sociedades artificiales? Una introducción a la simulación social. *Revista Internacional de Sociología*, 39, 199.

- Hambling, D.** (2019). Autonomous killer drones set to be used by Turkey in Syria. *New Scientist*, 3249, 10.
- _____ (2021, 30 de junio). Israel used world's first AI-guided combat drone swarm in Gaza attacks. *New Scientist*. <https://www.newscientist.com/article/2282656-israel-used-worlds-first-ai-guided-combat-drone-swarm-in-gaza-attacks/>
- Hatna, E. y Benenson, I.** (2012). The Schelling model of ethnic residential dynamics: Beyond the integrated-segregated dichotomy of patterns. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 15(1), 6.
- Iggers, G. G.** (1959). Further Remarks about Early Uses of the Term «Social Science». *Journal of the History of Ideas*, 20(3), 433-436.
- Kube, C. R. y Zhang, H.** (1993). Collective robotics: From social insects to robots. *Adaptive Behavior*, 2(2), 189-218.
- Miramontes, O.** (2014). Los sistemas complejos como instrumentos de conocimiento y transformación del mundo. En S. Ramírez (coord.), *Perspectivas en las teorías de sistemas* (pp. 83-92). Siglo XXI Editores/Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades, Universidad Nacional Autónoma de México.
- _____ y **Volke, K. (eds.)**. (2013). *Fronteras de la física en el siglo XXI*. Coplt ArXives.
- Ortega y Gasset, J.** (2004). *¿Qué es filosofía? Unas lecciones de metafísica*. Porrúa. (Original publicado en 1957).
- Quezada, A. y Canessa, E.** (2010). Agent-based modeling: A tool for complementing the analysis of social phenomena. *Avances en Psicología Latinoamericana*, 28(2), 226-238.
- Schelling, T.** (1989). *Micromotivos y macroconducta*. Fondo de Cultura Económica.

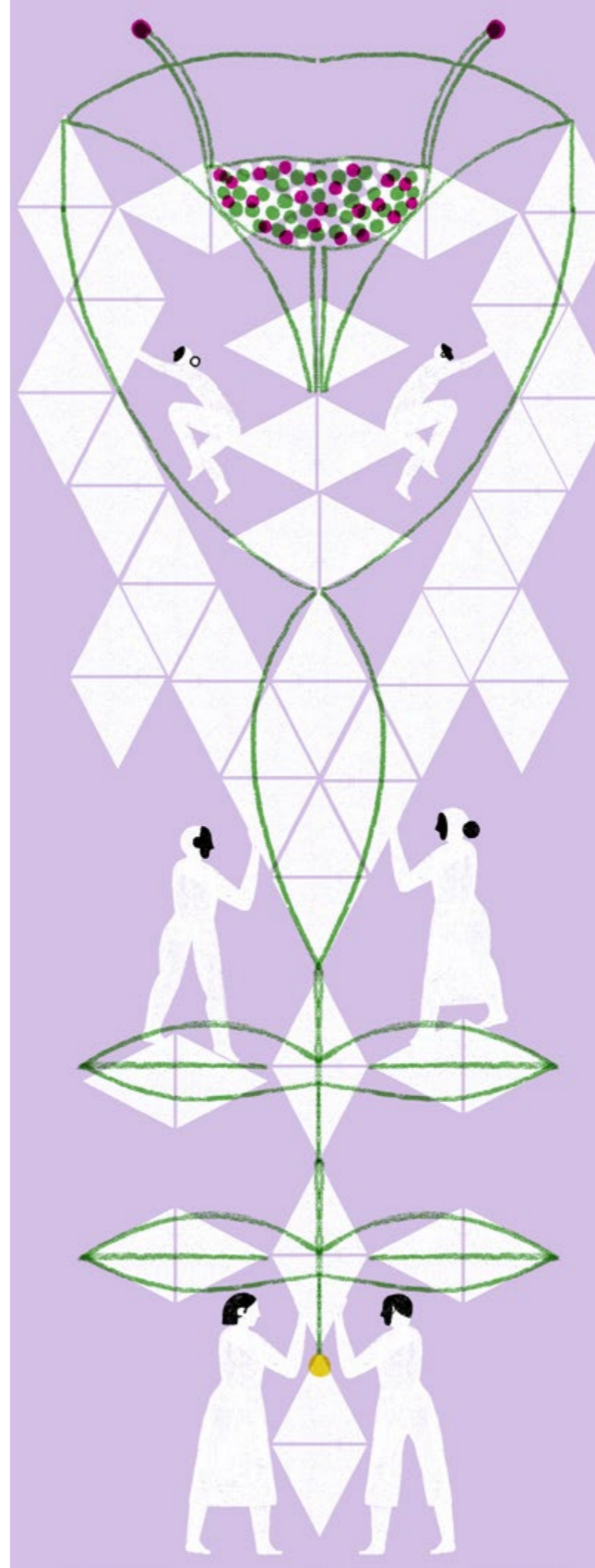
- Schweitzer, F.** (2018). Sociophysics. *Physics Today*, 71(2), 40-46.
- Stewart, J. Q.** (1950). The development of social physics. *American Journal of Physics*, 18(5), 239-253.
- Swana, M., Blee, J., Stillman, N., Ives, J. y Hauert, S.** (2022). Swarms: The Next Frontier for Cancer Nanomedicine. En I. Balaz y A. Adamatzky (eds.), *Cancer, Complexity, Computation* (pp. 269-288). Springer International Publishing.
- Tefel-Escudero, A.** (2022). Conflicts and Cooperation: A Game Theory Analysis of the Israeli-Palestinian Conflict. *Nuevas Tendencias*, 107, 13-17.
- Velicer, G. J. y Yu, Y. T. N.** (2003). Evolution of novel cooperative swarming in the bacterium *Myxococcus xanthus*. *Nature*, 425(6953), 75-78.
- Vinković, D. y Kirman, A.** (2006). A physical analogue of the Schelling model. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(51), 19261-19265.
- Wang, Y., Ge, J. y Comber, A.** (2022). An evacuation simulation model of pedestrian flow using Bayesian Nash equilibrium and a Multi-Agent System. *AGILE: GIScience Series*, 3, 68.



Germinal Cocho y el mundo del mañana

Hijo de españoles transterrados a México con el exilio republicano a principios de la década de 1940, Germinal Cocho Gil fue un científico, médico cirujano y físico por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y doctor en física de partículas por la Universidad de Princeton. Más allá de su perfil profesional, podría decirse que las fechas de su nacimiento y muerte son una síntesis de su compromiso ético y político: nació en Madrid el 1 de mayo de 1933, el Día Internacional de los Trabajadores, y murió en la Ciudad de México el 9 de mayo de 2019, fecha del aniversario de la capitulación de los nazis en 1945 ante la arrolladora ofensiva del Ejército Rojo de la Unión Soviética que puso fin a la Segunda Guerra Mundial en Europa.

A lo largo de su vida académica, Germinal hizo muchas aportaciones originales y profundas en la física de partículas y de altas energías, así como en la mecánica estadística y en la teoría cuántica de campos. Siempre adelantado a su época y con una visión de futuro que no se



Faustino Sánchez Garduño

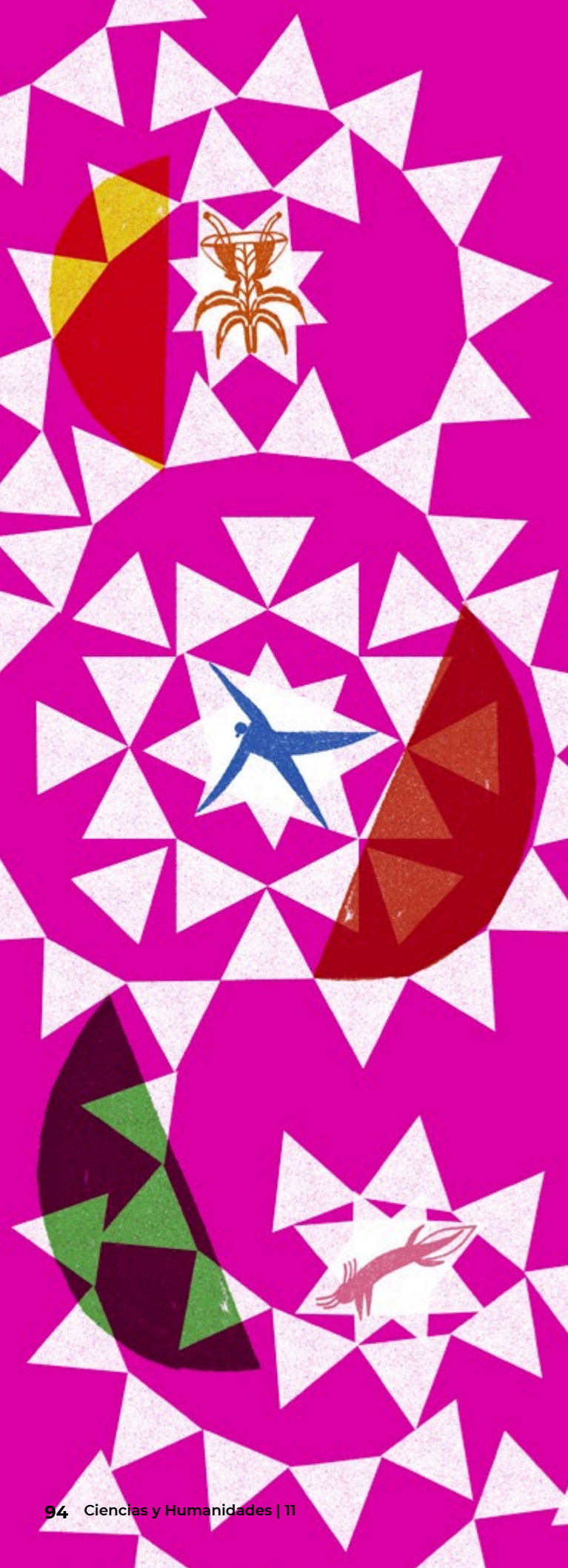
Pedro Miramontes

Profesores de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México.

José Luis Gutiérrez Sánchez

Profesor del Programa de Maestría en Ciencias de la Complejidad de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México.

halla frecuentemente, impulsó la creación, en el Instituto de Física de la UNAM, del Departamento de Sistemas Complejos a finales de los años setenta del siglo pasado, desde donde propició la formación de investigadores e investigadoras que, con su acompañamiento y guía, abordaron temas cuyo estudio exigía superar las barreras disciplinarias, abrir vasos comunicantes e integrar capacidades y perspectivas con especialistas de otros campos aparentemente lejanos a la física y la matemática, en las que él era experto. Así, contribuiría a la comprensión de una multitud de temas que le interesaban por su importancia general para la ciencia o por su relación con las necesidades de la gente, a la que siempre trató de servir. Sus intereses como investigador incluían el origen de la vida, la biología teórica, la morfogénesis y las restricciones estructurales en la morfología del ADN; asimismo, el síndrome metabólico, la dinámica de enfermedades complejas, como el sida, los procesos del sistema inmunitario y las es-



trategias comunitarias para la gestión de varias prácticas de protección de la salud; además de la evolución lingüística o las transiciones políticas y culturales debido a fluctuaciones sociales de todos los tamaños.

Su capacidad para integrar el conocimiento le permitía sugerir con sus discípulos o proponer él mismo enfoques que muchas veces se desarrollaban a la par o se adelantaban a lo que se haría años después en los grandes centros de investigación en torno a los sistemas complejos, como el Instituto de Santa Fe, el de Brookhaven, el de Frankfurt o el grupo de Ilya Prigogine en Bruselas y Austin. Por ejemplo, sostuvo la hipótesis del origen extraterrestre de una serie de compuestos orgánicos con los que surgiría la vida en nuestro planeta; también reconoció los mecanismos de autoorganización mediante los cuales emergen las regularidades espaciotemporales (patrones o pautas) que exhibe la materia (orgánica o inorgánica) en cualquier escala espacial (microscópica o macroscópica) en la que se organiza: desde las partículas elementales hasta las sociedades.

En abril de 1975 se organizó el simposio El Origen de la Vida, en la Facultad de Ciencias de la UNAM, para conmemorar el quincuagésimo aniversario de la publicación del opúsculo previo al libro homónimo del académico soviético Alexander Ivanóvich Oparin. En su ponencia «Algunos aspectos termodinámicos del origen de la vida», Germinal empezó por rechazar la



idea de que los seres vivos contradigan a las leyes de la termodinámica, para después hablar acerca del orden espaciotemporal y funcional que éstos exhiben. En este contexto y a propósito del papel que tendría la matemática en el estudio de las transiciones de fase, la descripción de estructuras disipativas y la termodinámica fuera del equilibrio, Germinal refirió en diferentes pláticas que la matemática no lineal tiene una importancia fundamental para comprender este tipo de fenómenos, y que éste es un campo difícil en el que falta casi todo por hacer. Hoy, el estudio de los sistemas dinámicos no lineales, y en todas sus versiones, es una de las ramas de la matemática que más crece y rinde frutos vigorosamente. Como siempre, Germinal acertaba y nos sugería un programa de trabajo de muy largo aliento.

A Germinal Cocho también se le reconoce como el fundador de la bioinformática en México. En la segunda mitad de la década de 1980, publicó, junto con sus pupilos, los primeros trabajos que analizaron secuencias biológicas a partir de su procesamiento con computadoras. Ahora no es sencillo imaginar lo difícil que era llevar a cabo esa tarea con los primitivos equipos de cómputo de los que entonces se disponía y porque aún no había genomas secuenciados.

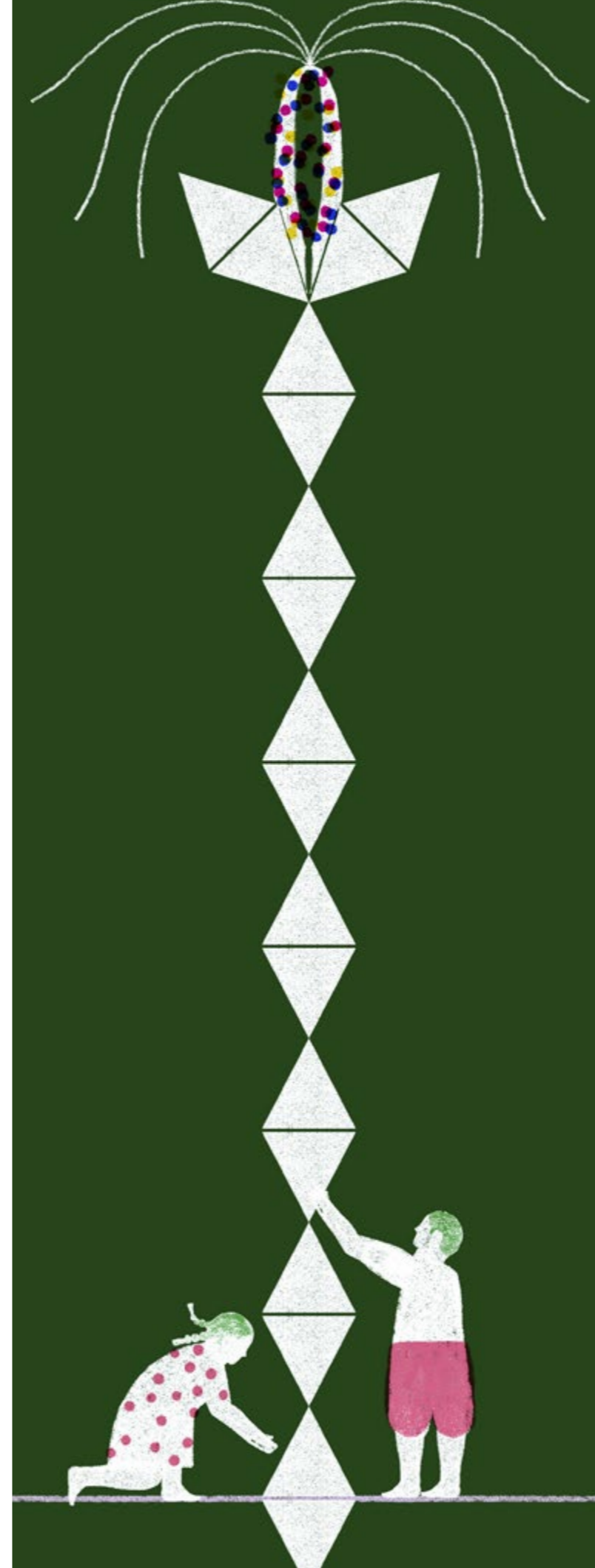
Germinal era dueño de una enorme cultura, poseía una inmensa calidad humana y practicaba, en todos los ámbitos donde le era posible, un compromiso auténtico con los grupos



más desfavorecidos. Utopista en el mejor sentido de la palabra, convocaba —con la fuerza de la concisión poética— a colegas y estudiantes a atreverse a concebir y pugnar por un «mundo del mañana», en el que no haya unas personas que piensen y otras que ejecuten.

Sus cursos de Física Moderna en la Facultad de Ciencias de la UNAM son memorables, pues por primera vez se contextualizaban los avances científicos como resultado de un esfuerzo condicionado por los intereses de las clases dominantes. Además, de ahí y del curso de Calor, Ondas y Fluidos, impartido por su hermano Flavio, surgió el Programa de Ciencia y Sociedad, que, montado en la cresta de los movimientos antiautoritarios de las décadas de 1960 y 1970, llevó a un estudiantado sensible y movilizado a reflexionar sobre sí mismo a la luz de la historia y la filosofía de la ciencia, de los orígenes y las consecuencias políticas, económicas y sociales de su quehacer y, en última instancia, del compromiso que debería tener la comunidad científica con la sociedad.

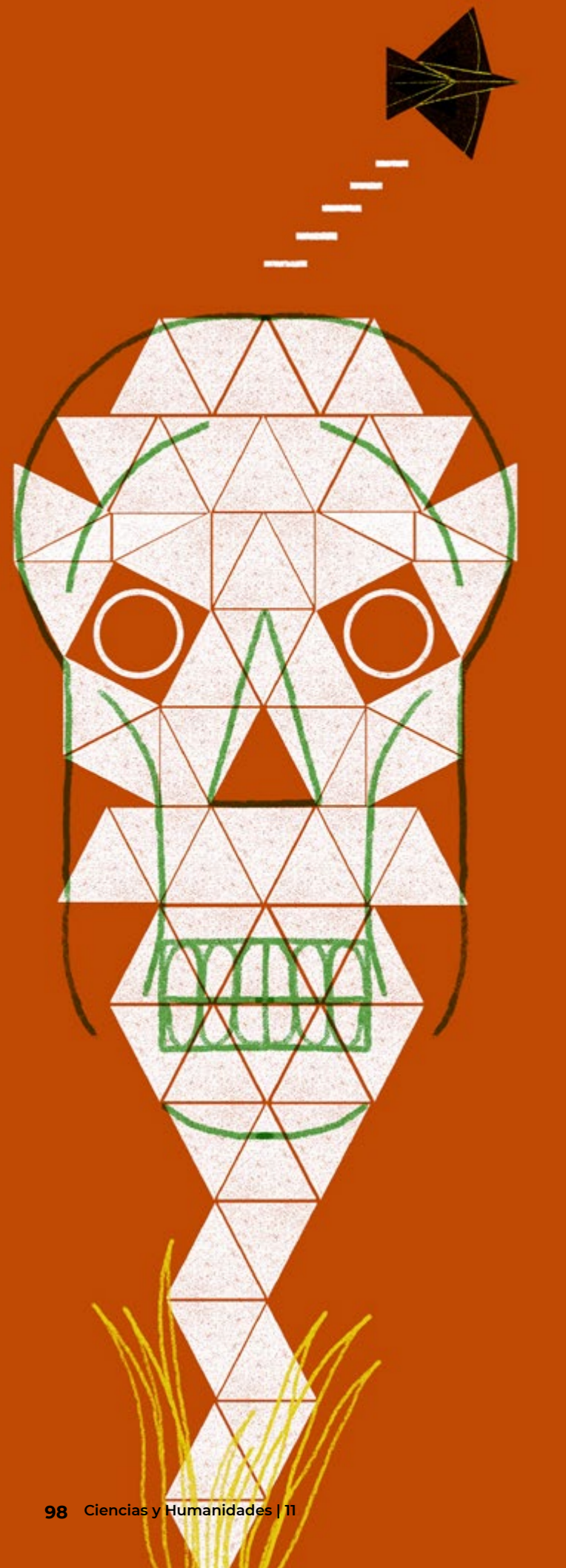
En ese «mundo del mañana» no habría una división entre el trabajo desarrollado por la parte instruida de la población (la de las mentes preparadas para pensar y mandar) y el esfuerzo de quienes no tienen más que su fuerza de trabajo y deben venderla para subsistir. De inicio —al trastocar el orden y los cimientos en los que se basa y construye el andamiaje social del capitalismo—, la cita germiniana implica un



cambio de paradigma: es igualmente valioso el trabajo intelectual que el manual y, por ende, los dos deben recibir el mismo reconocimiento social e igual remuneración. Más aún, una misma persona debería ser capaz de realizar ambas actividades, pues sólo así estaríamos en un mundo en el que no nada más unas personas piensan y otras únicamente ejecutaran.

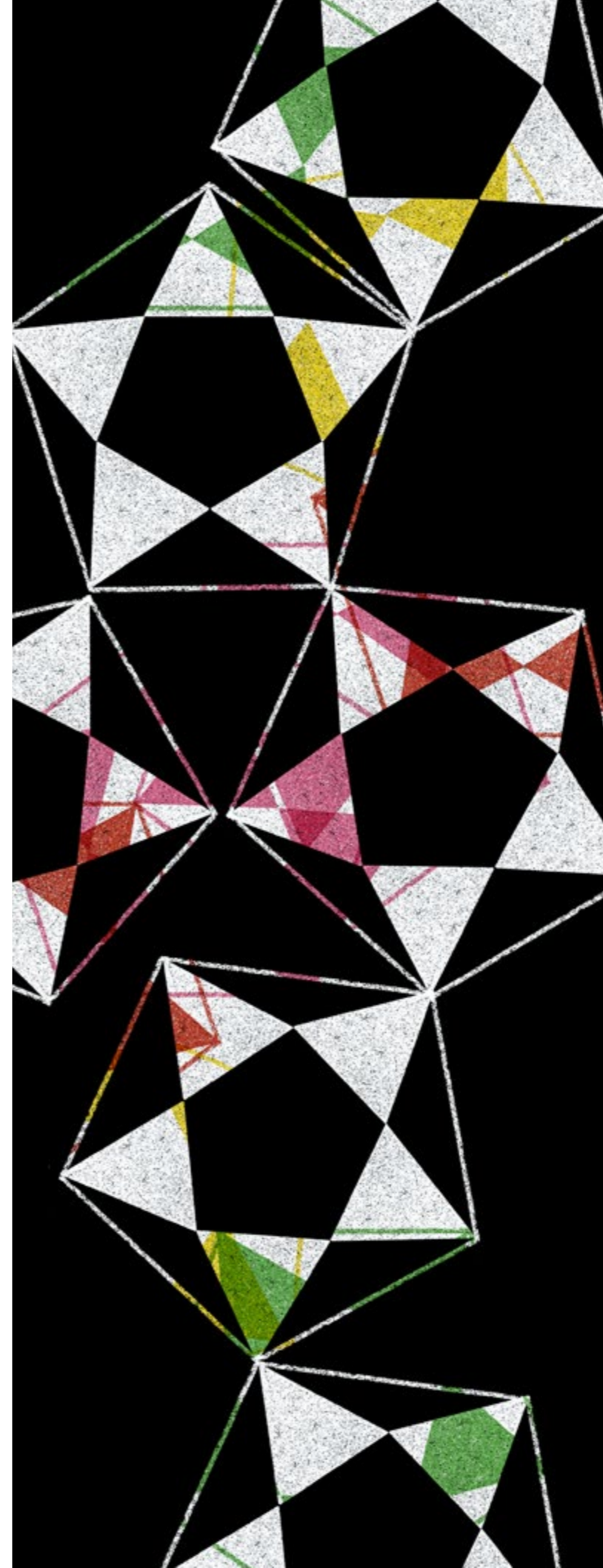
Se trataba de comenzar a crear las condiciones para borrar las barreras culturales y sociales que hacen que una parte de la sociedad se dedique única y exclusivamente al trabajo creativo, y el resto sólo a las labores manuales. En particular, la idea es hacer efectivo el derecho a la educación para todos y todas: que las limitaciones económicas de la población asalariada no impliquen que sus hijos e hijas no vayan a la escuela o no puedan aprender porque tienen el estómago vacío. La intención era, asimismo, generar el conocimiento apropiado para este propósito superior y ulterior, conscientes —como decía Germinal— de que:

No tenemos muchos recursos, tampoco disponemos de sofisticado equipo para realizar investigaciones, ni contamos en el país con la infraestructura científico-técnica para ello. Pero sí contamos con el entusiasmo, la preparación, la creatividad, el trabajo y la convicción de que podemos hacer cosas buenas. En ello nos podemos apoyar. (Cocho, comunicación personal, s. f.)



Congruente con sus postulados, durante toda su vida sostuvo una labor profesional múltiple, creativa, original, abundante, profunda y comprometida socialmente. De la misma manera que exponía el resultado de sus trabajos académicos en las más prestigiadas instituciones alrededor del mundo, organizaba encuentros y coloquios para dialogar con quienes tenían programas de investigación afines, como en la Conferencia Waddington de 1987, en Oaxtepec, o bien mantenía correspondencia con otros intelectuales que criticaban el papel subordinado que tenía la ciencia ante los intereses del gran capital.

En este terreno destaca su entereza y compromiso antiimperialista: en la primavera de 1974, Murray Gell-Mann, quien obtuvo el Premio Nobel de Física en 1969, fue invitado al Instituto de Física en el que Germinal era investigador. A la sazón, Gell-Mann era miembro de un grupo de físicos estadounidenses de muy alto perfil que asesoraban al Pentágono para desarrollar estrategias y armas ecocidas y de exterminio de la población en la guerra de Vietnam, como parte de un proyecto científico-tecnológico llamado Jason. Durante los dos años anteriores, en Trieste, en Roma y en París, en distintos espacios de trabajo de la comunidad científica de la época, se les había expulsado al cuestionarlos por sus contribuciones a la industria bélica y fueron identificados como verdaderos criminales de guerra. Con otros profesores de la Fa-



cultad de Ciencias, Germinal convocó a sus estudiantes en un mitin junto a la emblemática fuente de Prometeo para oponerse a la estancia de Gell-Mann en la UNAM y, al final, las autoridades del Instituto tuvieron que llevarse a su invitado a otra parte. Cuando reflexionaba sobre esto, Germinal decía que «había que sentirse vietnamita».

Al final de su vida, logró extender los límites de la ciencia conocida y propuso una ley empírica que generaliza a las leyes de potencia, consideradas hasta ese entonces como las firmas de los sistemas que exhiben autosemejanza y, en buena medida, complejidad. Sus últimos esfuerzos fueron hacia la fundamentación física y matemática de la así llamada, en su honor, distribución germibeta. Sus discípulos continúan con esta tarea.

Mucho le debe la ciencia mexicana a Germinal Cocho. Todavía más le debemos quienes tuvimos la gran fortuna de crecer y madurar intelectualmente bajo su guía siempre sabia y generosa.

Viejo Conacyt

91 fideicomisos que permitieron financiar onerosos proyectos, en muchos casos sin incidencia en el sector.

Apoyos al sector
54 % público
46 % privado

2001 a 2018
\$45 mil millones autorizados al sector privado (incluyendo empresas transnacionales que no requerían apoyo), a través de los fideicomisos y programas del Conacyt.

2013 a 2018
80 % de los recursos de los Fondos Mixtos se destinaron a proyectos de infraestructura, en muchos casos no fortalecieron las capacidades científicas.

Convocatoria 2017-2018
\$0 recursos ministrados en esos años para esa convocatoria.

2018
2 346 programas en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC).

2021
70 % de los programas de posgrados dentro del PNPC cobraban alguna cuota o colegiatura.

2018
691 becas de posdoctorado nacionales administradas.

2018
28 633 miembros del Sistema Nacional de Investigadores

Nuevo Conahcyt

A partir de 2020
91 fideicomisos extintos de conformidad con el Decreto presidencial de abril de 2020.

Apoyos al sector
91.4 % público
8.6 % privado

2019
Programa presupuestario
F003 Programas Nacionales Estratégicos de Ciencia y Tecnología y Vinculación con los Sectores Social, Público y Privado consolidación de esfuerzos institucionales para el apoyo a las HCTI.

2019-2024
460 proyectos en el eje de desarrollo tecnológico e innovación soberana para el bienestar más de 3 mil millones de pesos ministrados.

2019 a 2024
\$3 840.8 ministrados para la promoción de la ciencia básica, de frontera y la infraestructura científica.
millones

2024
3 483 programas de posgrado en el Sistema Nacional de Posgrados (SNP), 48.5 % más que en 2018.

2024
95 % de avance de la gratuidad de programas de posgrados públicos.

2024
4 789 becas de posdoctorado nacionales administradas 593 % más que en 2018.

2024
53.6 % incremento en la membresía del SNII respecto a 2018 2 mil nuevas personas investigadoras un total de 43 979 investigadoras e investigadores.

María Díez Canedo Flores
Profesora de la Facultad de Música
de la Universidad Nacional Autónoma de México.

La ciudad



resonante:

música instrumental
en la Nueva España
del siglo XVIII

El concepto de la ciudad latinoamericana colonial como un «proyecto ideal de armonía sonora» (Baker, 2011) era tan importante como la ciudad material:

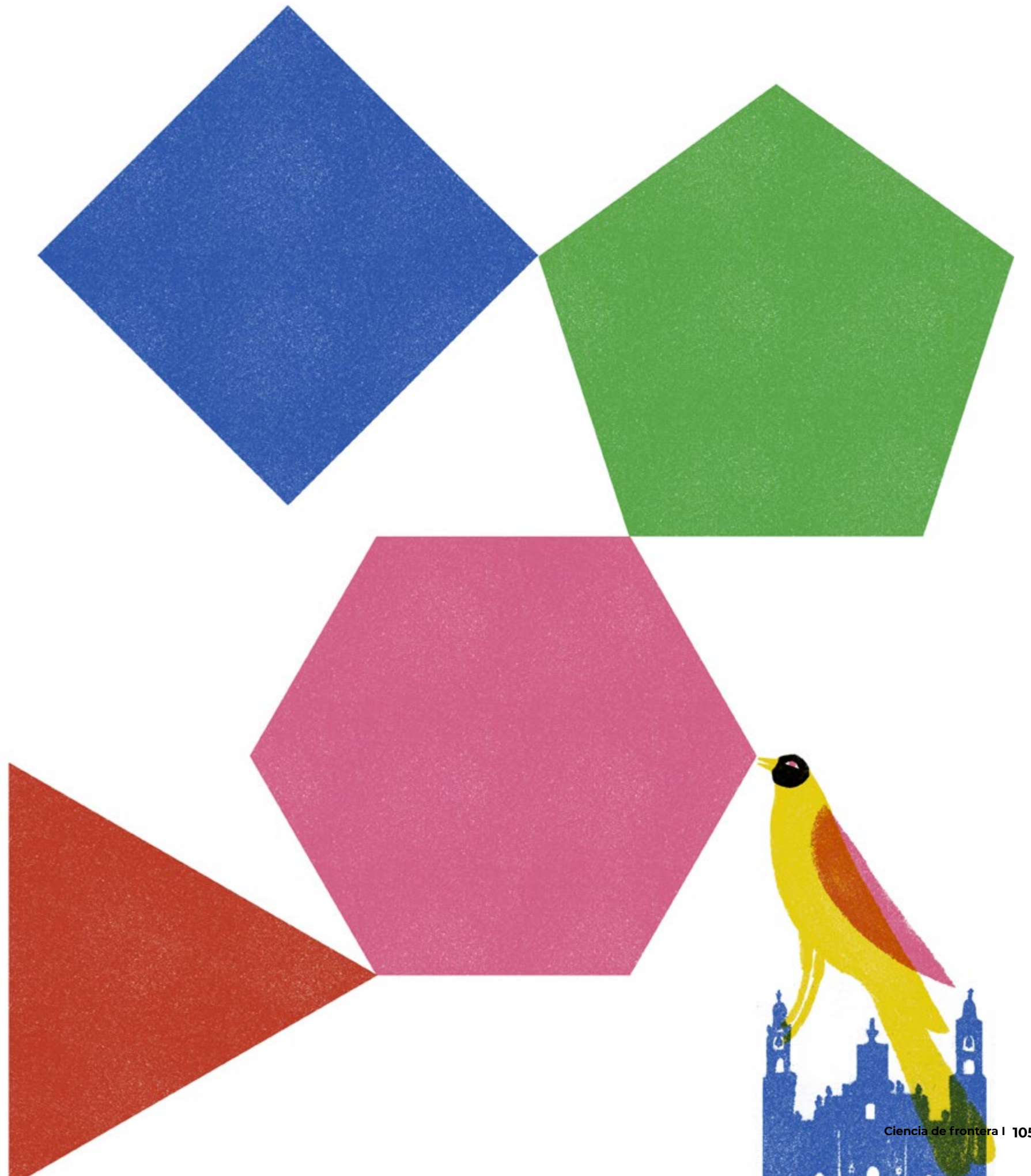
La ciudad resonaba tanto en su esencia —su diseño armónico— como a través de sus prácticas sonoras, pues las ceremonias con música proveían la contraparte aural a las normas de planeación urbana [...] los músicos estaban entre los principales responsables de hacer realidad el ideal de la ciudad a través de la ejecución. (Baker, 2011, p. 5)

La metrópoli novohispana englobaba una compleja red de interrelaciones entre múltiples centros eclesiásticos y civiles integrados social y espacialmente (catedrales, iglesias, colegiadas, monasterios, colegios, teatros, el Palacio Virreinal, casas de la aristocracia y cuerpos militares); allí, los músicos eran contratados en varios ámbitos indistintamente. La Ciudad de México —que solicita y recibe música y músicos de los grandes centros españoles, como Madrid, Sevilla y Cádiz, y también directamente de Italia— era, a su vez, un «centro de redistribución» de donde irradiaba música, libros teóricos, métodos musicales, músicos, etc., hacia centros urbanos como

Oaxaca, Durango, Morelia, Puebla, Guadalajara, Zacatecas, Guatemala y otros lugares. El enfoque del investigador Geoffrey Baker, especializado en la música de América Latina durante la Colonia, permite enmarcar la circulación de obras y artistas de ambos lados del Atlántico dentro de los estudios recientes acerca de las migraciones.

En este sentido, la música se constituyó en un vehículo de intercambios multidireccionales en lo que para algunos estudiosos se considera la primera era de la globalización (Irving, 2010). Desde el siglo XVI hasta el XVIII, Nueva España fue paso obligado del intercambio comercial, cultural y político de la China hacia el Viejo Continente, y junto con las Filipinas —«último confín del mundo hispánico» (Díez Canedo, 1944/1983)— fungieron como puente entre los dos hemisferios.

Las más recientes investigaciones musicológicas en los archivos americanos han permitido conocer cada vez más el desarrollo de la actividad musical y los riquísimos repertorios que florecieron en el Nuevo Mundo en los siglos XVII y XVIII; asimismo, ofrecen una visión renovada de la música iberoamericana, al rescatarla del lugar marginal que había ocupado en la musicología tradicional anglosajona (Gembero y Ros,





2007; Marín López, 2008 y 2020). El registro de inventarios sacros y civiles, aunado al hallazgo de cientos de obras de autores españoles e italianos (algunos que radicaron y produjeron aquí su obra), junto a las de compositores originarios de México, Perú, Bolivia, Guatemala, etc., ofrecen una perspectiva cada vez más rica del quehacer musical y motivan replanteamientos sobre las aportaciones en ambos sentidos, no solamente del Viejo al Nuevo Mundo. Por ejemplo, se ha revelado que géneros como la zarabanda y la chacona podrían tener orígenes americanos; el musicólogo Álvaro Torrente (2023) rastreó el origen de las primeras referencias de ese género musical.

La mayor parte de la música de los siglos XVII y XVIII que ha llegado hasta nuestros tiempos, destinada a los oficios y las festividades religiosas, se encuentra en los archivos de las iglesias y catedrales. Miles de manuscritos de música polifónica se han conservado en las principales catedrales de México: Puebla, Oaxaca, Durango, Morelia, Ciudad de México y Guadalajara. Tan sólo de la Catedral Metropolitana, que cuenta con 5024 registros, el proyecto Musicat de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) ha publicado ocho volúmenes del catálogo de obras (Enríquez et al., 2014, 2015, 2019 y 2021). También

contamos con catálogos de obras de la Catedral de Puebla (Tello et al., 2015), de la Catedral de Durango (Davies, 2013), de archivos de iglesias de Oaxaca y también del Acervo Musical del Colegio de las Vizcaínas (Lazos, 2019), entre los más destacados. Varias instituciones, como el Centro Nacional de Investigación, Documentación e Información Musical Carlos Chávez, la UNAM, la asociación civil Apoyo al Desarrollo de Archivos y Bibliotecas de México, la Universidad de Jaén en Andalucía, España, y la editorial Dairea, han publicado estudios y ediciones críticas de la obra de compositores novohispanos: Manuel de Sumaya (Tello, 1996; Sumaya y Tello, 2007), Francisco López y Capillas (Lara Cárdenas, 1993, 1994 y 2002), Juan Gutiérrez de Padilla (Stanford y Spiess, 1967; Palacios et al., 1998), Antonio de Salazar (De Salazar y Pérez Ruiz, 2016), Ignacio Jerusalem (Marín y Davies, 2019), Santiago Billoni (Davies, 2013), Gaspar Fernández (Tello y Lara, 2001), José Manuel y José Francisco Delgado (Roubina, 2009), entre otros. Por otro lado, la música secular, que se ejecutaba en salones, casas particulares, festividades civiles, teatros, etc., fue infinitamente más susceptible de destruirse y perderse. La poca que se conservó fue gracias a que tuvo acceso a los archivos de las iglesias, conventos y colegios o se

guardó en archivos históricos de algunas bibliotecas privadas o institucionales (pero es imposible dar cuenta de este repertorio en tan breve espacio).

Sin embargo, la biblioteca del Palacio Virreinal de la Ciudad de México—donde se interpretaron óperas como *La Parténope*, del compositor y maestro de capilla de la Catedral Metropolitana y posteriormente de la de Oaxaca, Manuel de Sumaya, y obras instrumentales como oberturas, sinfonías y sonatas—sufrió pérdidas irreparables y, hasta ahora, no se ha podido recuperar la música que allí se albergaba (Sigüenza y Góngora, 1954). Lo mismo pasó con la que se interpretaba en el Teatro Coliseo: sólo se conservan los inventarios en crónicas y en los libros de actas del colegio jesuita de San Gregorio, cuyos colegiales formaban parte de la orquesta del teatro (*Inventario del Colegio de San Gregorio*, 1830; Olavarría y Ferrari, 1889) y algunas colecciones de danzas y música de teatro, como el manuscrito *Sutro* (Koegel, 1997) y el manuscrito «de Chalco» Eleanor Hague (Russell, 1997).

Un ejemplo único en su género es el manuscrito *XII Sonatas A Solo Flauta, é Basso* (Locatelli et al., 1759), que contiene sonatas para flauta y bajo continuo, de los virtuosos del violín y la flauta Pietro Antonio Locatelli y Luis Misón (1727-1766) (Díez Canedo, 2014); además, se

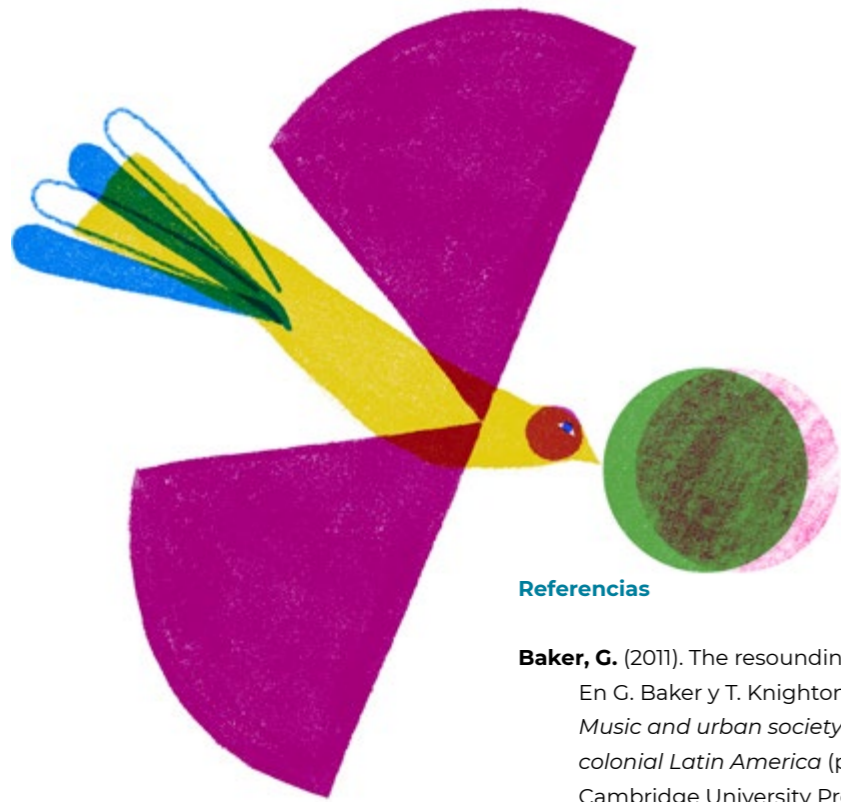
preservó una colección de 100 danzas (minuetos, marchas y seguidillas) que se habrían tocado en distintos ámbitos, como en las festividades civiles, en el teatro, en bailes, en conciertos caseros o en los colegios, también con una función pedagógica.

Todo esto se puede considerar como una muestra elocuente de las complejas vías de circulación de música y músicos entre Italia, España, Francia, los Países Bajos y la Nueva España durante el siglo XVIII, producto de la diversidad estilística y de la globalización de las prácticas musicales. Por ejemplo, las sonatas en estilo teatral italiano, obras características del «moderno» estilo galante, son reflejo de las nuevas ideas de la Ilustración. Los instrumentistas italianos ocuparon puestos de importancia en las capillas musicales de las cortes y catedrales, teatros y centros musicales de ambos lados del Atlántico, desde donde diseminaron el estilo itálico que dominó gran parte del panorama musical de mediados del siglo XVIII. Es el caso del ilustre Ignacio Jerusalem, violonchelista italiano contratado en Cádiz, quien llegó a la Nueva España en 1743 (junto con un grupo de músicos de flauta, violín y corno) como director del Teatro Coliseo; de allí pasó a ser director de la capilla musical de la Catedral Metropolitana de México

(de 1746 hasta su muerte, en 1769), donde desarrolló casi toda su magnífica producción musical. En el manuscrito *XII Sonatas*—conservado actualmente en el Archivo Histórico del Museo Nacional de Antropología—hay al menos una obra de Jerusalem, y ese cuaderno representa un hito en las prácticas instrumentales y el repertorio flautístico iberoamericano de mediados del siglo XVIII.

La recreación sonora de la música barroca instrumental, semilla viva de nuestro presente musical, incluida la música tradicional del son, enriquece y enaltece nuestro actual patrimonio cultural. Menciono una pequeña muestra de referencias sonoras para ilustrar este rico patrimonio intangible:

- La Fontegara. (2000 y 2004). *Sonatas Novohispanas I y II* (música novohispana de archivos de la Catedral Metropolitana de la Ciudad de México, Códice Saldivar 4, Ms. XII Sonatas a Flauta Sola). Urtext Digital Classics.
- La Fontegara. (2004). *Chamber Music – Murcia, S. De /Locatelli, P. A./ Puchinger (Sonatas from the New Spain, vol. 2). Sonatas Novohispánicas II. Música barroca mexicana*. Meridian Records. https://open.spotify.com/album/0bMWiRRbI0tzga0TGTN8L9?si=K_txVfdPQ70_69RNAGoPlw



Referencias

- *La Fontegara. (2017). Arca de Música: Instrumental Music in New Spain, Vol. I Mid-18 c. Manuscripts.* Meridian Records. https://open.spotify.com/album/3xZwF5B7cHnaNws4vo8pc?si=PuF6Y YC9TOS26Ni3Jx_-hw
- Bona Fe, Ensemble de Música Antigua. (2019). *Devoción, fiesta y chanza, villancicos en la Nueva España.* https://open.spotify.com/album/3s5njeiQbITfrhRDcFWRMY?si=BvYLX_8SjiuLHR_TeDUbQ

- Baker, G.** (2011). The resounding city. En G. Baker y T. Knighton (eds.), *Music and urban society in colonial Latin America* (pp. 1-20). Cambridge University Press.
- Davies, D. E.** (2013). *Catálogo de la colección de música del Archivo Histórico de la Arquidiócesis de Durango.* Instituto de Investigaciones Estéticas-Universidad Nacional Autónoma de México.
- De Salazar, A. y Pérez Ruiz, B.** (2016). *Tesoro de la música polifónica en México XV: Antonio de Salazar (C. 1650 - 1715) I. Obras en latín.* Secretaría de Cultura/ Instituto Nacional de Bellas Artes/ Centro Nacional de Investigación, Documentación e Información Musical Carlos Chávez.
- Díez Canedo, E.** (1983). Filipinas en el confín del mundo hispánico. En *Letras de América. Estudios sobre las literaturas continentales* (pp. 347-353). Fondo de Cultura Económica. (Original publicado en 1944).
- Díez Canedo, M.** (2014). *Perspectiva general de la flauta travesa en la Nueva España de 1700 a 1780: uso y repertorio. Estudio del cuaderno de flauta travesa XII Sonatas a Solo Flauta, é Basso di Pietro Locatelli y otros autores,*

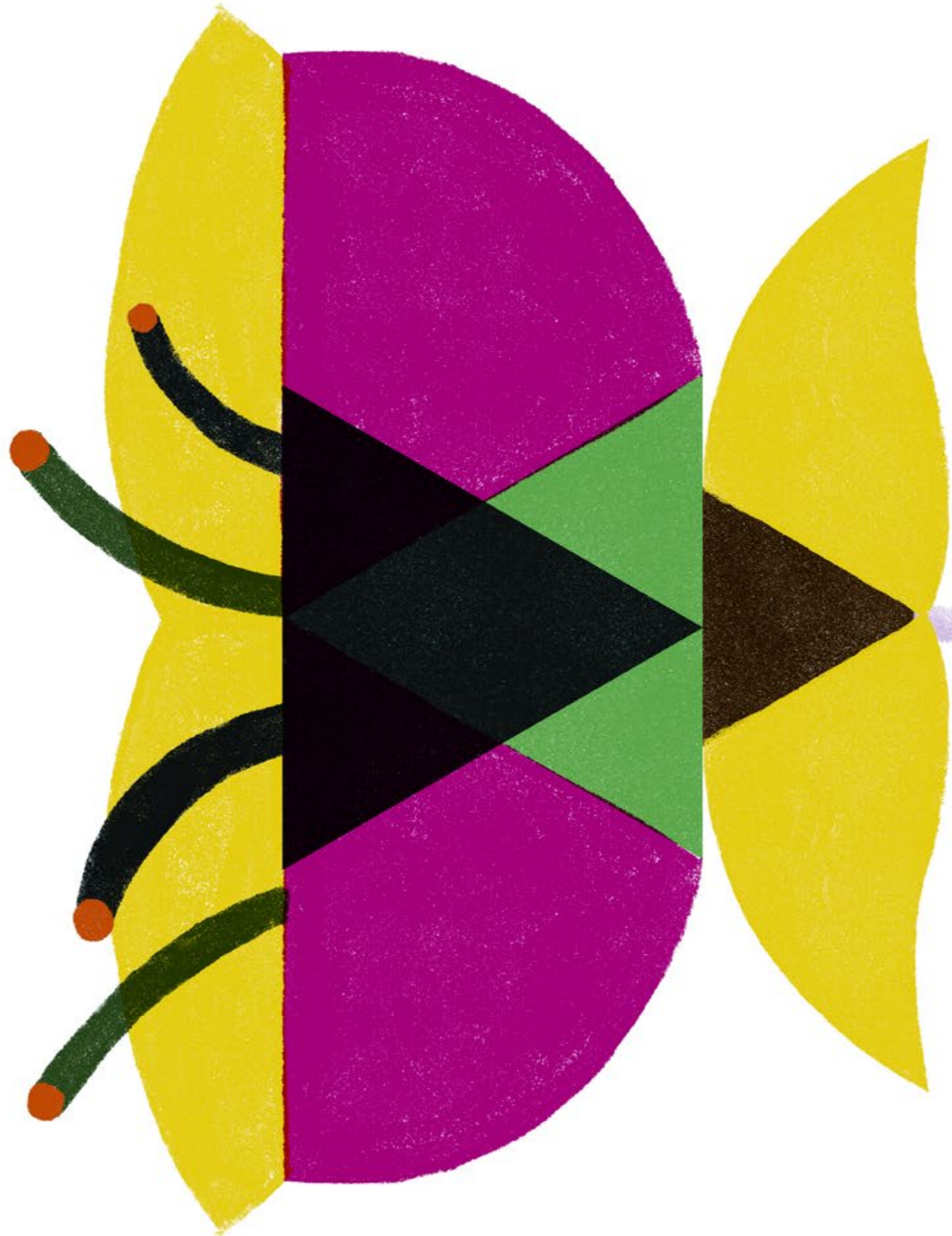
México, 1759 [tesis de doctorado]. Instituto de Investigaciones Estéticas-Universidad Nacional Autónoma de México. <http://132.248.9.195/ptd2014/octubre/0720978/index.html>

- Enríquez, L., Davies, D. E. y Cherñavsky, A. (coords.).** (2014). *Catálogo de obras de música del Archivo del Cabildo Catedral Metropolitano de México, vol. I. Villancicos y cantadas.* Instituto de Investigaciones Estéticas-Universidad Nacional Autónoma de México.
- _____ (2015). *Catálogo de obras de música del Archivo del Cabildo Catedral Metropolitano de México, vol. II. Vísperas, antífonas, salmos, cánticos y versos instrumentales.* Instituto de Investigaciones Estéticas-Universidad Nacional Autónoma de México.
- _____ y **Ramírez, C. S.** (2019). *Catálogo de obras de música del Archivo del Cabildo Catedral Metropolitano de México, vol. III. Maitines, oficios de difuntos, series de responsorios, invitatorios, lecciones y responsorios individuales.* Instituto de Investigaciones Estéticas-Universidad Nacional Autónoma de México.
- _____ (2021). *Catálogo de obras de música del Archivo del Cabildo Catedral Metropolitano de México, vol. IV. Himnos, versículos y motetes.* Instituto de Investigaciones Estéticas-Universidad Nacional Autónoma de México.
- Gembero Ustárroz, M. y Ros Fábregas, E. (coords.).** (2007). *Música a través del Atlántico. Relaciones musicales entre España y Latinoamérica.* Universidad de Granada.

- Inventario del Colegio de San Gregorio.** (1830). (Coliceo Ordenanzas, 1786: Aprecio y abaluo de las piezas de Musica que por parte de los Señores de la Sociedad y Directores del Teatro del Real Coliceo). Colección Antigua del Archivo Histórico del Museo Nacional de Antropología e Historia (sin signatura).
- Irving, D. R. M.** (2010). *Colonial Counterpoint: Music in Early Modern Manila.* Oxford University Press.
- Koegel, J.** (1997). Nuevas fuentes musicales para danza, teatro y salón de la Nueva España. *Heterofonía, 116-117*, 9-37.
- Lara Cárdenas, J. M. (transcripción).** (1993). *Francisco López Capillas (ca. 1608-1674). Obras. Volumen primero* (Tesoro de la Música Polifónica en México, V). Consejo Nacional para la Cultura y las Artes/Instituto Nacional de Bellas Artes/Centro Nacional de Investigación, Documentación e Información Musical Carlos Chávez.
- _____ (1994). *Francisco López Capillas (ca. 1608-1674). Obras. Volumen segundo* (Tesoro de la Música Polifónica en México, VI). Consejo Nacional para la Cultura y las Artes/Instituto Nacional de Bellas Artes/Centro Nacional de Investigación, Documentación e Información Musical Carlos Chávez.
- _____ (2002). *Francisco López Capillas (ca. 1608-1674). Obras. Volumen tercero* (Tesoro de la Música Polifónica en México, XI). Consejo Nacional para la Cultura y las Artes/Instituto Nacional de Bellas Artes/Centro Nacional de Investigación, Documentación e Información Musical Carlos Chávez.

- Lazos, J. G.** (2019). *Catálogo del Acervo Musical del Colegio de Vizcaínas (AMCV). La memoria sonora de los colegios femeninos en México entre los siglos XVI-XIX.* Colegio San Ignacio de Loyola Vizcaínas. <https://colegiovizcainas.edu.mx/wp-content/uploads/2019/08/2019-Catalogo-del-Acervo-Musical-del-Colegio-de-Vizcal%CC%81nas-2.pdf>
- Locatelli, P. et al.** (1759). *XII Sonatas A Solo Flauta, é Basso.* Archivo Histórico del Museo Nacional de Antropología e Historia.
- Marín López, J.** (2008). Músicos madrileños con destino a la Catedral de México. *Cuadernos del Seminario Nacional de Música en la Nueva España y el México Independiente, 3*, 5-14.
- _____ (ed.). (2020). *De Nueva España a México: el universo musical mexicano entre centenarios (1517-1917).* Universidad Internacional de Andalucía/Universidad de Jaén.
- Marín López, J. y Davies, D.** (2019). *Ignacio Jerusalem (1707-1769): Cronología biográfica y lista de obras.* Dairea Ediciones.
- Olavarría y Ferrari, E. D.** (1889). *Reseña histórica del teatro en México.* Imprenta Díaz de León.
- Palacios, M., Tello, A., Hurtado, N., Alonso, P. y Henríquez, R.** (1998). *Tres Cuadernos de Navidad (1653, 1655, 1657) de Juan Gutiérrez de Padilla (México, siglo XVII).* Fundación Vicente Emilio Sojo/ Consejo Nacional de la Cultura.
- Roubina, E.** (2009). *Obras instrumentales de José Manuel Delgado y José Francisco Delgado y Fuentes.* Ediciones y Gráficos Eón.
- Russell, C. H.** (1997). El manuscrito Eleanor Hague. Una muestra de la vida musical en el México del

- siglo XVIII. *Heterofonía, 116-117*, 51-97.
- Sigüenza y Góngora, C.** (1954). *Relaciones históricas.* Universidad Nacional Autónoma de México.
- Stanford, T. E. y Spiess, L. B.** (1967). *Musical Archives in Mexico City, Tepotzotlan and Puebla.* (microfilms). College Music Symposium.
- Sumaya, M. D. y Tello, A.** (2007). *Tesoro de la Música Polifónica en México XII: Archivo Musical de la Catedral de Oaxaca. Cláusulas, secuencias, salmos de Manuel de Sumaya.* Consejo Nacional para la Cultura y las Artes/Instituto Nacional de Bellas Artes.
- Tello, A.** (1996). Tesoro de la Música Polifónica en México, VII: Archivo Musical del la Catedral de Oaxaca, Cantadas y Villancicos de Manuel de Sumaya. *Inter-American Music Review, 15(2)*, 123-132.
- _____, **Franco, D. y Mani, A.** (2015). Catedral de Puebla, *Catálogo y Apéndice Biográfico de Compositores Novohispanos.* Instituto Nacional de Bellas Artes/ Consejo Nacional para la Cultura y las Artes.
- Tello, A. y Lara, J. M.** (2001). *Archivo musical de la catedral de Oaxaca: cancionero musical de Gaspar Fernandes, tomo primero.* Consejo Nacional para la Cultura y las Artes/ Instituto Nacional de Bellas Artes/ Centro Nacional de Investigación, Documentación e Información Musical Carlos Chávez.
- Torrente, Á.** (2023). Anatomía de una errata: zarabanda, Panamá, 1539. *Resonancias, 27(52)*, 257-271. doi.org/10.7764/res.2023.52.12



La ley como llave para la soberanía científica

María Estela Ríos González
Consejera jurídica del Ejecutivo Federal.

En la industria nuclear, uno de los temas recurrentes es la transferencia de tecnología que llaman «de llave en mano», en que la propagación del conocimiento científico y técnico está sujeta a la decisión de quienes ofrecen y manejan la tecnología. Desde su iniciativa, la Ley General en materia de Humanidades, Ciencias, Tecnologías e

Innovación plantea romper con la idea de que México no es capaz de producir ciencia y que es necesario importar modelos científicos y técnicos novedosos en apariencia y caros para el país, pero obsoletos en otras naciones. Sin duda, es histórico lo que representa esta ley para la generación y transferencia de conocimientos en favor de la soberanía nacional y el bienestar social.

El planteamiento no es menor: que la comunidad de las humanidades, ciencias,



CONA

tecnologías e innovación (HCTI) sea capaz de construir tanto ciencia como técnica es sumamente importante y se relaciona directamente con un sentimiento de dignificación. Además, contribuye al proceso de descolonización, pues se tenía la idea de que sólo lo que se produce en el extranjero sirve, que únicamente lo que traen los colonizadores es bueno, pero no es así. La nueva ley conlleva un modelo distinto, en el que se concibe y produce ciencia aterrizada, como la que están haciendo un gran número de mexicanas y mexicanos. Algunos ejemplos son la fabricación de los ventiladores Ehécatl 4T y Gátsi, así como la generación de la vacuna Patria. México es capaz de producir esa ciencia, ese conocimiento.

El hecho de haber agregado la «H» al hoy Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (Conahcyt) es un acierto fundamental porque la ciencia no sólo se refiere a las llamadas «ciencias duras», sino también a las sociales. La realidad cambiante requiere explicaciones

sociológicas, económicas y políticas, pero también necesita de las ciencias, tecnologías e innovación para seguir avanzando.

Ahora se tiene un instrumento jurídico —una ley— y una comunidad de HCTI comprometida con la transformación de la realidad y el conocimiento. Esto significa que, si bien se seguirá abrevando de la producción científica y técnica del extranjero, por la universalidad de la ciencia, México construye y construirá sus propios conocimientos y sus modelos científicos y tecnológicos.

En este sentido, es muy importante conformar una teoría jurídica mexicana que continúe con la tradición de ilustres maestros como Mario de la Cueva, Eduardo García Máynez y Gabino Fraga. Actualmente, parece indispensable acudir a las mentes teóricas sudamericanas e ibéricas para más o menos aprender teorías jurídicas novedosas, cuando México fue exportador de una doctrina jurídica de vanguardia. Por ejemplo, la obra de Eduardo

García Máynez se estudiaba en Italia, y la de Mario de la Cueva en Brasil, como teórico referente del derecho laboral y del constitucional.

Sin embargo, ahora no se cuenta con autores originales y de referencia en éstas y otras materias. De ahí que también en las ciencias sociales, y en el campo del derecho, sea menester impulsar la creación de conocimientos nacionales; se necesita generar una nueva teoría jurídica que responda a la realidad y al nuevo modelo de país que se construye. De lo contrario, simplemente se asumirá de manera pasiva lo que hacen los juristas en boga, «los grandes maestros», lo cual implicará repetir lugares comunes, seguir modas foráneas y apelar al argumento de autoridad. El reto consiste en producir una ciencia del derecho y ciencias humanas desde México, así como también ciencia básica y tecnologías, que respondan a nuestras necesidades y contribuyan a la construcción de un mundo mejor.

HCTI



Convergencia y conflictos:

desafíos interdisciplinarios

en la tecnología y las humanidades



David Enrique Merino Téllez

Presidente de la Academia Mexicana de Derecho Digital y Tecnológico.

México se encuentra en una encrucijada crítica para su desarrollo, donde la innovación emerge como un factor determinante para impulsar el progreso humanístico, científico, social y económico. En este sentido, la promulgación de la Ley General en materia de Humanidades, Ciencias, Tecnologías e Innovación en mayo de 2023 significó un hito importante en el marco legal del país, al establecer las bases para fomentar la investigación, la tecnología y la innovación. Su principal objetivo es garantizar el ejercicio del derecho humano a la ciencia, conforme a los principios de universalidad, interdependencia, progresividad e indivisibilidad para que toda persona goce de los beneficios del desarrollo de la ciencia y la innovación tecnológica. Asimismo, marca la obligación del Estado de fomentar, realizar y apoyar actividades de investigación humanística y científica, así como de desarrollo tecnológico e innovación, que redunden

en el bienestar del pueblo de México, lo que incluye la preservación, restauración y protección del ambiente.

No obstante, la implementación efectiva de esta Ley afronta diversos retos que se deben abordar para lograr una transformación real en el panorama de la innovación en México. Uno es la insuficiencia de recursos destinados a la investigación y el desarrollo, por lo que es esencial aumentar la inversión, particularmente la que proviene del sector privado, y fomentar la colaboración virtuosa entre la academia, el gobierno y la industria para llevar a cabo proyectos innovadores. Sin embargo, para integrar eficazmente a diversas disciplinas y sectores, algunas dificultades como las resistencias de la burocracia enquistada y la falta de mecanismos ágiles para la cooperación limitan el potencial innovador, por lo que es esencial desarrollar plataformas que faciliten la interacción fluida entre los diferentes actores, con

el objetivo de fomentar la generación de soluciones integrales y efectivas para atender los grandes problemas de la sociedad.

Así, la nueva Ley General busca disminuir la brecha que persiste entre el ámbito académico, el empresarial y el gubernamental mediante incentivos para la transferencia de tecnología y conocimiento, al establecer mecanismos de colaboración más efectivos; por ejemplo, la creación de centros de investigación conjuntos y la facilitación de programas de intercambio entre investigadores y colaboradores de las empresas. Además, propone que toda transferencia de tecnología y conocimiento de investigaciones y proyectos realizados con recursos públicos debe privilegiar el acceso abierto, disposición que asegura que sus resultados estén disponibles y sean beneficiosos para toda la comunidad, además de que reflejen una gestión transparente y responsable de los recursos públicos. El acceso

abierto no sólo promueve la diseminación y aplicación más amplia del conocimiento, sino que también apoya la creación de una base común que puede ser el cimiento para las futuras innovaciones.

Por su parte, la integración efectiva en la matriz productiva del país de innovaciones en áreas como energías renovables, eficiencia energética y tecnologías limpias requiere de la consolidación de políticas públicas que fomenten la adopción de tecnologías sostenibles y que ofrezcan incentivos para que las empresas incorporen prácticas respetuosas con el ambiente. A tal objetivo podrían contribuir políticas como: incentivos fiscales y reducción de impuestos para empresas de base tecnológica que inviertan en paneles solares, sistemas de gestión de residuos y producción de bienes y servicios con menor impacto ambiental, o bien subvenciones y subsidios para empresas que desarrollen tecnologías sostenibles o realicen

investigaciones en este campo. Por otro lado, habrá que tener regulaciones ambientales que establezcan normativas de eficiencia energética y sostenibilidad de los productos, para promover la adopción de tecnologías más limpias, limitar las emisiones contaminantes y fomentar la transición en sectores industriales clave. Pero para construir un marco normativo justo y equitativo, también hay que abordar los desafíos éticos y sociales que plantea el avance tecnológico, con vistas a garantizar que la innovación se oriente hacia el bienestar de la sociedad y no genere desigualdades o impactos negativos; aquí es fundamental contar con la participación ciudadana en la toma de decisiones sobre cuestiones éticas relacionadas con la ciencia y la tecnología.

En materia de innovación, la estrategia del gobierno federal se ha enfocado en tres aspectos fundamentales: incentivar el gasto privado en este ámbito, fortalecer la capacidad innovadora para las empresas de base tecnológica

y promover la vinculación entre la academia y la industria (Secretaría de Economía, 2023). Los programas gubernamentales de estímulos a la innovación pueden ser directos o indirectos; entre estos dos tipos o modalidades, la diferencia fundamental radica en la forma en que se otorga el estímulo a la entidad innovadora. En los primeros es por medio de transferencias monetarias hacia las empresas beneficiarias del programa; mientras que en los indirectos es mediante créditos fiscales a las participantes. De manera general, las transferencias directas tienden a ser más apropiadas para las empresas que plantean proyectos de investigación y desarrollo tecnológico de gran trascendencia.

Educación e innovación

La educación y la concienciación desempeñan un papel importante en la innovación, ya que contribuyen a crear un entorno propicio, tanto al

implementar campañas educativas públicas que hablen sobre la importancia de la sostenibilidad y de las tecnologías sostenibles, como al ofrecer una capacitación técnica de formación para profesionales en el desarrollo y mantenimiento de dichas tecnologías. Un componente clave para el éxito de la innovación es el desarrollo de talento humano altamente especializado y capacitado, mediante programas de educación en ciencia y tecnología. Por otra parte, cabe mencionar que la concienciación debe dirigirse a todas las empresas y definir estándares para los productos y servicios sostenibles. Además, ante la falta de una cultura de innovación arraigada en México, es crucial fomentar la creatividad, la iniciativa y el espíritu emprendedor desde edades tempranas, con un enfoque integral que involucre a la sociedad en su conjunto. Asimismo, la divulgación científica y tecnológica debe ser una prioridad para



construir puentes entre la academia, la industria y la sociedad, e impulsar una mentalidad innovadora.

Un sistema educativo sólido proporciona una base de conocimientos esencial para la innovación. Comprender a profundidad los principios científicos y tecnológicos es vital para el desarrollo de nuevas ideas y soluciones, por lo que nuestra educación debe fomentar habilidades creativas y de pensamiento crítico, con énfasis en la capacidad de abordar problemas desde diferentes perspectivas y generar ideas innovadoras, y al mismo tiempo motivar el trabajo en equipo y la colaboración entre disciplinas. Por otro lado, es imperativo invertir en la formación de docentes, actualizar sus metodologías y proveerles de herramientas para impulsar la creatividad en el aula. También hay que diseñar programas que preparen al estudiantado para enfrentar el desafío del mercado laboral, que está en constante evolución.

De hecho, la importancia de la conexión entre teoría y aplicación práctica ha crecido; por ejemplo, hay programas de ingeniería y ciencias ambientales con diversos campos de aplicación, de emprendimiento con desarrollo de negocios, de enfermería con pasantías clínicas, de arquitectura con proyectos de diseño urbano, así como cursos para el desarrollo de software con proyectos prácticos. Esto ilustra el interés por mejorar la preparación de las y los estudiantes para su ingreso al mercado de trabajo. Respecto a la eficacia de los programas, deberán evaluarse por la relevancia de su contenido, su infraestructura y el nivel de colaboraciones, así como la retroalimentación incluida en la preparación para enfrentar desafíos y la capacidad de respuesta para poder aplicar los conocimientos adquiridos.

Conclusiones

Señalé algunos de los principales retos que encara la transformación del panorama

de la innovación en México; no obstante, habría que agregar los relativos a la inclusión tecnológica, la salud pública y la economía digital. Hoy sabemos que apoyar el desarrollo de diversas disciplinas humanísticas y científicas ayuda a abordar problemas globales y a mejorar la competitividad nacional en investigación e innovación; que se debe promover la creación de leyes flexibles y actualizaciones que reflejen el rápido avance tecnológico, lo que implica implementar mecanismos ágiles de revisión y adaptación legislativa; que es necesario establecer alianzas estratégicas entre los sectores público y privado para impulsar la investigación y el desarrollo al facilitar la transferencia de tecnología y conocimientos; que mejorar la alfabetización tecnológica desde las etapas iniciales de la educación es esencial para preparar a la sociedad frente a los avances científicos; que también tenemos que fomentar la formación continua y la actualización de

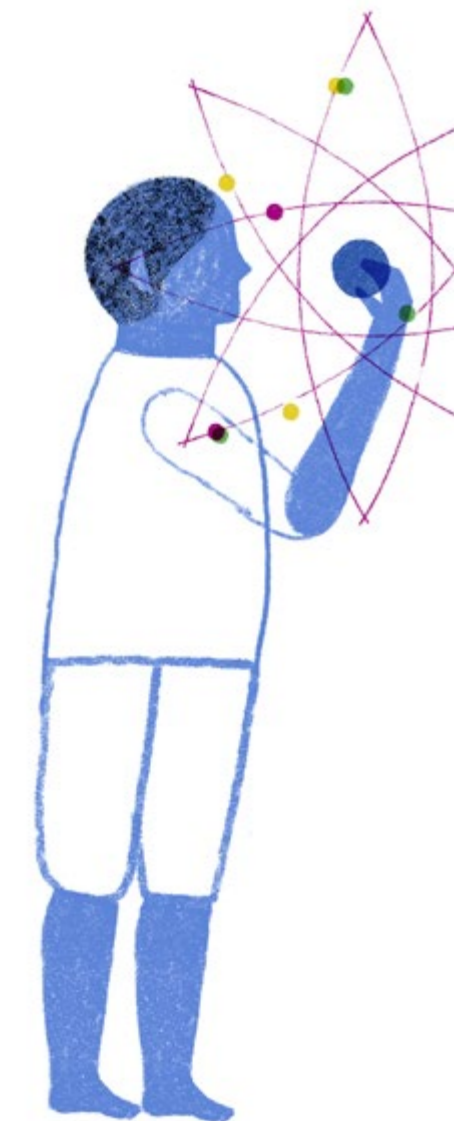
habilidades para adaptarse a las cambiantes demandas del mercado laboral, y que asimismo resulta crucial promover estándares éticos y normas de seguridad en el desarrollo tecnológico. Además, necesitamos fortalecer los lazos con otros países impulsando la participación en proyectos internacionales y facilitando la movilidad de investigadores, lo que nos permite acceder a conocimientos globales, compartir buenas prácticas y afianzar la posición de México en la escena mundial de la innovación. De manera particular, como docente e investigador, hago propuestas para mejorar la calidad de la educación e investigación; entre ellas: la actualización continua, la inversión en infraestructura, la colaboración entre universidad e industria y, evidentemente, el desarrollo de habilidades socioemocionales.

También los apoyos en programas de mentoría son vitales para conectar a estudiantes con profesionales de la industria, para orientar y proporcionarles una visión

del mundo laboral. No cabe duda de que sólo a partir de la colaboración y el compromiso social México podrá construir un futuro basado en la creatividad, la tecnología y la prosperidad compartida. La relación positiva entre la innovación y el crecimiento económico que se observa a escala internacional (Secretaría de Economía, 2023) sugiere que con las estrategias de innovación podremos incrementar la competitividad de nuestra economía y alcanzar las tasas para desarrollar y generar los empleos de calidad que México requiere. Para lograrlo, destaca la focalización de esfuerzos en aquellas áreas de mayor impacto y una rendición de cuentas que permita revisar y mejorar continuamente las políticas públicas en la materia. Por su parte, en este sentido, el Conahcyt difunde los avances de nuevos negocios, proyectos emprendedores, paquetes tecnológicos y apoyo a las patentes nacionales, como se da cuenta en diversos espacios como esta revista.

Referencias

Secretaría de Economía. (2023, 10 de marzo). *Innovación*. <https://www.gob.mx/se/acciones-y-programas/industria-y-comercio-innovacion>



Hibridación y complejización
en la cultura

wixárika

Johannes Neurath
Investigador del Instituto Nacional
de Antropología e Historia.



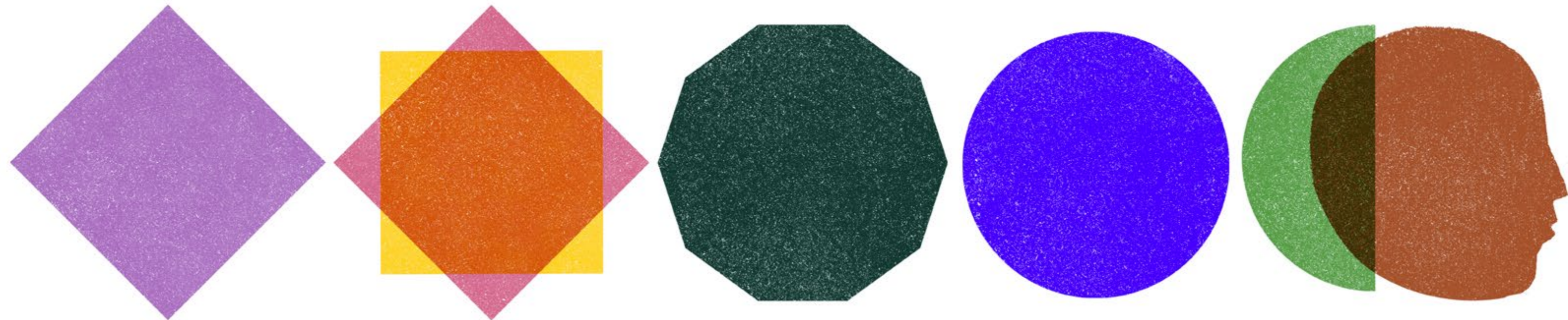
En el imaginario de muchas personas aún persiste la idea de que un pueblo indígena es un colectivo homogéneo, con un territorio bien definido, una organización social, una mitología y una cosmovisión. Estas nociones, sin duda, vienen de la sociología y la antropología clásicas, de las escuelas funcionalistas y culturalistas. Cuando se observan hechos divergentes de este modelo de la cultura, no es raro que surja la duda sobre la autenticidad del grupo en cuestión. ¿Será que este pueblo o esta comunidad ya está perdiendo sus tradiciones?

Desde luego que esta clase de concepciones estereotipadas no son inocentes: son la expresión de un colonialismo epistemológico que aún permea el pensamiento de mucha gente. Pero hoy necesitamos otro concepto de cultura, uno que tome en cuenta que la diversidad se produce permanentemente y que ayude a entender que la hibridación cultural no es un síntoma de decadencia, es testimonio de riqueza.

Para muchas personas, los *wixaritari* —también conocidos como huicholes— son un pueblo que cumple con todo lo que plantea el paradigma de un grupo homogéneo que ha preservado intactas sus costumbres. Pero sólo a primera vista aplica el concepto convencional de cultura. Los *wixaritari* más bien se han

vuelto expertos en explotar esta imagen y son mundialmente famosos por sus ritos de peyote y por su arte multicolor inspirado en experiencias chamánicas. Pero en realidad se trata de un pueblo con una enorme diversidad interna. Cabe considerar que los territorios tradicionales de sus comunidades se ubican a lo largo de la Sierra Madre Occidental, en la zona limítrofe de los estados de Jalisco, Nayarit, Zacatecas y Durango. Pero a partir de los conflictos armados de principios del siglo XX, se crearon nuevas comunidades en los alrededores de Tepic y en la costa de Nayarit. Además, no es un grupo sencillo, sino uno que habita en un cosmos complejo y múltiple. En este sentido, es inadecuado hablar del arte huichol en términos de una inmutable tradición milenaria.

Pero no solamente debemos criticar a la exotización, o a la supuesta procedencia de una cultura lejana o muy distinta. Los *wixaritari* sí viven en un mundo ontológicamente diferente, uno donde la transformación es fácil y la separación entre humanos y animales no es tan grande. El problema suele ser el exceso de transformatividad, y lo importante es aprender a manejar estos procesos. Por ejemplo, se ha documentado que una persona que se enferma es alguien que, a diferencia de un chamán o curandero, no controla esta



transformación. Y es que entre los *wixaritari* hay animales que cazan a los humanos y les provocan heridas con sus proyectiles. En consecuencia, la gente se enferma, pero en la curación se extraen estas flechas patógenas; la ofrenda es para negociar una tregua en el conflicto entre los humanos y los animales-cazadores de personas. Cuando los animales atacan, convierten al humano en un miembro de su especie. Los síntomas de la enfermedad indican en qué animal se está transformando el paciente; por ejemplo, si adelgazan mucho tienen la «enfermedad del venado» y, por tanto, se están convirtiendo en venados.

Hibridación entre mundos

De manera general, la vida y el poder en la América indígena se consiguen relacionándose

con seres del mundo de los «otros», que pueden ser ancestros, enemigos de guerra, animales, espíritus o seres híbridos que combinan todas estas categorías. El mundo de los «otros» es fuente de la fuerza vital, pero también es donde se originan los problemas y las enfermedades. Cualquier contacto con seres de la alteridad es peligroso, pero también atractivo e interesante. A veces la gente, sinceramente, prefiere no saber de estas cosas, pero hasta cierto punto, ya que es inevitable tener contacto con estos mundos. Así surgen los especialistas en rituales o chamanes, a quienes se les deja la tarea de fungir como intermediarios y negociadores de estas relaciones.

De cierta forma, el mundo de los seres humanos y el de los dioses o espíritus siempre

están imbricados. Sobre todo con los chamanes, que suelen estar parcialmente en el mundo de los espíritus (Neurath, 2021). La existencia «entre mundos» implica que la hibridación y la multiplicación de la persona sean algo normal. Todo indica que los pueblos amerindios siempre se han interesado en la complejidad de esas relaciones. En este sentido, me he dedicado a apuntar a la contemporaneidad de las culturas amerindias, que lejos de «aferrarse a sus tradiciones», «replegarse en zonas de refugio» y «rechazar el progreso» presentan una tendencia a la hibridación y complejización que se manifiesta en sus rituales y su arte, pero también en sus estrategias políticas y económicas.

La antropología culturalista se basa en un gran equívoco.

Los pueblos amerindios nunca han tenido «culturas tradicionales». Al contrario, la práctica de la multiplicación e hibridación es un aspecto central de sus rituales y, como tal, un entrenamiento muy apropiado para actuar exitosamente en un mundo cambiante, caótico y conflictivo. Incluso, las prácticas rituales y artísticas wixárika pueden entenderse como un modernismo *avant la lettre* (Neurath, 2015). Si, como dice Bruno Latour (1993), nosotros «nunca hemos sido modernos», tal vez ellos nunca han sido premodernos. Más bien, a *nosotros* nos cuesta despedirnos de ciertas nociones, como la relación clara e inequívoca entre el sujeto y el objeto, el humano y el animal, las personas, las cosas y las imágenes, el yo y el otro, la naturaleza y la

cultura, por mencionar algunas de las grandes dicotomías que sustentan la episteme occidental. El «ser uno» e inconfundible, el «conócete a ti mismo», las identidades inequívocas, la formación de *un* carácter, son *nuestros* ideales. Insistimos en la linealidad del tiempo, en la homogeneidad del espacio, y en la ley del tercero excluido, así que la hibridación nos resulta un problema. Mientras tanto, los pueblos amerindios no se dejan guiar por el gusto de crear diferencia, sino que entrenan y saben multiplicarse: ser más que uno, campesino, artista, político, chamán, brujo, jornalero, migrante, muchas otras cosas y, a veces, todo al mismo tiempo.

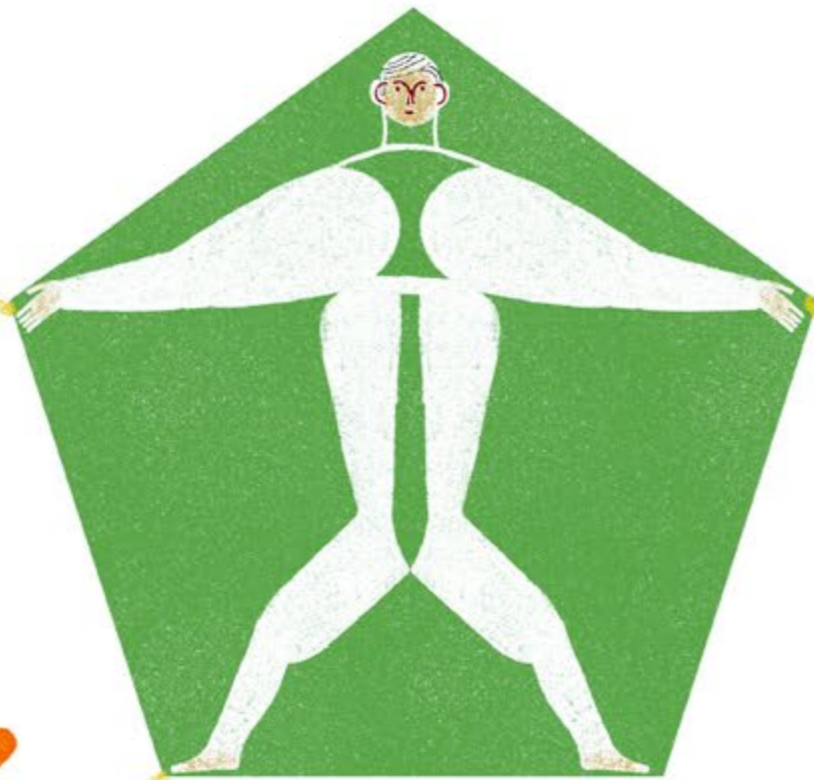
Referencias

- Latour, B.** (1993). *We have never been modern*. Harvard University Press.
- Neurath, J.** (2015). Shifting Ontologies in Huichol Ritual and Art. *Anthropology and Humanism*, 40(1), 58-71. www.doi.org/10.1111/anhu.12068
- _____. (2021). La caosvisión de los maestros del desorden que llamamos chamanes. En L. Romero (coord.), *Volver al chamanismo. La oscuridad, el silencio y la ausencia* (pp. 21-56). Universidad de las Américas Puebla.



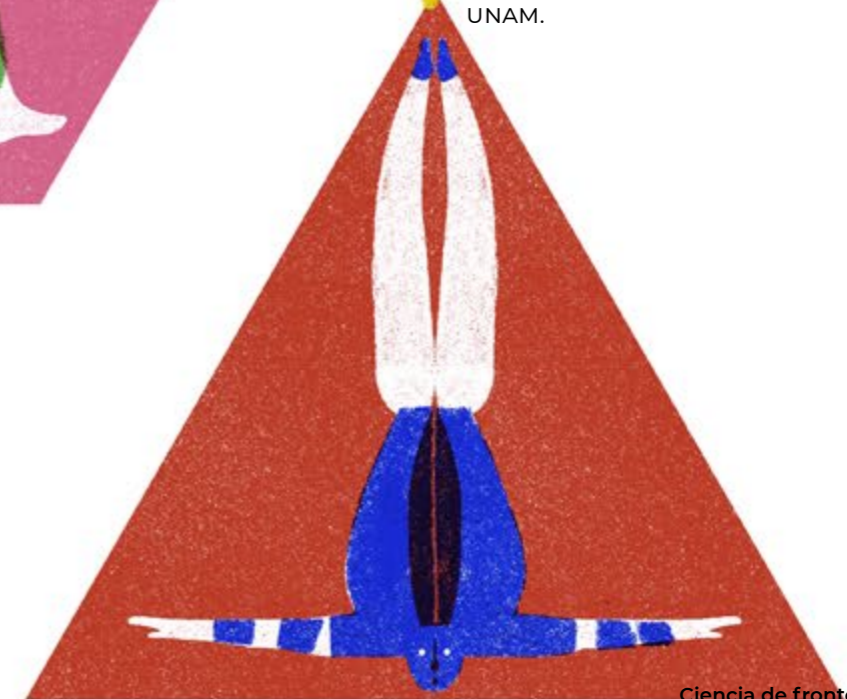


Biosensores versátiles: innovación pública para la salud



Tatiana Fiordeliso
Investigadora en el Laboratorio Nacional de Soluciones Biomiméticas para Diagnóstico y Terapia (LaNSBioDyT), Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

Regina Ortiz Zamora
Diego Zamarrón Hernández
Estudiantes asociados al LaNSBioDyT, Facultad de Ciencias, UNAM.



¿Qué tiene que pasar para que una idea pueda materializarse en un bien común?

Tras el sistemático desmantelamiento de los servicios públicos en México, el sector salud enfrenta grandes retos, como las altas tasas de diabetes en la población, la escasa detección de enfermedades de la tiroides, ovario poliquístico y otras condiciones endocrino-metabólicas, así como las complicaciones por los altos niveles de colesterol y triglicéridos, entre otros indicadores que no se atienden tempranamente, pues la cultura de la medicina preventiva es poca y las herramientas técnicas con las que contamos aún son limitadas.

Origen y sentido de los biosensores

Hace casi una década, quienes conformamos el Laboratorio Nacional de Soluciones Biomiméticas para Diagnóstico y Terapia (LaNSBioDYT), de la

Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México, comenzamos a trabajar en el desarrollo de dispositivos de diagnóstico clínico que pudieran utilizarse para detectar y dar seguimiento a enfermedades y condiciones médicas relevantes para la población mexicana. La plataforma tecnológica que patentamos es versátil y sirve lo mismo para detectar virus que hormonas, así como un rango considerable de otras biomoléculas de interés (Figura 1).

Estos dispositivos, que nombramos biosensores versátiles, son sencillos de operar y baratos de producir, además de altamente eficientes, eficaces y sensibles para detectar biomoléculas. Para su diseño, consideramos que deben aportar información confiable en el menor tiempo posible y adaptarse a las condiciones materiales del sector salud a nivel nacional; es decir, que puedan aprovecharse tanto en hospitales urbanos

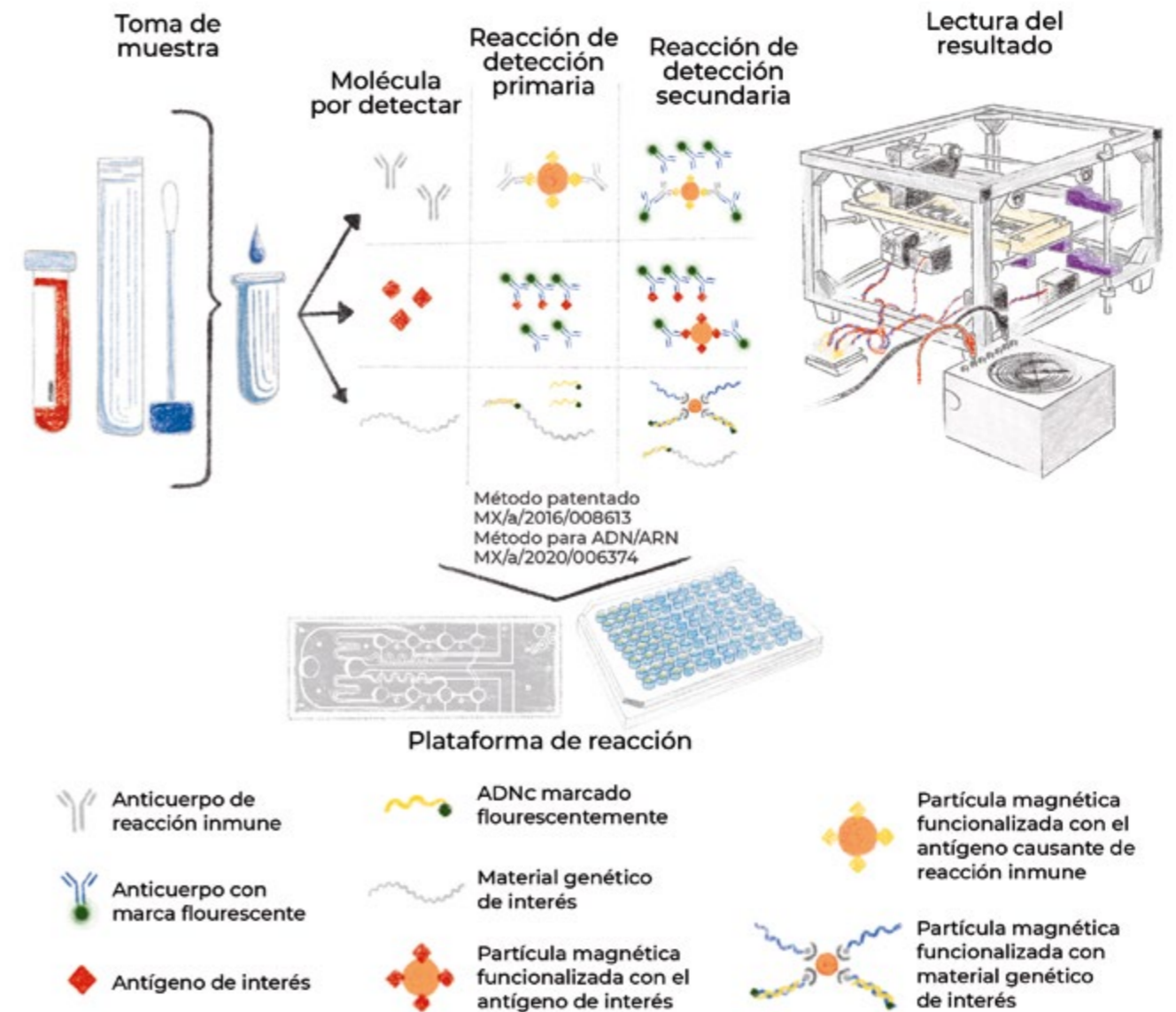


Figura 1.

Principio de funcionamiento del biosensor versátil:

1) se toma una muestra de sangre capilar o con un hisopado orofaríngeo en líquido viral. 2) El biosensor tiene tres variantes en las que se pueden detectar anticuerpos, proteínas o ácidos nucleicos; en los tres casos se emplean partículas magnéticas como superficie de reacción. En el de anticuerpos, las partículas están recubiertas con el antígeno causante de la reacción inmune; al reaccionar con la muestra, el biosensor captura los anticuerpos de reacción inmune y después reacciona con un anticuerpo marcado fluorescentemente que reconoce a los anticuerpos de reacción inmune. En el sensor de proteínas (antígeno), las partículas están recubiertas con el antígeno de interés;

la muestra reacciona con anticuerpos marcados fluorescentemente y después las partículas recogen el resto del anticuerpo secundario. En el de ácidos nucleicos, las partículas magnéticas están recubiertas de la secuencia de interés; la muestra reacciona con ADN complementario (ADNc) marcado fluorescentemente y después las partículas recogen el resto de ADNc. Todas las reacciones se pueden dar en placas de 96 pozos o en chips microfluídicos que permiten automatizar el proceso. 3) La detección se hace en un lector que mide la fluorescencia de las partículas después de las reacciones. Fuente: elaboración propia.



como en clínicas rurales, sin la necesidad de adquirir equipos y materiales costosos o requerir de personal altamente calificado.

México cuenta con un enorme potencial científico que nos permitió tener la capacidad de diseñar biosensores versátiles con alta especificidad, sensibilidad y precisión. En los últimos años, hemos perfeccionado la construcción de chips microfluídicos que integran elementos para detectar y cuantificar una o varias biomoléculas obtenidas en muestras de sangre y saliva. Sabemos que la salud como derecho humano necesita el impulso de una medicina preventiva para atender diversas patologías antes de que se vuelvan problemas que atenten contra la calidad de vida, o la vida misma, de la población.

Una herramienta vital ante la crisis

En marzo de 2020, nuestro compromiso de poner las capacidades científicas y

tecnológicas al servicio de la población mexicana nos llevó a reestructurar nuestros quehaceres para adaptar la tecnología que estaba en desarrollo con el fin de diseñar una prueba de tamizaje rápida y utilizable a nivel nacional que permitiera hacerle frente a una de las mayores crisis sanitarias en más de un siglo. Así, durante los primeros meses de la pandemia de covid-19, un equipo multidisciplinario de cerca de 30 profesionistas en el LaNSBioDyT se dedicó a desarrollar un biosensor capaz de detectar el ARN del virus SARS-CoV-2; para ello, aprovechamos lo aprendido en la fabricación de prototipos para medición de glucosa-insulina, así como para detección de zika y dengue.

En noviembre de 2020, en el laboratorio comenzamos a realizar pruebas de PCR con una doble finalidad: ofrecer a la población la información más confiable posible respecto a un probable contagio de SARS-CoV-2 y, a la vez, invitar a las personas a participar en el estudio de validación técnica del biosensor para la detección

de dicho virus a partir de sus muestras de exudado orofaríngeo. Meses después, ante el interés de la gente por saber si en algún momento se habían contagiado o si generaron inmunidad a partir de las vacunas, realizamos pruebas ELISA con muestras de sangre para desarrollar un biosensor de detección de anticuerpos contra el virus.

Hasta ahora, hemos hecho más de 45 000 pruebas, validamos el biosensor en laboratorio y en campo, y emprendimos el largo y sinuoso camino de llevar nuestro prototipo al uso público. Durante el trayecto, tenemos en mente a quienes se hicieron alguna prueba y mostraron interés respecto a lo que estábamos investigando y nos pedían información de los avances de los biosensores y proyectos similares. Las personas a las que hemos podido ofrecer estos servicios en el LaNSBioDyT nos han regalado su curiosidad, apoyo y confianza, al igual que algunas asociaciones públicas y privadas, las cuales demostraron la





avidez que existe por contar con este tipo de pruebas e impulsar el desarrollo de la innovación mexicana.

Barreras que se deben superar en la innovación pública

A pesar de la gran cantidad de logros y avances obtenidos en materia de investigación, diseño y desarrollo de los biosensores versátiles, debido a la estructura institucional de distintos actores críticos para el desarrollo tecnológico con vocación social, el proceso de innovación ha sido permanentemente cuesta arriba para nuestro grupo. ¿Qué tiene que pasar para que una idea pueda materializarse en un bien común? Hemos aprendido mucho y ahora sabemos que hay un largo camino por recorrer: no basta con aumentar los presupuestos etiquetados para la investigación científica, sean en infraestructura o recursos humanos, ya que sólo se generan ideas, patentes y prototipos que pocas veces

prosperan. Más bien, es necesario impulsar una cultura institucional que abrigue a los procesos más vulnerables de la innovación tecnológica.

En el caso de los biosensores versátiles, presenciamos constantemente las dificultades derivadas de la precariedad de las condiciones en las que una idea como la nuestra puede ser explorada. A pesar de demostrar el potencial y la diversidad de aplicaciones de este tipo de dispositivos en términos generales, y en concreto para un país con un sector salud con las condiciones mencionadas, no existe el suficiente respaldo para lograr lo que se conoce como un ambiente de innovación, que permita validar, producir, distribuir y dar seguimiento a los dispositivos, lo que finalmente determina si una idea efectivamente puede materializarse en un bien común, tal como es el fortalecimiento de la medicina preventiva para la defensa de la salud como un derecho humano.

Quienes tratamos de hacer innovación tecnológica en el sector público nos enfrentamos a canales regulatorios diseñados para las industrias establecidas: la farmacéutica y de biotecnología. Esto supone una gran desventaja, pues no contamos con el andamiaje característico de las divisiones industriales especializadas que acompañan a los procesos y los vuelven viables en el mediano plazo, ni tenemos la importante inversión monetaria que supone esta fase de desarrollo (es decir, más allá del nivel 4, la validación tecnológica a nivel laboratorio, en la escala de madurez tecnológica).

Entre los muchos obstáculos están varios requisitos como el registro sanitario, necesario para la producción, distribución y el empleo de los dispositivos por parte de la población, pues regulatoriamente se requiere una validación que sólo es posible si se demuestra tener una capacidad de producción a mediana y gran escala, la cual depende de una inversión considerable que no

corresponde al presupuesto de investigación pública. Debido a esto, sólo las industrias farmacéuticas y de biotecnología son capaces de cumplir con los requerimientos, y el potencial de la innovación pública queda ahogado en el llamado «valle de la muerte». Por supuesto, sostenemos que es crucial que se lleve a cabo una regulación normativa para garantizar la calidad en todas las etapas del proceso, pero debe diseñarse de tal forma que no constituya una barrera para el sector público, por estar enfocada a las capacidades industriales. Al mismo tiempo, la investigación en el sector público debe reformarse para contemplar las demandas reales de los procesos de innovación tecnológica.

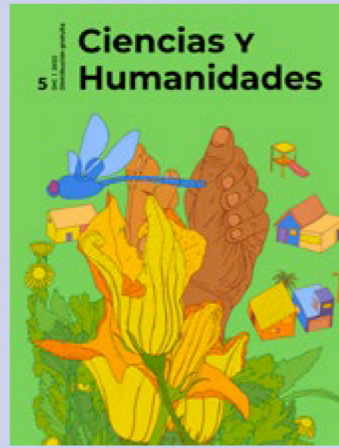
El futuro de la innovación en México depende de la colaboración entre los distintos agentes que participan en estos procesos, pues por más que se tengan grandes ideas para desarrollar dispositivos biomédicos de última generación, con potencial

para atender problemáticas sociales concretas y urgentes, si no se respaldan con políticas públicas que gestionen su uso y aprovechamiento, y que a su vez nutran nuevas ideas y procesos de innovación, las propuestas se quedarán ahí y los problemas de ayer se sumarán a los de hoy.

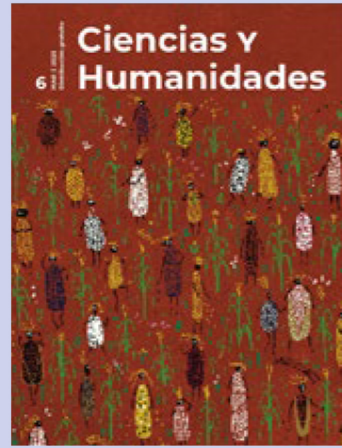
Finalmente, le queremos agradecer a todas y todos quienes conforman el LaNSBioDyT, por su valiente trabajo y dedicación a este proyecto antes, durante y después de la pandemia, así como a todas las personas que confiaron en nuestra labor, se realizaron pruebas y aportaron tanto conocimientos como recursos. También le agradecemos a quienes siguen al pendiente y nos impulsan para avanzar en las siguientes iniciativas de desarrollo, como los biosensores para el diagnóstico de enfermedades tiroideas y del virus del papiloma humano.



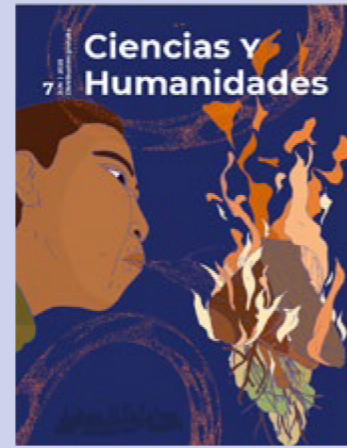
Números anteriores



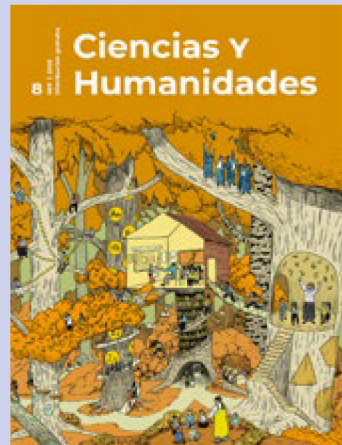
Núm. 5
*Pronaces Salud II:
Rumbo a la investigación
con incidencia*
Diciembre 2022



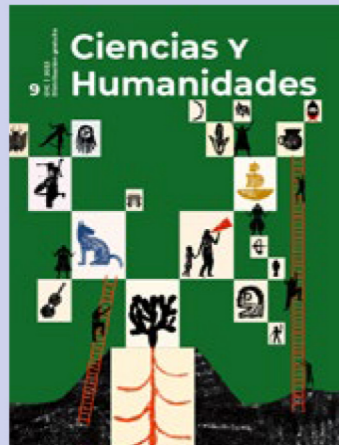
Núm. 6
Soberanía Alimentaria
Marzo 2023



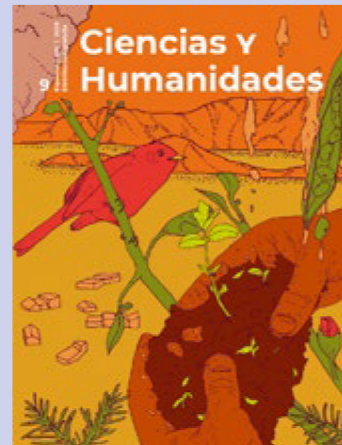
Núm. 7
*Transición energética
y cambio climático*
Junio 2023



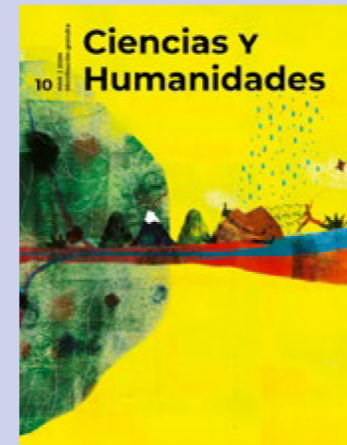
Núm. 8
*Hacia una reforma
educativa integral*
Septiembre 2023



Núm. 9
Memoria histórica
Diciembre 2023



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



Núm. 10
Sistemas socioecológicos
Marzo 2024

Número actual



Núm. 11
Ciencia de frontera I
Junio 2024

Próximo número

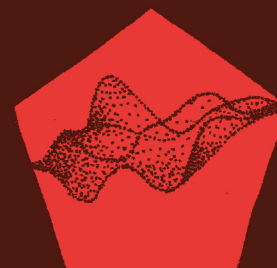
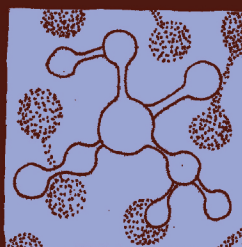
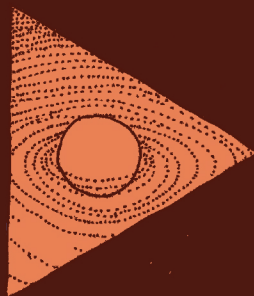


Núm. 12
Seguridad humana
Septiembre 2024



«Tenemos la obligación de emprender narrativas incluyentes sobre todas esas otras formas de conocimiento y de saberes que han sido invisibilizadas y marginalizadas en favor de un discurso único y homogeneizador que, a la fecha, normalmente habla en inglés, se alía con el mercado y el capital, y mide su valía en cuartiles e índices H. Por ello, apostar por la ciencia de frontera significa abrir los ojos no sólo a nuevos problemas, sino también a métodos innovadores para afrontarlos».

Bernardo Berruecos Frank



GOBIERNO DE
MÉXICO



CONAHCYT
CONSEJO NACIONAL DE HUMANIDADES
CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS