13 Especial | 2024
Distribución gratuita

Ciencias y Humanidades

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

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

Prácticas profesionales
Luisa Fernanda Pérez Ramírez
Miguel Ángel Padilla Jaramillo

Revisión científica
Fernando Cruz Quintana
Liliana Falcón Zertuche

Índice

4 **Presentación**
María Elena Álvarez-Buylla Roces

10 **Modelo mexicano de innovación**
Iris Santos González, Judith Rosellón Druker, Michele Arelyd González Galindo

20 **InnovaBienestar: primera empresa del Estado de base científica y tecnológica**
Dirección Adjunta de Desarrollo Tecnológico, Vinculación e Innovación

32 **Desarrollo de tecnologías de radiocomunicación nacional**
Juan Francisco Robles Camacho

48 **Construcción de soberanía en materia de litio**
Gilles Levresse, Gabriel Plascencia Barrera, Aarón Almaraz Gómez, Juan Carlos Castillo Reynoso, Rubén Suárez Hernández

58 **Faros agroecológicos en el camino hacia la soberanía mexicana**
Dirección de Estrategia Tecnológica

68 **Propiedad intelectual en el ecosistema de innovación soberana para el bienestar**
Michele Arelyd González Galindo

78 **Estrategia digital para México: «Internet para todos»**
Carlos Emiliano Calderón Mercado

90 **Plan Nacional para la Innovación: su perspectiva social**
Gabriela Sánchez Gutiérrez

100 **Ehécatl 4T v2.0 y la Escuela Mexicana de Ventilación**
José Cruz Pineda Castillo

128 **Romper barreras: trayectoria científica de Lena Ruiz Azuara, una química visionaria**

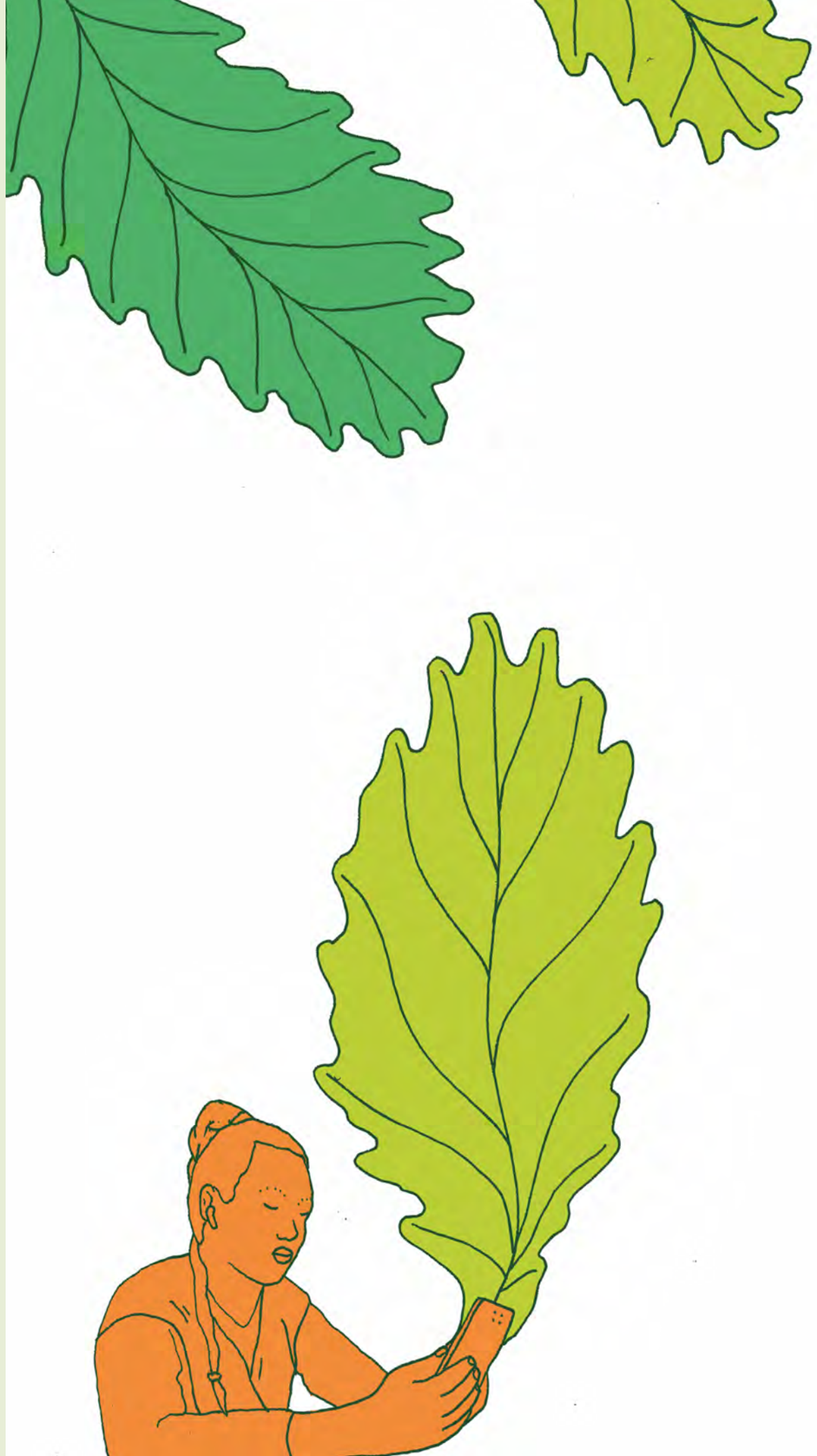
Ilustración
Santiago Moyao
Portada, contraportada, pp. 5, 7, 9, 182 y 183
Emma Casadevall Sayeras
Interiores
Ana Isabel Luján Ruiz
pp. 37, 44, 72, 73, 77, 85, 87, 89, 98, 103, 108, 119, 120, 126, 143, 144 y 187
José Salvador Jaramillo Aguilar
pp. 136-137

Ciencias y Humanidades,
año 4, número 13 especial, 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, 2024.
Impreso en Litográfica
Ingramex SA de CV.

Editor responsable
Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías
Reserva de Derechos al Uso Exclusivo
04-2021-062922303700-102,
ISSN 2992-6882, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor.
Licitud de Título y Contenido número 17598, otorgado por la Comisión Calificadora de Publicaciones y Revistas Ilustradas de la Secretaría de Gobernación.

Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada CC BY-NC-ND
Responsable de la última actualización de este número:
Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías.
Fecha de última modificación:
29 de agosto de 2024

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



DATA

136 Figuras de propiedad intelectual de las tecnologías apoyadas por el Conahcyt

CIENCIAS Y ARTE

138 Restauración del patrimonio cultural con materiales no tóxicos derivados de plantas
Lilian García-Alonso Alba

DERECHO A LA CIENCIA

150 Plataformas para la soberanía tecnológica
Coordinación de Repositorios, Investigación y Prospectiva

SOBERANÍAS

160 Autobús eléctrico mexicano, hito de la movilidad
Roberto Gottfried, Felipe Gallego

DIÁLOGO DE SABERES

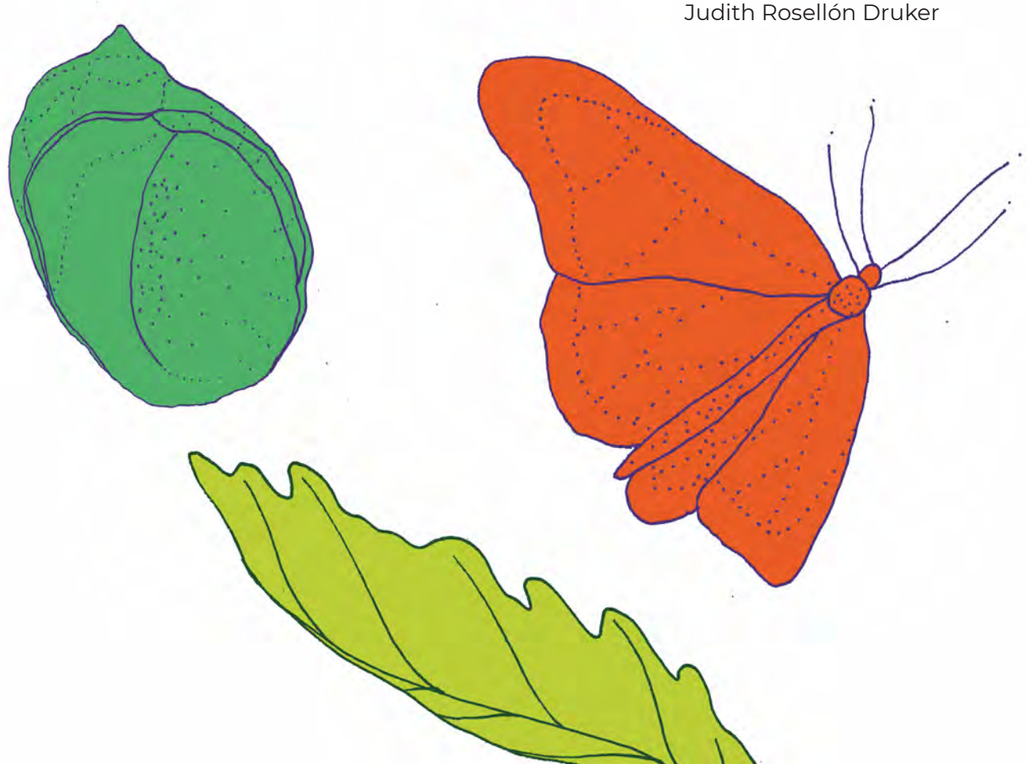
170 Tintes naturales de los pueblos ñöhñu. Memorias de los saberes, resistencia al olvido
Mario Arturo Hernández Peña, José Viccon Esquivel

HISTORIA MÍNIMA

182 Sargazo
Santiago Moyao

PUNTO CRÍTICO

184 Arribazones de sargazo
Judith Rosellón Druker



Presentación

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

Durante el periodo neoliberal, el Conacyt de entonces gastó una gran cantidad de recursos en «innovación»; según la Organización Mundial de la Protección Intelectual, el país subió siete escalones en gasto para este rubro durante el gobierno de Enrique Peña Nieto. Sorprendentemente, en el mismo periodo, ¡México descendió 16 lugares en eficiencia de innovación! Es decir, con mucho más gasto, se logró muchísimo menos. Además, la gran mayoría de este gasto, que sumó más de 45 000 millones de pesos en los últimos tres sexenios previos al del presidente Andrés Manuel López Obrador, se destinó a entidades privadas o públicas que fungieron como intermediarias de beneficios privados y, en muchos casos, a grandes empresas como Kimberly Clark, Volkswagen, Mabe, entre otras, incluso a trasnacionales como Bayer, Monsanto, Femsa Logística y Honeywell. Todos estos resultados tan negativos son producto de la falta de un plan nacional estratégico de desarrollo tecnológico y de innovación.

Desde los primeros días de mi gestión al frente del Conacyt, ahora Conahcyt, establecí un plan estratégico articulado en 10 agendas temáticas y prioridades claras para lograr resultados a favor de la gente, del interés de todas y todos. Este plan se vio muy fortalecido con las prioridades establecidas por el propio presidente López Obrador: ventiladores mecánicos invasivos y otros equipos médicos, bioinsumos para poder prescindir de tóxicos como el glifosato y otros químicos en la agricultura, control del impacto del maíz transgénico y el glifosato en la salud animal, la vacuna Patria y su plataforma para abrir la puerta a la recuperación de nuestra soberanía en vacunas y otros biofármacos, métodos propios para poder extraer el litio de las matrices arcillosas en las que se encuentra en nuestro país, diagnóstico de los tiraderos a cielo abierto en México y remediación del mayor de ellos, en las Matas, Veracruz, en conjunto con la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Por lo tanto, la estrategia del Conahcyt durante el gobierno del presidente López Obrador consistió en un modelo de desarrollo tecnológico propio e innovación soberana para el bienestar.

Este nuevo modelo mexicano y una serie de acciones contundentes nos han llevado a recuperar diez de los lugares perdidos en eficiencia de innovación. Hemos enfocado los esfuerzos articulados entre diversas instituciones de educación superior, de manera muy importante con los Centros Públicos del Conahcyt, estableciendo retos y metas claras con tiempos de ejecución precisos para lograr resultados en el corto plazo, pero también con proyectos de más largo aliento que en conjunto coloquen a México a la vanguardia del desarrollo tecnológico y lleven a lograr una política de innovación que atienda nuestros grandes retos y beneficie a todos y todas, pero primero a los sectores más pobres que se atienden en las instancias públicas. Ahora, el Conahcyt es una institución transversal del gobierno de México, que de manera eficiente y eficaz articula y suma capacidades en beneficio de nuestro pueblo.

En el presente número de la revista *Ciencias y Humanidades* se da cuenta de los principios rectores que han guiado la política pública implementada en materia de desarrollo tecnológico e innovación, mediante la documentación de algunos casos específicos en los que las innovaciones soberanas han contribuido al bienestar de las y los mexicanos. Al inicio de este número, proporcionamos una descripción más detallada del modelo mexicano de innovación soberana para el bienestar y las bases sobre las cuales se ha articulado a los diferentes sectores de la sociedad para lograr de manera más eficiente y eficaz que el conocimiento científico incida en soluciones concretas para los problemas complejos. Además, se detalla cómo el enfoque social de la innovación soberana plas-

mado en el Plan Nacional para la Innovación, documento rector de la política pública en la materia, permite abordar de forma integral los aspectos tecnológicos, ambientales, económicos, culturales y éticos.

Otros pilares de la política pública que se presentan en este número son la protección del conocimiento que se genera en el país y el escalamiento de las tecnologías mexicanas para ofrecerle soluciones concretas a la ciudadanía. En este sentido, quienes leen podrán encontrar un texto que describe la actual estrategia de propiedad intelectual, la cual reconoce la relevancia de la protección del conocimiento para la soberanía nacional y define el papel central del Estado para monitorear que pueda aprovecharse en beneficio de la población y genere un retorno para la sociedad. En contraste con lo que sucedió en los sexenios neoliberales, en los que no se obtuvo una sola patente de Estado, en este sexenio ya van más de 80. Éstas permitirán tener importantes retornos de valor a favor del erario para financiar nuevos proyectos de desarrollo tecnológico e innovación soberana para el bienestar.

También se documenta, en otro texto, la creación de InnovaBienestar de México, SAPI de CV, la primera empresa del Estado de base científica y tecnológica, que busca escalar, consolidar y comercializar desarrollos 100% mexicanos gracias al apoyo del gobierno de México para el bienestar de la población. El modelo de esta nueva paraestatal permitirá aprovechar lo mejor de las capacidades del Estado mexicano y también de las nano, micro, pequeñas y medianas empresas nacionales que de manera transparente y patriótica quieran sumar sus activos y capacidades a favor del interés general, con posibilidades de obtener ganancias justas, pero con preponderancia en la participación y el retorno para el Estado mexicano y siempre bajo su rectoría.

Como ejemplos concretos de la aplicación del modelo mexicano de desarrollo tecnológico e innovación soberana para el bienestar, se presentan acciones en áreas fundamentales, tales como seguridad nacional y telecomunica-

ciones, energía y cambio climático, soberanía alimentaria y salud. En seguridad nacional, se aborda el desarrollo de tecnologías mexicanas de radiocomunicación, entre las que se tienen equipos de radio portátiles y semiportátiles, así como sitios de repetición troncalizada. En conjunto, estas tecnologías están orientadas a establecer una Red Integrada Nacional de Radiocomunicación, que permitirá reducir costos, eliminar la dependencia tecnológica y satisfacer las necesidades de la seguridad pública y de protección civil.

Asimismo, en materia de telecomunicaciones, se comparte un proyecto que busca reducir la brecha de desigualdad garantizando un acceso equitativo para toda la ciudadanía: la estrategia digital para México: «Internet para todos». Esta iniciativa, coordinada por el propio presidente de la República, se plantea como un proyecto nacional de conectividad en el que se articulan los diversos sectores de la sociedad para brindar acceso a internet y telefonía en todo el país, especialmente enfocado en las comunidades históricamente marginadas.

Sobre energía, se describe la estrategia implementada para la construcción de la soberanía en materia del litio. En ella, se aborda cada parte de su cadena de valor, a través del desarrollo de los mapas de ruta para la exploración, metalurgia extractiva, producción de baterías y usos finales de este elemento químico, que se traducen en que México tendrá una planta a nivel piloto para la obtención de sales de litio de alto valor, con tecnologías propias que ya han logrado tener altos grados de pureza de estas sales para su uso en baterías, así como la integración y pruebas del primer autobús eléctrico 100% mexicano para transporte público en varias ciudades.

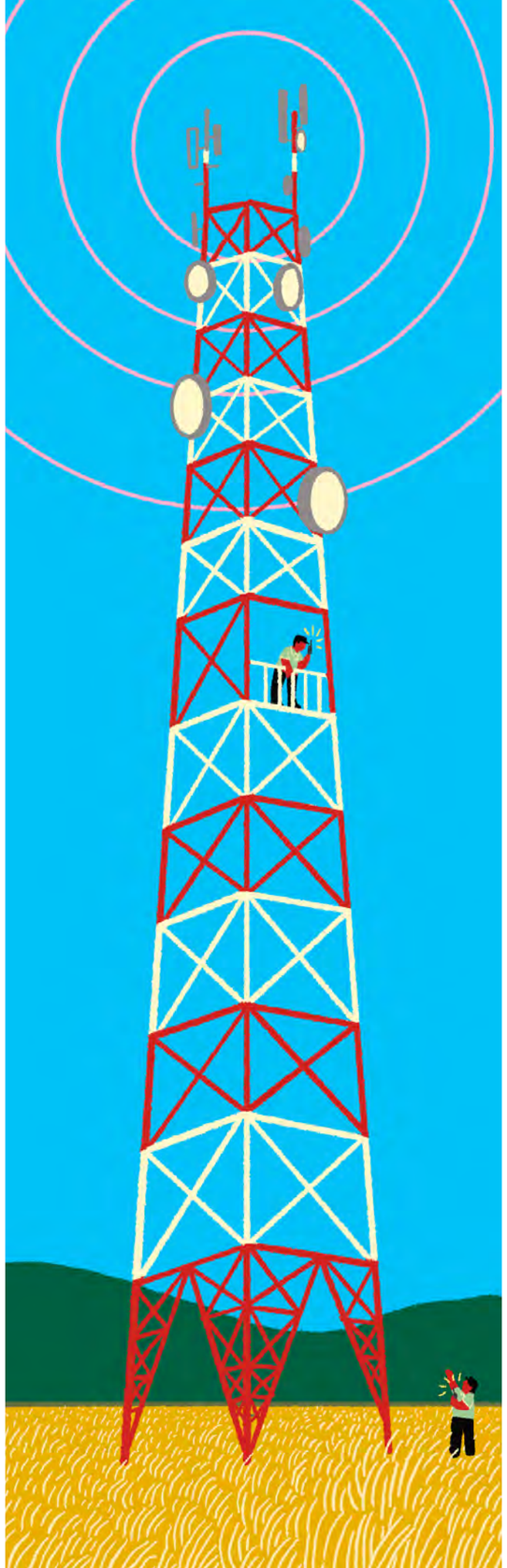
En favor de la soberanía alimentaria, se documenta el trabajo de las personas productoras, académicas, organizaciones de base comunitaria y social, así como dependencias del gobierno para la producción de alimentos libres de agroinsumos tóxicos. Se enfatiza en la transición de modelos de producción convencional a sistemas de

producción agroecológica, lo cual se ha apuntalado con la implementación de faros agroecológicos a lo largo y ancho del país, en los cuales se promueve el diálogo de saberes, el rescate y la redignificación de prácticas agrícolas ancestrales, además del desarrollo de tecnologías 100 % mexicanas para prescindir del uso del glifosato en México.

Con respecto a la salud, se da cuenta de la hazaña de diseñar, desarrollar y producir de manera industrial ventiladores mecánicos invasivos, los cuales son dispositivos médicos de alta especialidad y para el soporte de vida. Se documenta cómo, a través del modelo mexicano de innovación, se logró contar con dos versiones de ventiladores mecánicos: Ehécatl 4T y Gätsi. El primero cuenta con una tecnología disruptiva de control adaptativo a las condiciones del pulmón del paciente, lo que resulta en márgenes de seguridad mayores que los de las tecnologías existentes, y ambos se lograron en tiempo récord y en medio de la emergencia sanitaria ocasionada por la covid-19. Así, se da cuenta de cómo el desarrollo de estos ventiladores pone de manifiesto lo importante que es la soberanía tecnológica para el bienestar del pueblo de México.

Para cerrar el apartado de artículos, se presenta una entrevista con Lena Ruiz Azuara, una química visionaria e innovadora, con una destacada trayectoria. Adicionalmente, en la sección Data se explican las figuras de propiedad intelectual de las tecnologías apoyadas por el Conahcyt; mientras que en Ciencias y Arte se profundiza sobre el uso de plantas para la restauración del patrimonio cultural, lo que permite dejar las prácticas y los procesos tóxicos. Lo anterior comparte un enfoque con la sección Diálogo de Saberes, donde se habla de los tintes naturales de los pueblos ñöhñu y la memoria colectiva. Así, también resulta claro lo importante que es reconocer, impulsar y aprovechar las innovaciones ancestrales de nuestros pueblos.

En Derecho a la Ciencia, se reflexiona sobre la soberanía tecnológica y las diversas plataformas que le pueden dar soporte y sustento. Asimismo, en Soberanías, se da cuenta de un verdadero hito en la movilidad: el autobús



eléctrico mexicano y por qué representa no sólo una innovación, sino un enfoque diferente e integral en la materia. En Historia Mínima, el sargazo es un tenaz protagonista, y en Punto Crítico se analiza la estrategia de atención al sargazo en Quintana Roo. Todos estos resultados representan la profunda transformación lograda por el modelo mexicano de innovación soberana para el bienestar que se explora ampliamente en el presente ejemplar y el cual constituye un parteaguas para la política pública de desarrollo tecnológico e innovación soberana a partir de este gobierno de la Cuarta Transformación, bajo el liderazgo del presidente Andrés Manuel López Obrador.

Por supuesto, el número es ilustrado por cuatro artistas que, con talento y dedicación, contribuyen con poderosas narrativas visuales a abordar estos temas complejos tan interesantes. Santiago Moyao elaboró los forros e Historia Mínima; Emma Casadevall trabajó los interiores, junto con Ana Luján en gráficos, y Salvador Jaramillo en la sección Data. Sin duda, en conjunto, dotan de fuerza y belleza a éste, el último número de la revista *Ciencias y Humanidades* en el primer gobierno de la Cuarta Transformación. Sólo me resta decir que mi deseo es que las humanidades, ciencias, tecnologías e innovaciones soberanas sigan en diálogo con nuestros profundos y visionarios saberes ancestrales tradicionales, abrevando del gran talento científico y tecnológico de México, y también resonando con propuestas creativas de artistas que siempre nos ayudan a mirar críticamente la realidad y a lograr que toda creación o conocimiento llegue más lejos, impacte en las conciencias, mueva los corazones y mejore la vida de todas las personas con la reivindicación del derecho humano a la ciencia y sus aplicaciones que mandata nuestra Constitución. ¡Enhorabuena!

Modelo mexicano de innovación

Iris Santos González
Judith Rosellón Druker
Michele Arelyd González Galindo
Investigadoras por México, Conahcyt.

En México, durante décadas, la política en ciencia, tecnología e innovación puso el foco en esquemas de productividad y competitividad que desvincularon a la ciencia básica como generadora primaria de la cadena de conocimiento aplicado y a la sociedad como receptora final de sus beneficios. Así, el desarrollo tecnológico y la innovación, que lideraba el anterior Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt), se basaba en el modelo tradicional conocido como la triple hélice (Etzkowitz, 1989). En términos generales, el modelo asume que la innovación surge de las interacciones entre tres sectores: la academia, las empresas y los gobiernos. Dichos actores tienen el potencial para generar el conocimiento innovador, los recursos económicos y las posibilidades de mercado, además del control de las normas e incentivos de las políticas públicas de innovación (González de la Fe, 2009).

En este contexto, para romper con esos esquemas ha sido necesario impulsar iniciativas que respondan a una política en humanidades, ciencias, tecnologías e innovación (HCTI) con incidencia social, que deriven en la generación de conocimiento útil y desarrollos tecnológicos de vanguardia, sostenibles ambientalmente y que contribuyan a las nuevas políticas de Estado para velar por el interés público y el bien común.

El modelo mexicano de innovación soberana para el bienestar

A partir de esta nueva perspectiva, el Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (Conahcyt) trabaja para fortalecer y coordinar los esfuerzos de innovación que se realizan en el país mediante el Plan Nacional para la Innovación (PNI), con el objetivo de desarrollar e implementar una política de cambio tecnológico de vanguardia e innovación abierta, también denominado modelo mexicano de innovación soberana para el bienestar (MMISPB), que transforma la vinculación tradicional de la triple hélice, entre la empresa, la academia y el gobierno, en un esquema que incorpora a la sociedad y al ambiente como actores y receptores activos.

Así, el MMISPB está formado por cinco sectores que agrupan a los actores del ecosistema de HCTI en el país: la academia, integrada por las instituciones de educación superior y los centros de investigación; el gobierno, con todas las dependencias en sus tres niveles; la iniciativa privada, que incluye todas las capacidades que coadyuvan en los esfuerzos de investigación y desarrollo experimental; la sociedad, representada por diferentes formas de organización y considerada receptora de los beneficios que resultan de la innovación soberana; y el ambiente, cuyo cuidado y protección impone los límites para los proyectos de innovación y desarrollo tecnológico.

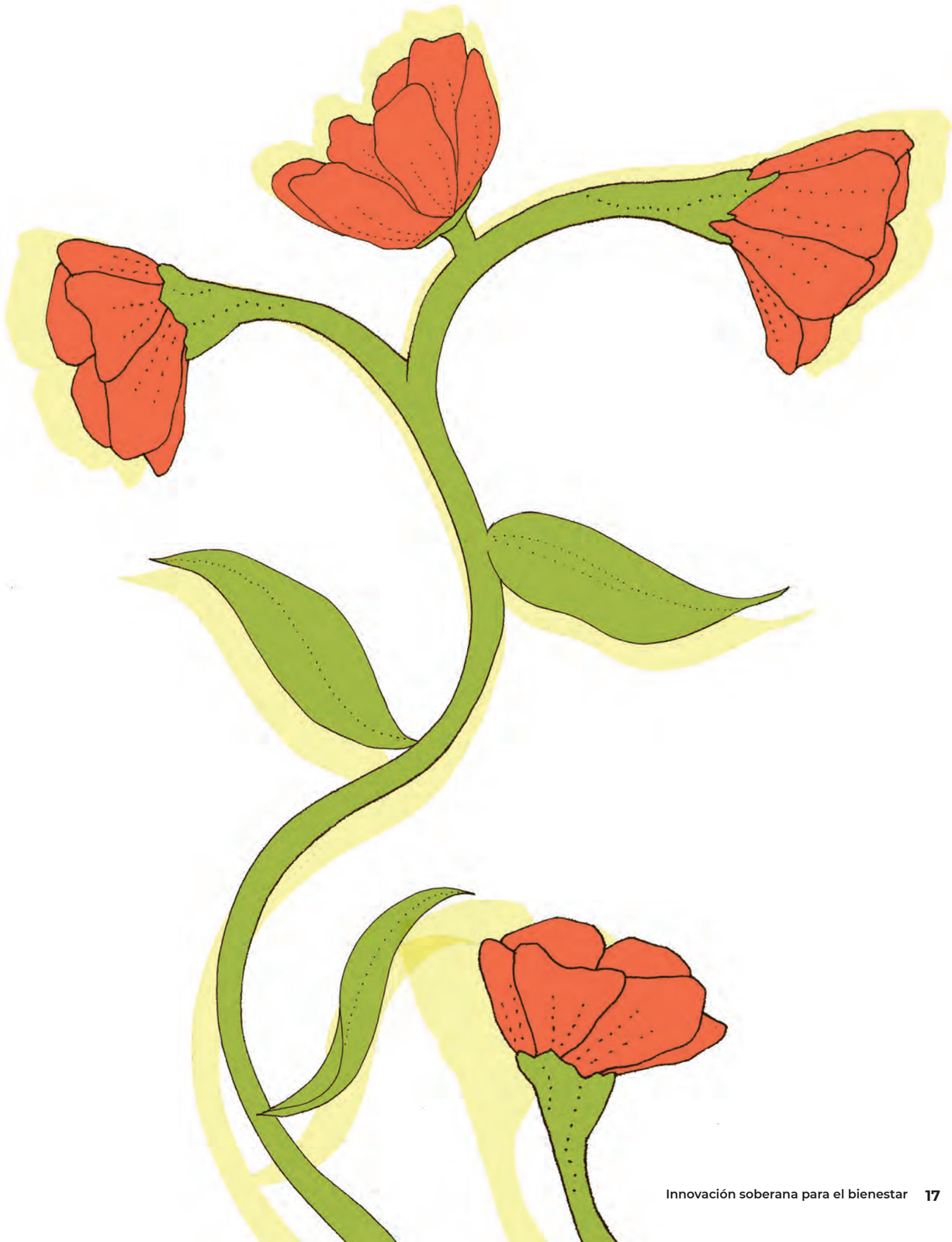
Por medio del conocimiento científico generado en México y la articulación de las capacidades nacionales, el MMISPB tiene como objetivo presentar soluciones para los problemas prioritarios del país y asegurar la independencia tecnológica en materia de salud, de energía y cambio climático, así como de seguridad humana. El MMISPB incentiva la participación, articulación y formación de los actores del ecosistema nacional de HCTI que, mediante el

uso efectivo de los recursos, contribuyen a una innovación abierta y transformadora de la realidad, con un desarrollo económico responsable y asegurando en todo momento el bienestar social y el cuidado del ambiente.

Éxito del modelo

Un ejemplo de la aplicación de este MMISPB se dio durante la pandemia de covid-19. Para hacer frente a esta emergencia sanitaria, priorizando la salud de la población, se buscó generar sinergias entre distintos sectores para el desarrollo de vacunas, tratamientos y dispositivos médicos que ayudaran a disminuir los impactos negativos en las personas. A partir de ello, se desarrollaron dos dispositivos de alta calidad y seguridad biomédica para la ventilación mecánica invasiva de pacientes con cuadros respiratorios graves: Gätsi y Ehécatl 4T. En casi todas las entidades federativas se han utilizado estos ventiladores para tratar a más de 33 000 pacientes y se acumularon (hasta abril de 2023) más de 1.5 millones de horas de uso.

Lo anterior es evidencia de que la transversalidad del conocimiento y su importancia para el diseño, implementación y evaluación de políticas públicas coloca a la investigación científica, el desarrollo tecnológico y la innovación, así como a las instituciones que conforman el sistema nacional de HCTI, en el centro de la gestión pública para atender los grandes problemas nacionales. Asimismo, la comunidad de HCTI está llamada a reivindicar su papel en la esfera pública y a contribuir en la construcción de una sociedad más justa y equitativa a partir de la



innovación, para darle vida al principio rector que prevé la «economía para el bienestar».

En conclusión, el MMISPB busca fortalecer la colaboración multisectorial y aplicar el conocimiento científico y el desarrollo tecnológico en soluciones prácticas para enfrentar los desafíos del país y mejorar el bienestar de toda la sociedad. Esta nueva forma de trabajar ha generado y seguirá mostrando resultados positivos en el desarrollo de innovaciones soberanas respecto a las grandes prioridades del país, como salud, energía, cambio climático y seguridad humana, siempre en busca del beneficio del pueblo de México.

Referencias

Etzkowitz, H. (1989). Entrepreneurial Science in the Academy: A Case of the Transformation of Norms. *Social Problems*, *36*(1), 14-29.

González de la Fe, T. (2009). El modelo de triple hélice de relaciones universidad, industria y gobierno: un análisis crítico. *Arbor: Ciencia, Pensamiento y Cultura, 185*(738), 739-755.

InnovaBienestar:

primera empresa del Estado de base científica y tecnológica

Dirección Adjunta de Desarrollo Tecnológico, Vinculación e Innovación
Conahcyt.

El Estado y las empresas privadas

La importancia y el papel del Estado en relación con las empresas privadas se ha discutido mucho en los últimos años. Desde la perspectiva neoliberal, se considera que el gobierno debe ser un actor pasivo o un simple regulador, mientras que la actividad empresarial privada está encargada de impulsar la innovación y el crecimiento económico. No obstante, más allá de esta visión, el Estado también enfrenta desafíos importantes en la sociedad y la economía actual.

En el siglo XX, el economista John M. Keynes planteó que el gobierno tiene que tomar medidas para reactivar la economía: afirmaba que el sector privado no puede generar la suficiente demanda, por lo que el gobierno debe gastar más en proyectos públicos y reducir impuestos para incentivar la inversión y el consumo; además, sostenía que el Estado necesita intervenir en la economía para corregir los problemas y estimular el crecimiento económico (Keynes, 1936). Poco tiempo después, Joseph A. Schumpeter (1942) destacó la importancia del emprendimiento y de la innovación para el crecimiento económico y el progreso social. Estos conceptos son fundamentales para entender cómo se generan cambios disruptivos en los mercados y cómo se impulsa el desarrollo económico a largo plazo.

Es bastante común pensar que es mejor dejar la innovación en manos de empresas del sector privado, y que el gobierno simplemente se mantenga al margen. Sin embargo, se ha demostrado que el Estado no sólo interviene en el mercado para corregir errores o abusos, sino que en realidad constituye la organización más audaz del mercado, ya que es capaz de asumir inversiones de alto riesgo y es un facilitador clave de las innovaciones tecnológicas que impulsan el crecimiento económico. No reconocer el verdadero papel del Estado suele culminar en la creación de un «sistema de innovación» en el que el sector público asume los riesgos, mientras que el privado se beneficia de las recompensas (Mazzucato, 2014).

InnovaBienestar de México

Por medio del Conahcyt, el gobierno de México propone una nueva relación simbiótica con el sector empresarial privado, en la que se beneficien ambas partes y –lo más importante– para que esto se vea reflejado en el bienestar de la sociedad mexicana. Por esta razón surge InnovaBienestar de México, la nueva empresa paraestatal de base tecnológica que materializa el modelo mexicano de innovación soberana para el bienestar. Su principal objetivo es asegurar desarrollos nacionales para el bienestar del

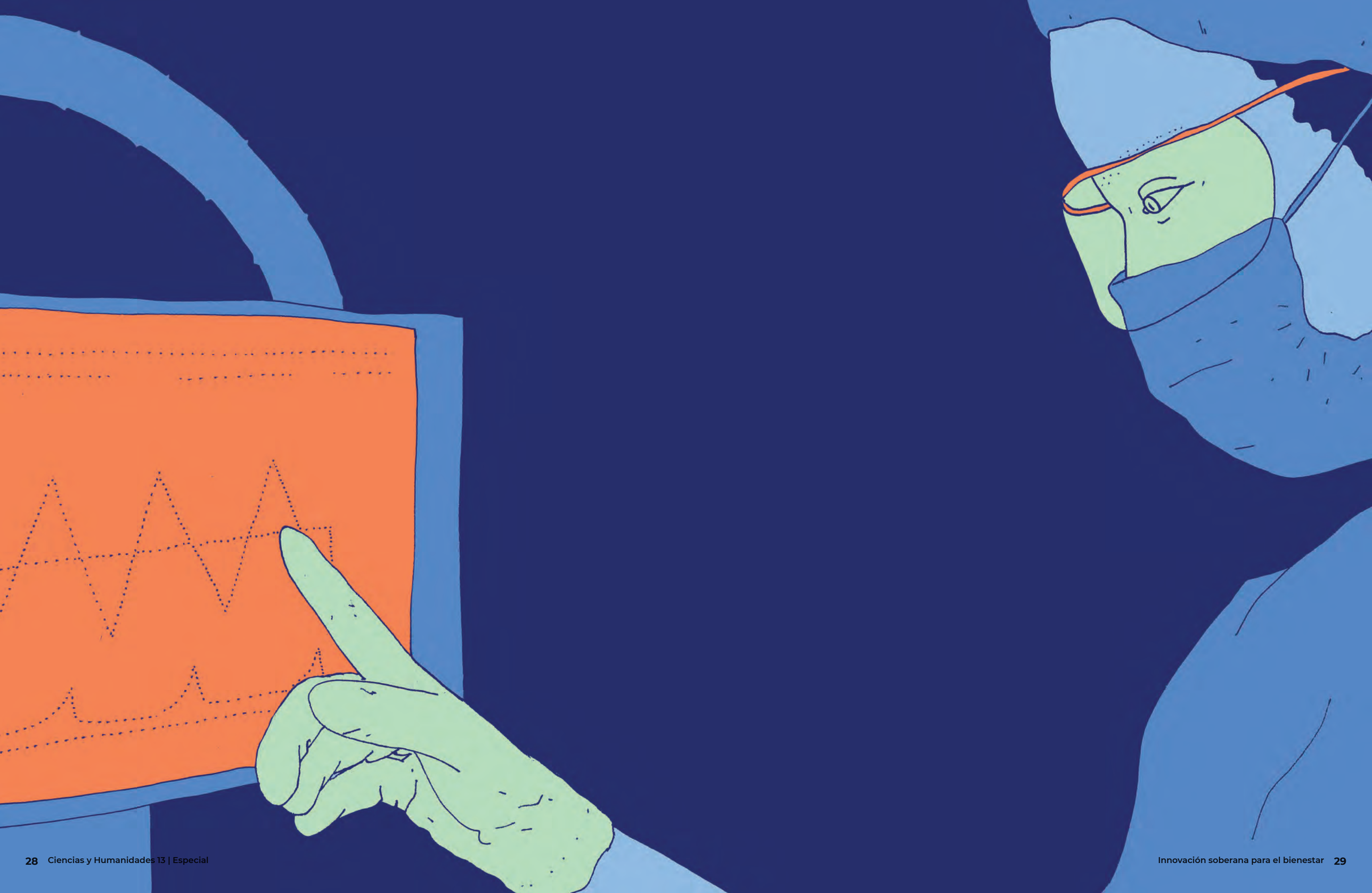
pueblo de México, en congruencia con el mandato del presidente Andrés Manuel López Obrador, para fortalecer la soberanía desde todos los ámbitos con innovaciones 100% mexicanas. De esta manera, InnovaBienestar surge de la transformación de la empresa de participación estatal mayoritaria Corporación Mexicana de Investigación en Materiales, S. A. de C. V., con el objetivo de responder a la necesidad de atención de las grandes prioridades inscritas en la agenda nacional y en los Programas Nacionales Estratégicos, así como encabezar las iniciativas que se desarrollen con apoyo directo o indirecto del Estado mexicano.

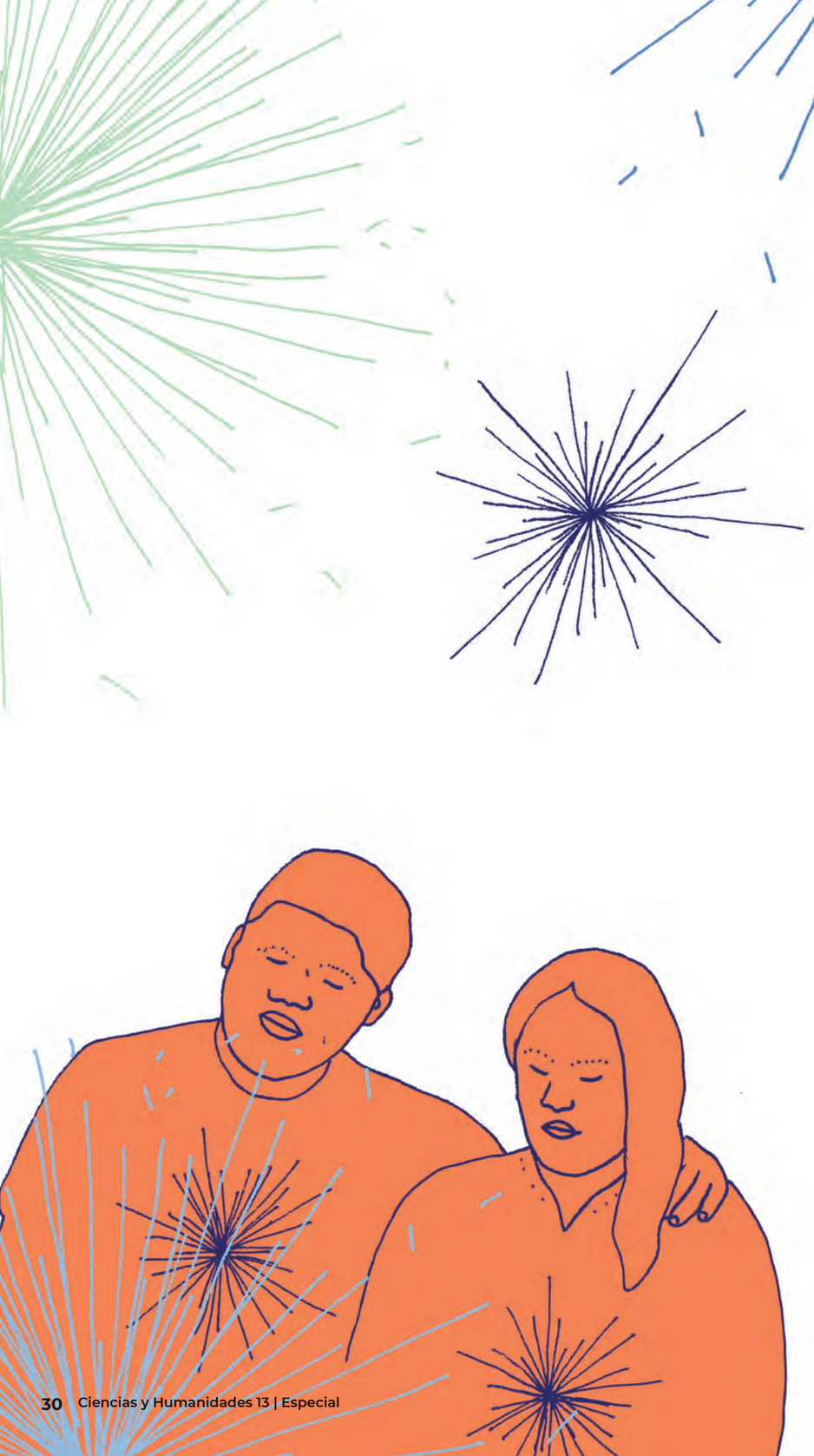
La función principal de esta nueva empresa será contribuir a los avances tecnológicos e innovaciones soberanas, para su escalamiento, maduración, transferencia tecnológica, consolidación y comercialización. Para ello, InnovaBienestar hace un esfuerzo significativo que une recursos e infraestructura de los Centros Públicos (CP) del Conahcyt, con el fin de recuperar la soberanía e independencia tecnológica, lo que se traducirá en el bienestar y la mejora de la calidad de vida de la población mexicana.

Además, InnovaBienestar pretende proporcionar servicios de alta tecnología en diversos sectores, establecer alianzas estratégicas y acuerdos con entidades públicas y privadas, contribuir a la consolidación de la infraestructura que promueva la soberanía científica y la independencia tecnológica del país, generar empleos para personas altamente especializadas, fomentar y consolidar las cadenas productivas nacionales y, finalmente, lograr ahorros sustantivos en el presupuesto del país, todo ello al aplicar prácticas responsables en favor del ambiente.

Primeros resultados

Algunos de los desarrollos tecnológicos e innovaciones soberanas con las que arranca esta empresa son dispositivos médicos y tecnologías de la salud, así como tecnologías de alimentos y bioinsumos, de mecatrónica, tecnologías de la información, software, comunicación, electrónica, tecnologías para el desarrollo sostenible e innovaciones para eficientar la movilidad. InnovaBienestar comenzó sus operaciones en tres áreas estratégicas (unidades de negocio). La primera es Serimédica de México, una alianza público-privada entre Dydetec (empresa de diseño y desarrollo tecnológico) y el Conahcyt, dedicada a consolidar el desarrollo de dispositivos médicos y tecnologías orientadas a la salud, con enfoque en el escalamiento. La segunda unidad de negocio es ComimsaBienestar, que busca fortalecer las relaciones comerciales en el sector metal-mecánico. Por último, se creó Redato,





una alianza pública para el desarrollo de tecnologías inteligentes y de cómputo.

InnovaBienestar ha demostrado que México cuenta con el talento y la infraestructura necesarios para desarrollar innovaciones soberanas en beneficio de toda la población mexicana. Este proyecto busca contribuir a la construcción de una sociedad más justa e incluyente, mediante el trabajo en colaboración con diferentes actores del ecosistema de innovación en las escalas local, regional, nacional e internacional. La intención de InnovaBienestar es promover el bien común con una perspectiva global, para asegurar que las acciones de innovación tengan un impacto positivo en todos los niveles.

Impacto en beneficio de la sociedad

Esta transformación, impulsada por el gobierno de México mediante el Conahcyt, procura fomentar la vinculación entre los CP, las instituciones educativas y el sector productivo, tanto público como privado. De esta manera, incrementa la autosuficiencia de los CP y promueve que los recursos generados por InnovaBienestar se reinviertan en la investigación científica, la tecnología y la innovación, de acuerdo con la Ley General en materia de Humanidades, Ciencias, Tecnologías e Innovación. Esta iniciativa busca mejorar las condiciones en las que viven las mexicanas y los mexicanos, a partir de las humanidades, las ciencias, las tecnologías y la innovación, con el objetivo de garantizar que, para el año 2030, las acciones desarrolladas en estos ámbitos tengan un impacto social importante para que las personas, tanto a nivel individual como colectivo, disfruten de una mayor calidad de vida.

En conclusión, el Estado es un actor clave para promover la innovación y el crecimiento económico. Por conducto de InnovaBienestar, el gobierno de México busca establecer una nueva relación con el sector empresarial privado para impulsar el desarrollo tecnológico y generar innovaciones completamente mexicanas. Estas acciones se reflejarán en una mejora en la calidad de vida de la población y en una sociedad más justa e incluyente.

Referencias

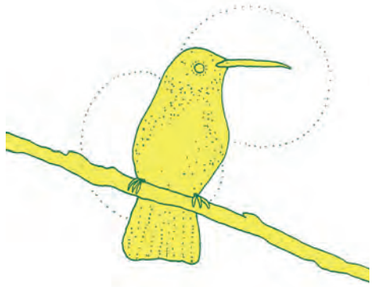
Keynes, J. M. (1936). *Teoría General de la Ocupación, el Interés y el Dinero*. Fondo de Cultura Económica.

Mazzucato, M. (2014). *El Estado emprendedor. Mitos del sector público frente al privado*. Editorial RBA.

Schumpeter, J. A. (1942). *Capitalismo, socialismo y democracia*. Fondo de Cultura Económica.

Desarrollo de tecnologías de radiocomunicación nacional

Juan Francisco Robles Camacho
Director de Investigación y Desarrollo de Sistemas de Comunicaciones y Detección, Unidad de Investigación y Desarrollo Tecnológico, Secretaría de Marina.



Introducción

Actualmente, contar con medios de comunicación efectivos que permitan actuar de manera coordinada ante riesgos o amenazas a la seguridad de la sociedad y de los Estados-nación es vital para cualquier país. En México, los ejes de la política gubernamental, establecidos en el Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024, plantean entre sus objetivos recuperar el Estado de derecho y cambiar el paradigma en la materia por medio de articular a los diversos actores que velan por la seguridad nacional, la seguridad pública y la protección civil, así como replantear el empleo de las fuerzas armadas (Secretaría de Hacienda y Crédito Público, 2019).

En este sentido, la Secretaría de Marina (Semar), la Secretaría de la Defensa Nacional (Sedena), la Guardia Nacional, la Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana (SSPC) y el Sistema Nacional de Protección Civil deben actuar y operar de forma coordinada. Para lograrlo, se requieren estrategias para implementar una nueva red que sea efectiva y que sirva como plataforma de comunicación interoperable y segura.

Además, es importante que todos los entes de seguridad de un gobierno operen en el mismo sistema de comunicación para mejorar la coordinación de acciones, como se estableció en el Acuerdo para la modernización de la Red Nacional de Radiocomunicación (RNR), publicado en el *Diario Oficial de la Federación* (SSPC, 2020), con el cual se formó la Comisión de la Red Integrada Nacional de Radiocomunicación (RINR), que emitió las recomendaciones técnicas para la adquisición o desarrollo de tecnologías encaminadas a fortalecer la actual RNR y poder constituir una nueva RINR (SSPC, 2021).

En el mediano plazo, desarrollar productos de comunicación con tecnología completamente mexicana permitirá disminuir los costos de adquisición, actualización y mantenimiento de estos equipos, ya que en el mercado internacional los protocolos de comunicaciones cambian constantemente en función de sus capacidades para garantizar la seguridad de la información y de los alcances o usos que éstos tengan. En el mundo hay múltiples tecnologías de comunicación que se pueden adecuar para enfrentar las diferentes complicaciones sociales, económicas y geográficas; sin embargo, todas tienen costos altos y no pueden adaptarse por completo a las necesidades de comunicación de cada estado o municipio en particular, ya que la tecnología, al ser propiedad privada, no puede ser modificada.

Las comunicaciones de la RINR deben orientarse a satisfacer las necesidades de seguridad nacional, pública y de protección civil del Estado mexicano. El sistema de comunicaciones empleado tiene que ser de misión crítica, una característica que deberá mantenerse de manera constante, por lo que hay que homogeneizar y actualizar las interconexiones de diferente tecnología e incluir capas de seguridad en las comunicaciones.

La Red Nacional de Radiocomunicación

La actual RNR es una red especializada de radiocomunicación convencional, troncalizada (Recuadro 1), privada, encriptada y parcialmente unificada, con base en diversos protocolos, la cual se creó por acuerdo del Consejo Nacional de Seguridad Pública y es conocida como Interconexión de Redes Integrales de Seguridad Pública, en la que se integran los servicios de radiocomunicación para la operación coordinada de las autoridades federales, estatales y municipales en el país. La RNR está conformada por una constelación de 31 redes independientes administradas por gobiernos estatales, cinco redes a cargo de instancias del gobierno federal, 457 sitios de repetición y 575 radiobases (109 Tetrapol IP, 343 Tetrapol TDMA, 82 Tetra y 41 P25). Es importante destacar que la parte correspondiente a la Semar y la Sedena trabaja exclusivamente bajo el protocolo P25 (Recuadro 2): la Semar emplea tecnología P25 Fase 1 (FDMA, *Frequency Division Multiple Access*) y la Sedena usa P25 Fase 2 (TDMA, *Time Division Multiple Access*).

En el estudio prospectivo sobre la RNR, elaborado de manera conjunta por el Instituto Politécnico Nacional

En general, los sistemas de radio pueden dividirse en convencionales y troncalizados (*trunking*) (Kunavut, 2014). Un sistema convencional se caracteriza por tener una infraestructura simple geográficamente fija (como una red repetidora), que repite llamadas de radio de una frecuencia a otra; si una llamada encuentra todos los canales ocupados, se elimina y no habrá comunicación hasta que el sistema libere un canal y coincida con un nuevo intento de llamada. Por su parte, el sistema troncalizado se caracteriza por tener un controlador en la infraestructura que asigna llamadas a canales libres específicos: si una llamada encuentra todos los canales ocupados, se queda en una cola de espera hasta que un canal se libere. Además, en la red troncalizada, una llamada se puede rutear a otras antenas ubicadas en diferentes áreas geográficas usando tecnologías como internet, comunicación satelital o microondas; así, un usuario puede comunicarse con otro ubicado a una gran distancia, mediante una comunicación conocida como área amplia. Estas tecnologías aparecieron debido a la saturación de los sistemas móviles terrestres y de radio convencionales. La troncalización ofrece una mayor eficiencia en el uso del espectro radioeléctrico. Actualmente hay diferentes tecnologías que permiten operar los sistemas convencionales y troncalizados (Tabla 1).

Recuadro 1.
Tecnologías de radiocomunicación.

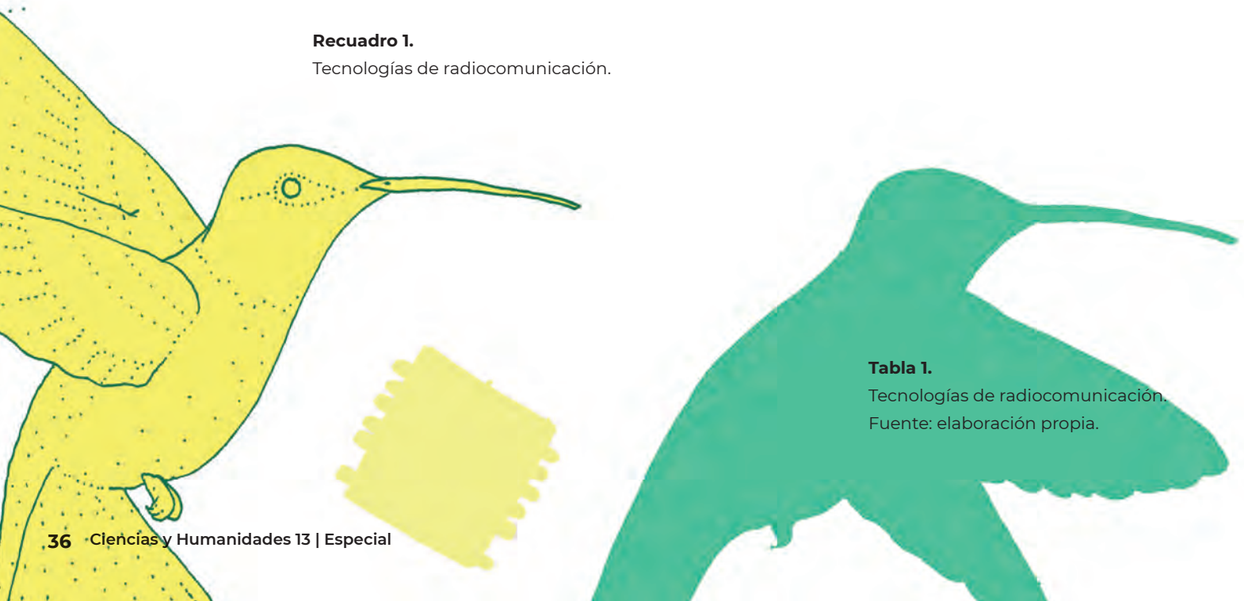
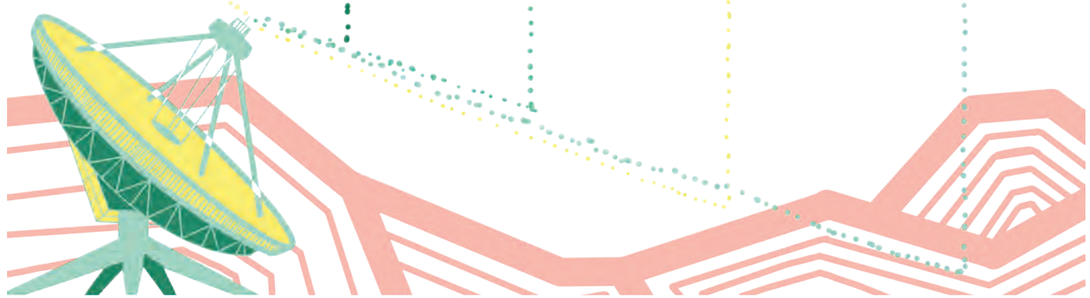


Tabla 1.
Tecnologías de radiocomunicación.
Fuente: elaboración propia.

Sistemas	Modo de operación	Frecuencia de uso	Estándar utilizado	País o región donde se desarrolló	Año de creación
DMR (*Digital Mobile* Radio)	TDMA (*Time División Multiple Access*)	Ultraalta y muy mala (UHF/VHF)	ETSI TS 102 361 partes 1-4 (abierto)	Europa (European Telecommunications Standards Institute [ETSI])	2005
TETRA (*Terrestrial Trynked Radio*)	TDMA	300-800 MHz	ETSI EN 300 392 partes 1-2-3 (abierto)	Europa (ETSI)	1995
P25 (Proyecto 25)	FDMA (*Frequency Division* Multiple Access) y TDMA	136-174 MHz, 380-520 MHz, 700-800 MHz	TIA-102 (abierto)	Estados Unidos	1989
NXDN (*Next Generation* Digital Narrowband)	FDMA y TDMA	Muy alta y Ultraalta (VHF/UHF)	NXDN Forum Standard (privado y bajo licencia)	Internacional (desarrollo conjunto por Icom de Japón y Kenwood)	2003
Tetrapol	FDMA	380-400 MHz, 410-430 MHz	Privado, no publicado	Francia	1993



El Proyecto 25, APCO-25, o simplemente P25, es un estándar basado en usuarios que establece los requerimientos para el desarrollo y la fabricación de productos interoperables de comunicación inalámbrica digital de dos vías de forma convencional y troncalizada. Uno de sus principales objetivos es asegurar que los equipos de radio de diferentes fabricantes sean compatibles entre sí. Esto permite que diversas organizaciones o cuerpos de seguridad puedan comunicarse de manera efectiva, especialmente en situaciones de emergencia. Utiliza tecnología de modulación digital, lo que mejora la claridad de la comunicación y reduce la susceptibilidad a interferencias en comparación con la modulación analógica tradicional. Así mismo, está diseñado para hacer un uso más eficiente del espectro de radiofrecuencia, lo cual es especialmente importante por la limitada disponibilidad de frecuencias para comunicaciones de emergencia.

El estándar incluye opciones para la encriptación de las comunicaciones, lo que proporciona un mayor nivel de seguridad para las transmisiones de voz y datos sensibles. Al ser escalable, lo pueden utilizar pequeñas agencias con pocos dispositivos, así como grandes organizaciones con miles de usuarios. Además de la transmisión de voz, P25 soporta la transmisión de datos, lo que permite enviar mensajes de texto, localización GPS, imágenes, entre otros. La tecnología compatible con P25 se está desarrollando por fases y actualmente hay dos implementadas (FDMA, *Frequency Division Multiple Access*, y TDMA, *Time Division Multiple Access*) con equipos de radio y dispositivos para red troncalizada de diferentes fabricantes.

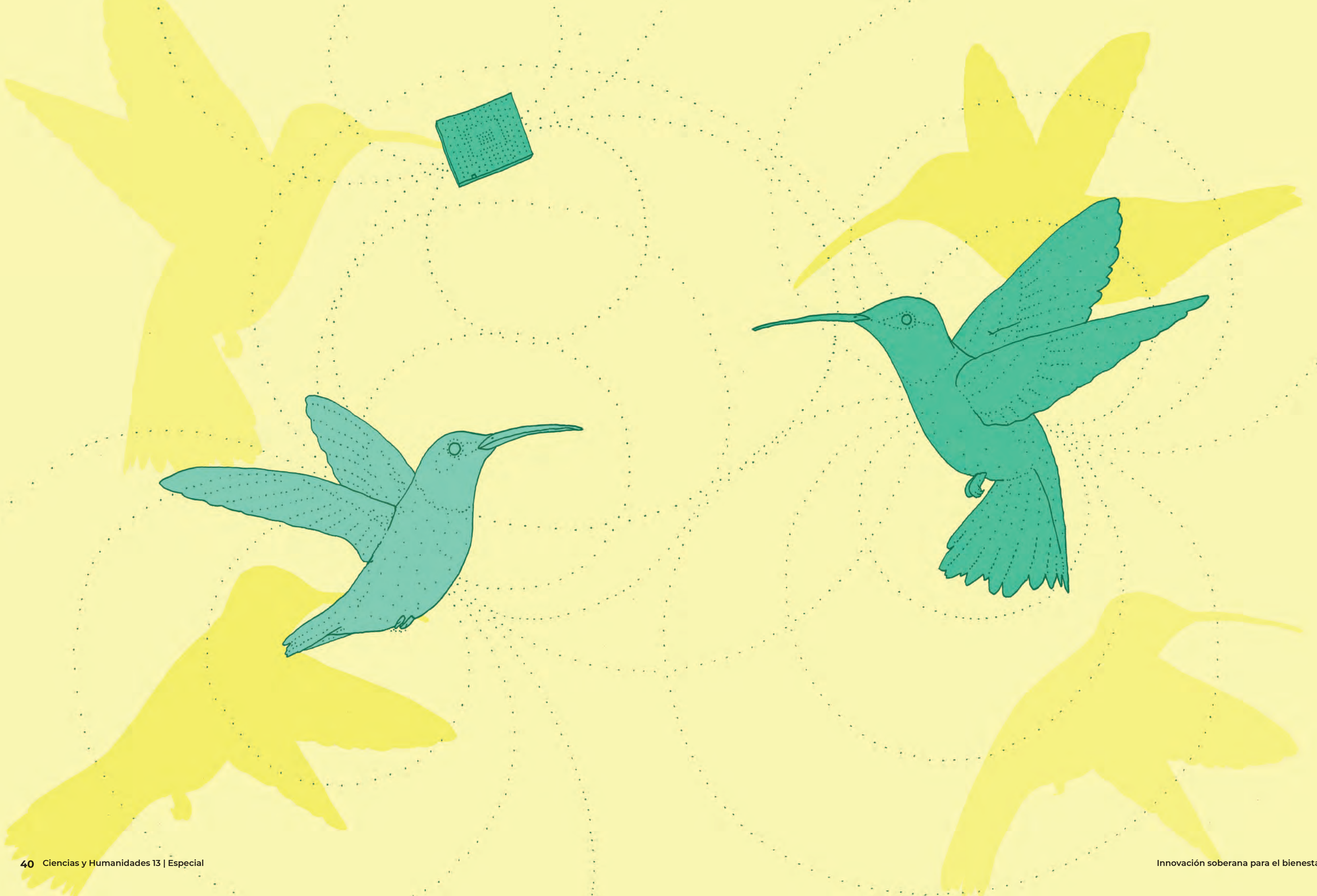
Recuadro 2.
El estándar P25.

y el Secretariado Ejecutivo del Sistema Nacional de Seguridad Pública (2018), se señalan los numerosos obstáculos que impiden el uso eficiente de la red de comunicaciones que actualmente opera en México. A partir del análisis del estado de la RNR y de las necesidades de comunicación vigentes para todos los órganos dedicados a la seguridad nacional, pública y la protección civil, se encontraron diversos problemas para poder interoperar mediante comunicaciones de voz y datos, ya que las diferentes tecnologías no son compatibles.

Un punto destacado es la dependencia tecnológica, ya que las empresas extranjeras proveen los protocolos de comunicación de las distintas tecnologías que integran la actual RNR, por lo que el gobierno mexicano depende completamente de los precios que establezcan las compañías productoras de los sistemas y equipos de comunicación para su actualización, mantenimiento y capacitación para utilizarlos. De igual modo, cada red estatal tiene desafíos diferentes, producto de las condiciones geográficas, afectaciones por fenómenos meteorológicos y problemas particulares de seguridad pública; aunado a ello, la falta de recursos económicos para el mantenimiento de la red hace que sea ineficiente en su operación.

Por otro lado, las funciones de los equipos de radiocomunicación que hoy se usan se limitan a servicios de voz y no proporcionan la transmisión de imágenes, videos y datos; mientras que otras funcionalidades, como hombre caído, llamada de emergencia, envío de mensajes rápidos, geolocalización mediante GPS y asignación de grupos para la coordinación de operaciones específicas, se usan muy poco o son muy difíciles de utilizar en momentos críticos. Además, la falla en las comunicaciones por saturación de canales, la falta de cobertura en muchas zonas geográficas del país y la lenta o intrincada administración de la red de comunicación complican su uso.

Todas estas problemáticas han provocado que no se haya constituido una red unificada, a pesar de que existen esfuerzos limitados, pero sin coordinación, en todo el país. Así, al no cumplirse con la directriz nacio-



nal, la elección de la tecnología se hace de forma local e indiscriminada y puede o no ser compatible con las demás tecnologías. Como resultado, hay redes aisladas dispersas en todo el territorio nacional.

Estrategia para desarrollar la Red Integrada Nacional de Radiocomunicaciones

El término *seguridad* alude a estar libres de peligro, preocupación o daño; a un estado mental que produce en las personas el sentimiento de que están fuera o lejos de todo riesgo ante cualquier circunstancia que pueda perturbar o atentar contra su integridad física, moral, social y económica. En México, este concepto puede analizarse en tres grandes dimensiones: seguridad contra peligros o amenazas externas para la soberanía del país (seguridad nacional), seguridad frente a peligros o amenazas internas contra el Estado de derecho, las instituciones o la propiedad privada (seguridad interior o pública), y seguridad ante desastres por fenómenos naturales o antrópicos (protección civil).

En cuanto a un Estado-nación, dicho sentimiento de seguridad se presenta cuando todos los recursos disponibles se usan para salvaguardar la integridad del país o de sus habitantes (Benedetti, 2020). Por su parte, Tewfik Doumi *et al.* (2013) señalan que se necesita una infraestructura de comunicación efectiva para proporcionar una respuesta exitosa ante situaciones de peligro y desastres; también enfatizan que la capacidad de los servicios de emergencia y primeros auxilios para comunicarse entre sí y compartir información multimedia influye directamente en la posibilidad de salvar vidas, y destacan que la tecnología LTE (*Long-Term Evolution*) podría mejorar su capacidad para proporcionar el servicio necesario para la seguridad pública.

Por otro lado, el uso de la tecnología de comunicaciones dispositivo a dispositivo puede ser un componente clave para proveer seguridad nacional, seguridad pública y apoyo a la población civil en casos de emergencia o desastres. Sin embargo, no basta con la telefonía celular y es necesario tener una comunicación robusta y directa entre los aparatos, incluso en ausencia de la infraestructura de red (Fodor *et al.*, 2014).

La evolución de las tecnologías de comunicación que permiten satisfacer las cambiantes necesidades en el ámbito de la seguridad pública se basa, sobre todo, en sistemas diseñados principalmente para los servicios de voz. Por ello, hay un desafío creciente para expandir estas redes más allá de sus funciones originales hacia dispositivos más sofisticados y nuevos servicios, como las comunicaciones de datos por paquetes, lo que hace indispensable la innovación tecnológica para atender las demandas tan variantes en este campo crítico (Gómez Chávez *et al.*, 2015).

Con base en esto, la Unidad de Investigación y Desarrollo Tecnológico de la Semar, junto con el Conahcyt, lanzaron en 2020 la «Estrategia para el desarrollo de la RINR mexicana», compuesta de cinco fases (Tabla 2), e hicieron gestiones para iniciar proyectos de investigación, desarrollo e innovación encaminados a disminuir las problemáticas presentadas por la RNR y poder consolidar, en el mediano plazo, una efectiva RINR con tecnología totalmente mexicana.

Así, el 31 de julio de 2020 comenzó la ejecución del proyecto «Desarrollo de Radio de Comunicación Mexicano P25 (Proyecto Vírgula)»; en enero de 2023 inició el diseño, construcción, adquisición de maquinaria y equipo de ensamble para la «Fábrica de Radios de Comunicación Vírgula (VírgulaFab)» en Antón Lizardo, Veracruz, la cual se inauguró el 21 de abril de 2024; y, por último, el 4 de septiembre de 2023 empezó el proyecto «Desarrollo de Prototipo de Sistema de Repetición de Comunicación Troncalizada para Radio de Comunicación Mexicano (Proyecto Tridente)», cuya finalización está planeada para agosto de 2025. Los tres proyectos están enfocados en desarrollar la tecnología de comunicación troncalizada de diseño mexicano que permita consolidar la RINR y fortalecer las acciones de seguridad nacional, pública y de protección civil en beneficio de la sociedad mexicana.

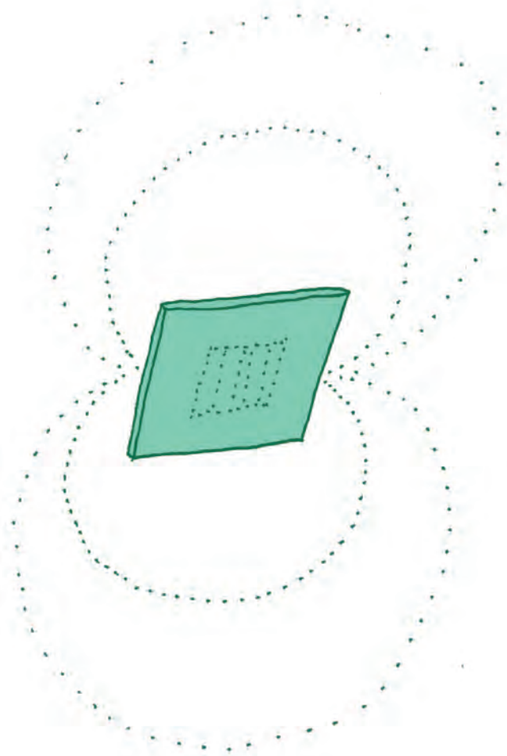
El proyecto Vírgula, basado en la teoría publicada por investigadores nacionales e internacionales y con-

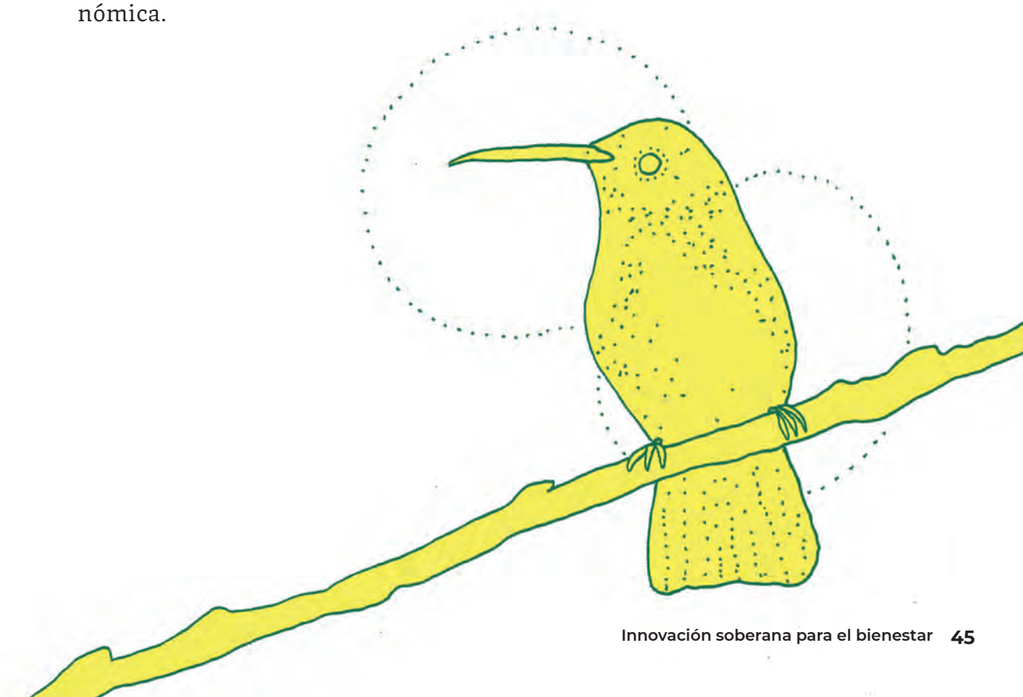
Fase	Tiempo de ejecución	Descripción de la meta
Fase 1	2020-2023	Desarrollo de equipos de radio portátiles y semiportátiles con estándar P25.
Fase 2	2023-2024	Diseño y construcción de una fábrica de equipos de radio.
Fase 3	A partir de 2024	Fabricación en serie de equipos de radio portátiles y semiportátiles de diseño nacional para cubrir las necesidades de las instituciones de seguridad nacional, pública y de protección civil.
Fase 4	2023-2026	Desarrollo de sitios de repetición troncalizados P25.
Fase 5	A partir de 2027	Fabricación en serie de sitios de repetición troncalizados de diseño nacional, para cubrir todos los estados del país.

Tabla 2.
Fases para el desarrollo de la Red Integrada Nacional de Radiocomunicaciones.
Fuente: elaboración propia.

cluido en febrero de 2023, permitió desarrollar dos tipos de radios de comunicación digital: un modelo portátil y otro semiportátil, con comunicación de voz y datos, en frecuencias de operación de 800 MHz y con potencia de transmisión de 3 W (portátil) y 30 W (semiportátil), así como GPS integrado. Los equipos de radio, que cumplen con el estándar P25, con alta seguridad en las comunicaciones y un sistema de encripción AES-256, tienen dos modos de operación: comunicación convencional de radio a radio, con un alcance de hasta 4 km, y comunicación troncalizada, para tener una comunicación a nivel nacional donde haya cobertura de las antenas; además, en su diseño se emplearon protocolos abiertos y estandarizados que les permiten interoperar con equipos de comunicación integrados a la RINR.

La Fábrica de Radios de Comunicación Vírgula (VírgulaFab), que cuenta con líneas de ensamblaje, maquinaria especializada, equipos de pruebas de calidad, sistemas de control y trazabilidad de la producción, así como los perfiles profesionales del personal requerido y los procesos por desarrollar durante cada etapa de la producción, ya genera beneficios de impacto nacional. Por ejemplo, se logró disminuir el 40 % de los costos de adquisición respecto a la producción en serie y, en este año, con la fabricación de 1 000 radios, la Semar está ahorrando aproximadamente 154 millones de pesos. Sin embargo, el mayor ahorro se dará con el tiempo, porque el mantenimiento y la actualización de estos radios se pueden llevar a cabo de forma rápida y económica.





Otros beneficios en las comunicaciones son la seguridad (al no depender de tecnología extranjera se tiene la certeza de que ningún fabricante puede escuchar lo que se trasmite) y la versatilidad (al seguir el estándar P25 los radios Vírgula pueden comunicarse con otras redes, como la celular y la telefonía fija comercial y satelital). Por otro lado, toda la propiedad intelectual es de México, por lo que pueden continuarse los desarrollos tecnológicos para generar sistemas más avanzados y caminar un paso más hacia la independencia tecnológica en el ámbito de las comunicaciones. Además, contar con estos equipos de radiocomunicación tendrá un impacto en todos los sectores nacionales, al permitir consolidar la RINR con tecnología completamente mexicana.

Conclusiones

El desarrollo de estos dispositivos de comunicación debe considerarse entre los proyectos de ciencia, tecnología e innovación estratégicos. Con los resultados del proyecto Vírgula y la VírgulaFab, nuestro país cuenta con dos productos de radiocomunicación con estándares internacionales (P25) y la infraestructura para su producción en serie que permitirá cubrir las necesidades de comunicación en todo el país.

Antes de 2020, los esfuerzos para desarrollar tecnologías de redes de comunicación no tenían un modelo estratégico que posibilitara construir una efectiva RINR, acorde con las necesidades particulares de cada zona geográfica; ahora, gracias a la colaboración de la Semar y el Conahcyt, México cuenta con líneas de investigación y desarrollo en el ámbito de las comunicaciones, así como con la fabricación de productos tecnológicos necesarios para reducir la dependencia del extranjero al tiempo que se va fortaleciendo la seguridad nacional, la seguridad pública y la protección civil en beneficio de la sociedad mexicana.

Referencias

Benedetti, A. (2020). *Palabras clave para el estudio de las fronteras*. Teseo Press.

Doumi, T., Dolan, M. F., Tatesh, S., Casati, A., Tsirtsis, G., Anchan, K. y Flore, D. (2013). LTE for public safety networks. *IEEE Communications Magazine, 51*(2), 106-112. https://doi.org/10.1109/MCOM.2013.6461193

Fodor, G., Parkvall, S., Sorrentino, S., Wallentin, P., Lu, Q. y Brahmi, N. (2014). Device-to-device communications for national security and public safety. *IEEE Access, 2*, 1510-1520. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2014.2379938

Gómez Chávez, K. M., Goratti, L., Rasheed, T., Oljira, D. B., Fedrizzi, R. y Riggio, R. (2015). The Evolutionary Role of Communication Technologies in Public Safety Networks. En D. Câmara y N. Nikaein (eds.), *Wireless Public Safety Networks 1: Overview and Challenges* (pp. 21-48). ISTE Press/Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-1-78548-022-5.50002-9

Kunavut, K. (2014). An Overview of Digital Trunked Radio: Technologies and Standards. *Journal of Industrial Technology, 10*(2), 111-121.

Secretaría de Hacienda y Crédito Público. (2019, 12 de julio). Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024. *Diario Oficial de la Federación*. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5565599&fecha=12/07/2019#gsc.tab=0

Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana [SSPC]. (2020, 30 de noviembre). Acuerdo que tiene por objeto la conformación, desarrollo, modernización y actualización de la Red Integrada Nacional de Radiocomunicación, compuesta por las redes de radiocomunicación de Seguridad Pública, similares y/o compatibles, de las dependencias y entidades de la Administración Pública Federal. *Diario Oficial de la Federación*. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5606268&fecha=30/11/2020#gsc.tab=0

_____ (2021, 29 de julio). Acuerdos de la Comisión de la Red Integrada Nacional de Radiocomunicación aprobados en su primera sesión ordinaria, celebrada el 15 de julio de 2021. *Diario Oficial de la Federación*. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5625170&fecha=29/07/2021#gsc.tab=0

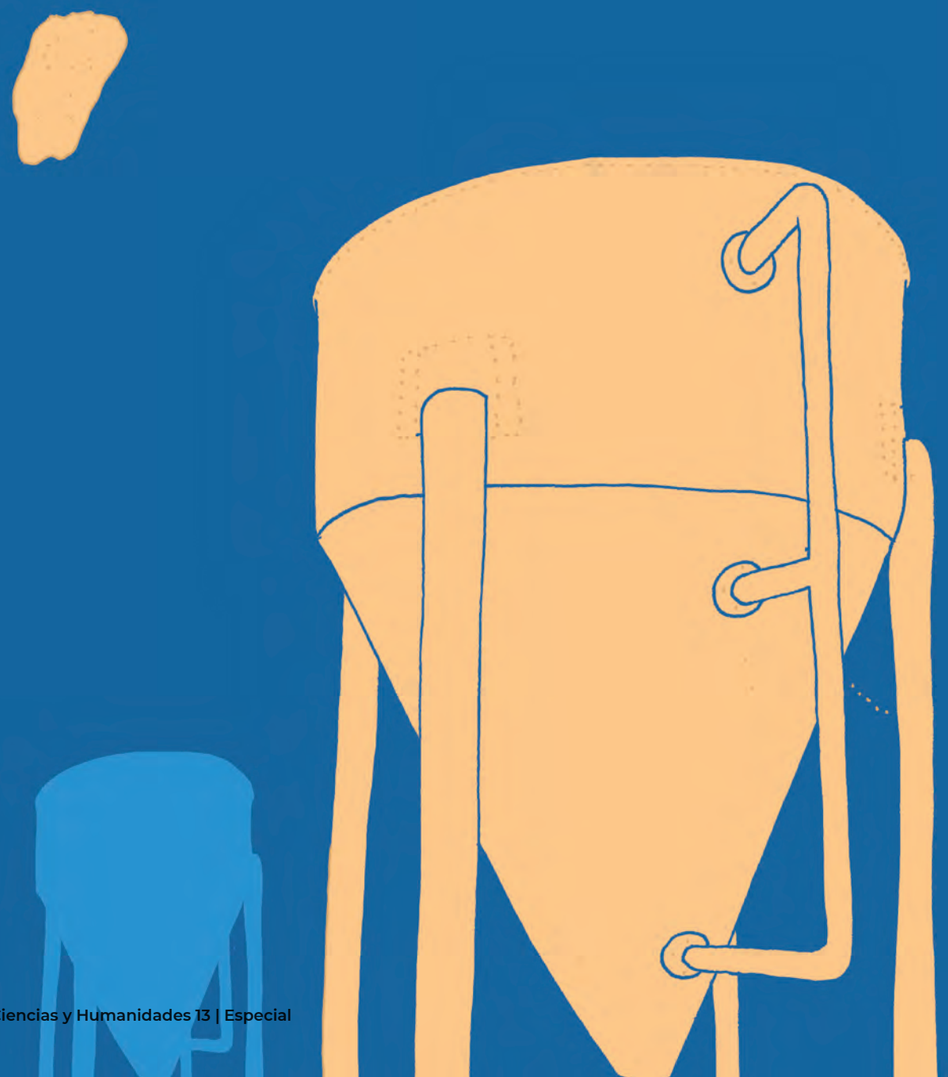
Secretariado Ejecutivo del Sistema Nacional de Seguridad Pública. (2018, 29 de noviembre). *Estudio prospectivo sobre la Red Nacional de Radiocomunicación*. https://www.gob.mx/sesnsp/documentos/estudio-prospectivo-sobre-la-red-nacional-de-radiocomunicacion?state=published

Construcción de soberanía en materia de litio

Gilles Levresse
Investigador del Instituto de Geociencias,
Universidad Nacional Autónoma de México.

Gabriel Plascencia Barrera
Investigador del Centro de Investigación
en Materiales Avanzados, S. C.

Aarón Almaraz Gómez
Juan Carlos Castillo Reynoso
Rubén Suárez Hernández
Investigadores por México, Conahcyt.



En la actual matriz energética nacional, el sector transporte es el principal consumidor de energía de uso final (Conahcyt, 2023), lo que produce emisiones considerables de gases de efecto invernadero (GEI) que tienen un impacto negativo en el ambiente y en la calidad del aire, con lo cual afectan a las poblaciones humanas y a los ecosistemas. Para contrarrestar este efecto, se requiere fortalecer al sector de la electromovilidad, y principalmente del transporte público, como una estrategia para disminuir de manera radical el impacto de los GEI en el ambiente y atender las necesidades de la mayor parte de la población que se traslada de manera colectiva.

En este sentido, el desarrollo de la movilidad eléctrica necesita de la manufactura de baterías de ion litio (BIL), consideradas como herramientas imprescindibles para el impulso acelerado hacia una transición energética eficiente. Para la producción de las BIL, al igual que otros países con reservas importantes de litio, México está impulsando acciones para alcanzar la soberanía nacional, sobre todo en temas de exploración, beneficio (o procesamiento de minerales) y metalurgia extractiva, para desarrollar la cadena de valor del litio.

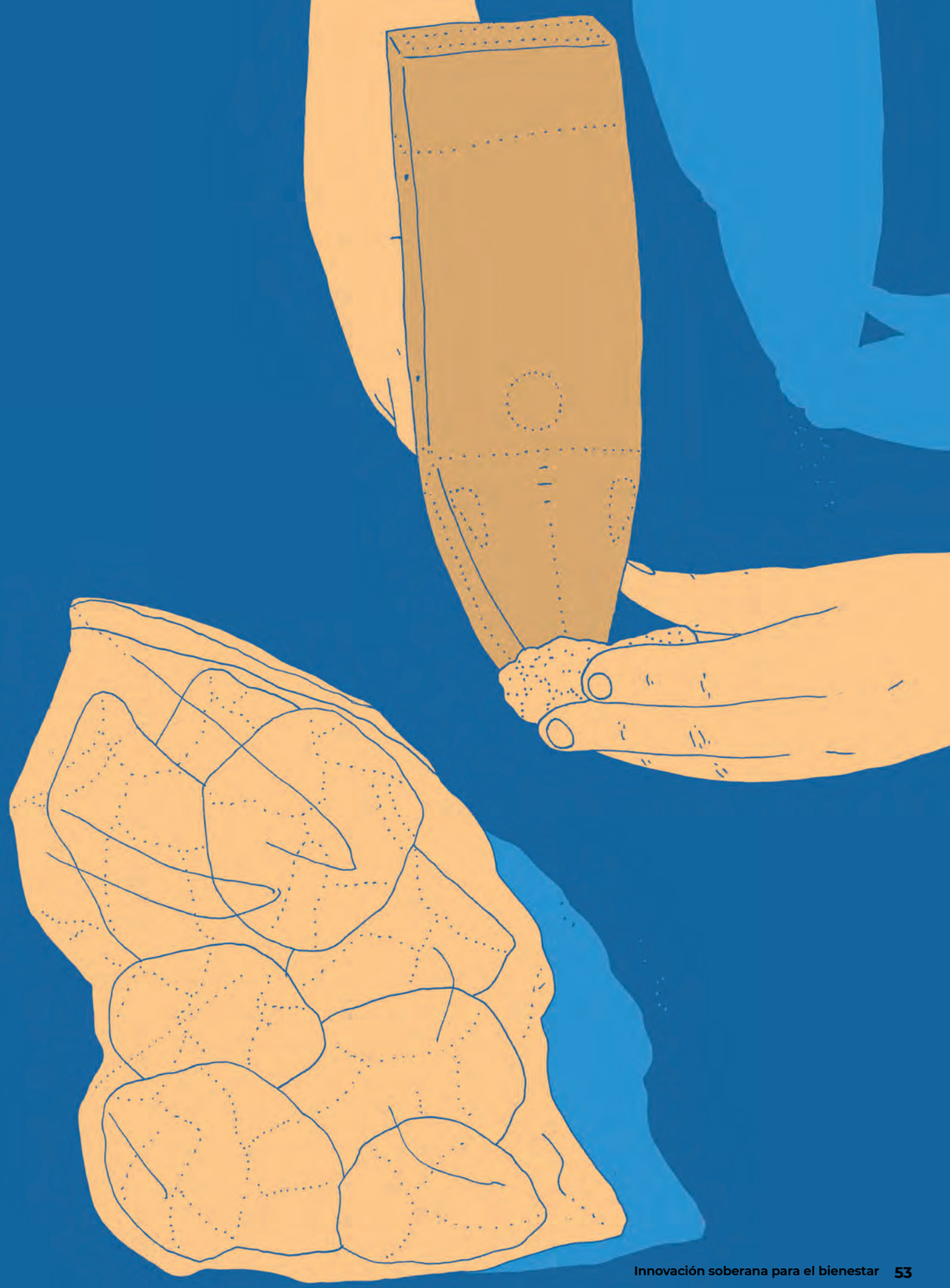
Avance en México

En la etapa de exploración, se llevan a cabo estudios de caracterización de depósitos de litio encontrados principalmente en la porción centro-oriente del estado de Sonora, donde está una de las dos reservas certificadas de litio en México. Esto tiene el objetivo de establecer guías de exploración que permitan identificar y acelerar el reconocimiento, con la mayor certeza posible, de otras regiones potencialmente importantes por sus altas concentraciones de litio.

Por su parte, mediante el beneficio y la metalurgia extractiva se obtienen sales de litio de alto valor a partir de minerales que contienen este elemento, los cuales son primordiales para la fabricación de las BIL. Existen diferentes rutas extractivas, en función del tipo de mineral, entre las cuales la obtención de sales de litio a partir de salmueras en los salares constituye uno de los procesos más simples y comercializables por su bajo costo, aunque tiene altas pérdidas de agua debido a la evaporación. Otra ruta corresponde a la extracción de sales de litio que se encuentran en rocas duras, pero es una de las que más demandan energía y recursos naturales, además de ser una gran generadora de contaminantes (Khakmardan *et al.*, 2023).

En nuestro país, los depósitos de litio se encuentran en arcillas, pero en el mundo aún no se cuenta con un proceso comercial de extracción para estas sales de litio de alto valor. Debido a esto, el gobierno de México, por medio del Conahcyt, está impulsando los esfuerzos para definir nuevos procesos de obtención de sales de litio a partir de arcillas. Gracias a la colaboración entre diversos centros de investigación e instituciones de educación superior, se ha desarrollado una secuencia de pasos específicos para el procesamiento de arcillas que se ajusta a los procedimientos utilizados en la industria para diferentes tipos de minerales arcillosos. Con base en lo anterior, se han podido extraer carbonatos de litio con muy alta pureza y con menores consumos de agua y energía, comparados con otros procesos reportados (Hien *et al.*, 2015; Yan *et al.*, 2012; Luong *et al.*, 2013).

Otra etapa de la cadena de valor del litio corresponde a la fabricación de las BIL, que en la actualidad son dispositivos cruciales para el desarrollo de la movilidad eléctrica eficiente, tanto en nuestro país como en el resto del mundo. Por ello, se trabaja en coordinación con la empresa estatal Litio para México en una estrategia asociada a la potencial manufactura de celdas en el territorio nacional y la próxima implementación de las BIL importadas para la



electrificación del transporte público en algunas ciudades mexicanas; así, se está desarrollando el primer autobús electrificado con BIL hecho 100 % en México, con un gran porcentaje de proveeduría nacional.

Respecto a las celdas de baterías, debido a que su fabricación con precursores (sales de litio) extraídos en México se visualiza en un horizonte a mediano plazo, por ahora se plantea una estrategia de producción de BIL a partir de insumos internacionales para solventar las necesidades de minerales estratégicos y, cuando sea posible, introducir en el proceso las sales obtenidas mediante los esfuerzos nacionales. Esta estrategia le permitirá al país incursionar lo más pronto posible en el desarrollo de prototipos y atender a los mercados internos estratégicos. La demanda de estos dispositivos aumentará de forma exponencial en los próximos años y permitirá tanto el flujo de recursos como el escalamiento de la producción.

Conclusión

En toda la cadena de valor del litio, a partir de una articulación virtuosa entre Litio para México, el Servicio Geológico Mexicano y el Conahcyt, los esfuerzos de la comunidad en el campo de las ciencias, las humanidades y las tecnologías están generando conocimiento de frontera y aplicado asociado a cada etapa de la producción. Con ello se fortalecen las capacidades nacionales y la formación de talento altamente especializado enfocado en lograr la soberanía de México en materia de litio. Éste es un ejemplo más de cómo el modelo mexicano de innovación soberana para el bienestar empieza a generar beneficios para la población.

Referencias

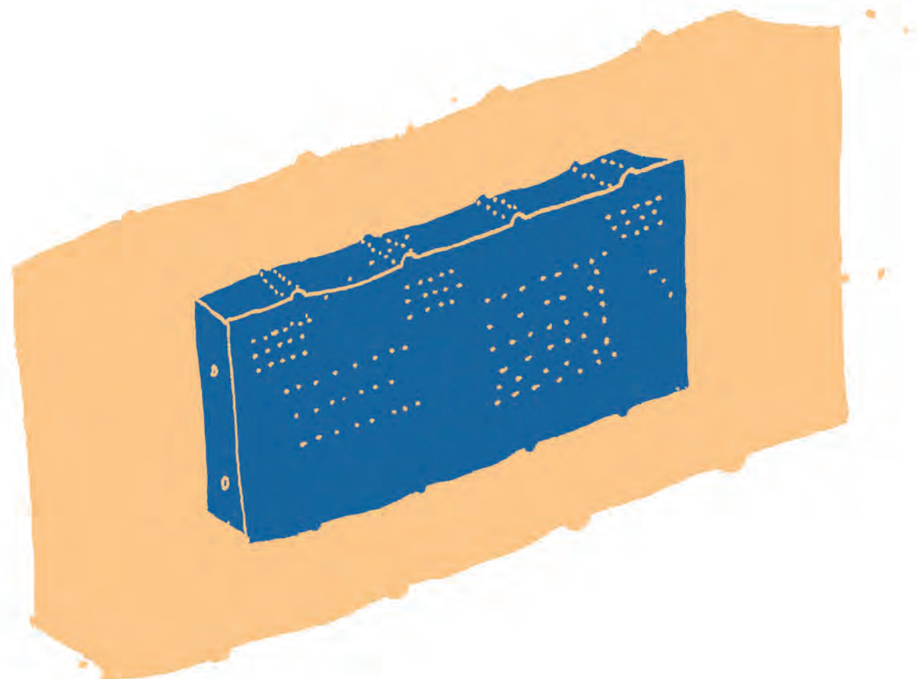
Conahcyt. (2023). Balance Nacional de Energía. *Plataforma Energía, Ambiente y Sociedad (Planeas).* https://energia.conacyt.mx/planeas/balance/balance-energia

Hien-Dinh, T. T., Luong, V. T., Gieré, R. y Tran, T. (2015). Extraction of lithium from lepidolite via iron sulphide roasting and water leaching. *Hydrometallurgy, 153*, 154-159. https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2015.03.002

Khakmardan, S., Rolinck, M., Cerdas, F., Herrmann, C., Giurco, D., Crawford, R. y Li, W. (2023). Comparative life cycle assessment of lithium mining, extraction, and refining technologies: a global perspective. *Procedia CIRP, 116*, 606-611.

Luong, V. T., Kang, D. J., An, J. W., Kim, M. J. y Tran, T. (2013). Factors affecting the extraction of lithium from lepidolite. *Hydrometallurgy, 134-135*, 54-61. https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2013.01.015

Yan, Q., Li, X., Wang, Z., Wu, X., Wang, J., Guo, H. y Peng, W. (2012). Extraction of lithium from lepidolite by sulfation roasting and water leaching. *International Journal of Mineral Processing, 110-111*, 1-5. https://doi.org/10.1016/j.minpro.2012.03.005



Faros agroecológicos

en el camino hacia la soberanía alimentaria

Dirección de Estrategia Tecnológica
Conahcyt.

Hace aproximadamente 12 000 años, en todo el mundo se inició uno de los procesos más importantes y revolucionarios en la historia de la humanidad: la recolección y el resguardo de frutos y semillas; en otras palabras, el surgimiento de la agricultura. Los antiguos pueblos agricultores implementaron las primeras prácticas agrícolas (procesos de siembra, cosecha y poscosecha) para la domesticación de cereales silvestres como el maíz y el trigo, tras la constante cruza de diferentes plantas con características específicas (Robledo-Arratia, 2014).

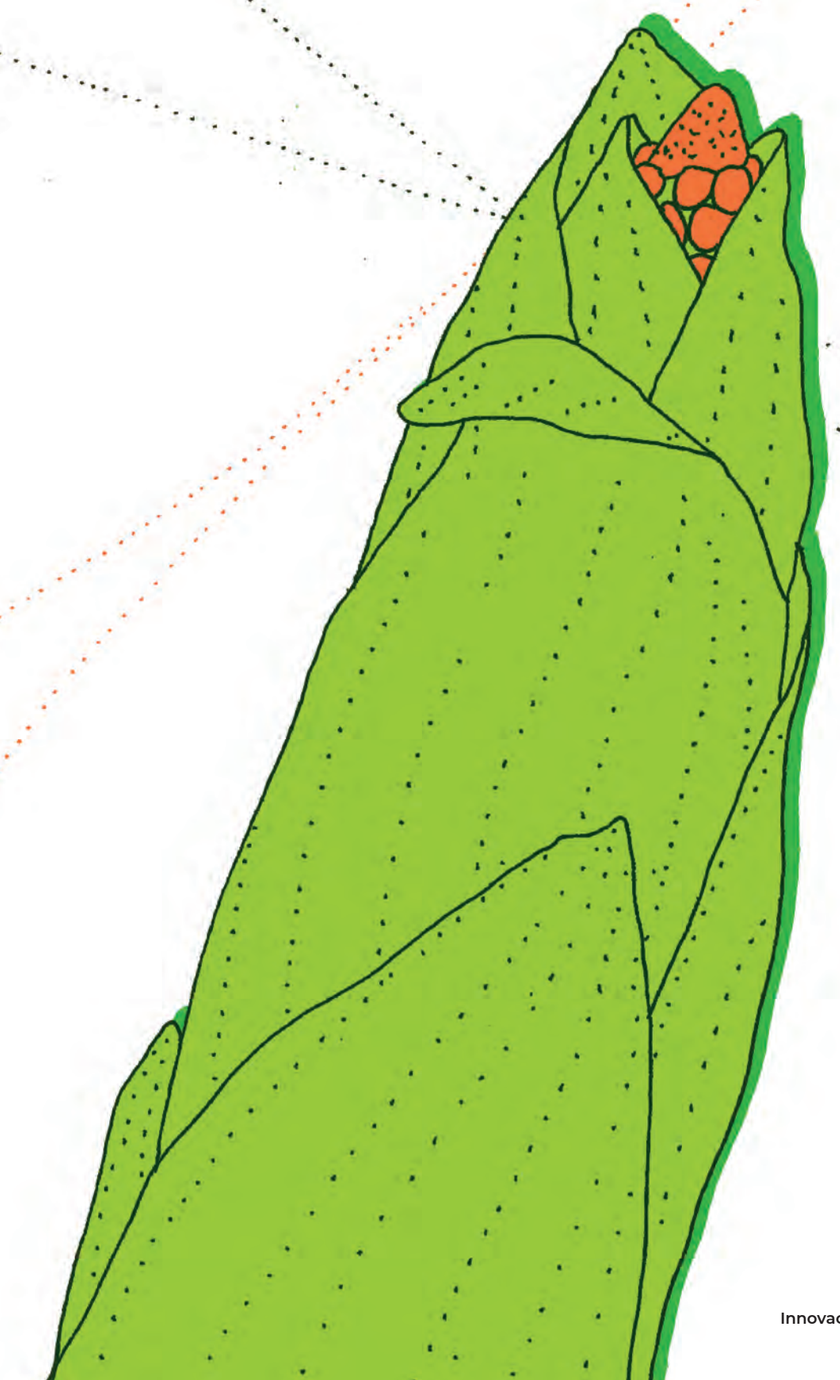
México es centro de origen de al menos una centena de especies, entre las que destacan el maíz, el tomate, el cacao, la vainilla, el algodón, el chile y el aguacate (Boege, 2009). Hay una extensa diversidad de razas y variedades debido a la constante selección hecha por los pueblos originarios a lo largo de miles de años y a la amplia heterogeneidad entre las condiciones ambientales existentes en nuestro territorio. Por ejemplo, para México se tienen documentadas hasta ahora al menos 68 razas de maíz, de las cuales 59 se pueden considerar nativas (Caballero-García *et al.*, 2019).

Así, en nuestro país se han probado, modificado y perfeccionado prácticas agrícolas que aún emplean los pequeños y grandes productores. Se trata de un conocimiento tradicional que comprende saberes, costumbres y creencias (materiales y espirituales), y que en el seno de un pueblo o de una comunidad se transmite verbalmente y se transforma en habilidades y experiencias, de generación en generación.

Las prácticas agrícolas en México

Entre las prácticas agrícolas ancestrales más comunes en nuestro país podemos mencionar el deshierbe manual con azadones y machetes, la asociación y rotación de cultivos en los diferentes ciclos de producción, así como el uso de coberteras como en el caso de la milpa, sistema prehispánico en el que se cultivan varios alimentos a la vez, principalmente maíz, calabaza, quelites y frijol. Esto genera beneficios para el ecosistema agrícola, pues evita la erosión y ayuda a retener y aprovechar los nutrientes del suelo (Jarrín-Zambrano *et al.*, 2018).

Históricamente, el pueblo de México ha producido sus alimentos de forma autosuficiente. Durante el periodo conocido como el Milagro Mexicano, se vivió la época de mayor prosperidad para la agricultura del país; de 1940 a 1970, el sector agrícola generó una gran cantidad de divisas y elevó no sólo su productividad, sino también sus utilidades. Según los investigadores Salvador Mena y Mario Ramírez (2014), Sinaloa se convirtió en el estado con mayor inversión en infraestructura para el campo, seguido



de cerca por Baja California, Tamaulipas, Chihuahua y Sonora. Además, se redujo la dependencia del exterior, pues al inicio del periodo le correspondía al sector agropecuario el 13.9% del total de las importaciones del país y en 1955 esta cifra disminuyó hasta el 3.7%. Los cultivos más beneficiados fueron el maíz, el trigo y el algodón.

En la década de 1970, se dio un impulso inusitado a la Revolución Verde, lo que propició un cambio radical en las prácticas agrícolas utilizadas hasta ese entonces, pues el uso de tecnología se desligó del conocimiento empírico determinado por la experiencia del agricultor, proceso en el que se perdieron años de conocimientos tradicionales. El cambio de paradigma para la producción de alimentos a partir de ese periodo, hacia un modelo extractivista, con el uso desmedido de agroinsumos químicos (como fertilizantes y herbicidas), maquinaria agrícola y semillas transgénicas, trajo para los campesinos y trabajadores rurales sueldos miserables, desempleo y migración, debido al alto costo para adquirir los «paquetes tecnológicos», que incluyen semillas «mejoradas» y los agroquímicos, con la promesa de obtener una alta productividad en los cultivos (Ceccon, 2008).

Ahora, el modelo de producción extractivista es insostenible, ya que ha resultado en suelos erosionados y esterilizados a causa del manejo inadecuado por el uso indiscriminado de agrotóxicos, lo que reduce al mínimo la actividad microbiana y la fauna de los suelos, además de que contamina las aguas subterráneas y superficiales; todo esto provoca graves trastornos en el equilibrio ecológico de los ecosistemas (Ceccon, 2008). Además, se ha documentado que el uso indiscriminado de plaguicidas altamente peligrosos tiene impactos en la salud de la población: los efectos tóxicos de esas sustancias son diversos e indiscutibles, tanto por la exposición aunque sea a concentraciones bajas del producto, pues el efecto se manifiesta después de varios meses e incluso años, como por el contacto directo, lo que puede provocar reacciones alérgicas, como vómito, cefalea, conjuntivitis, diarrea, calambres abdominales, dificultad para respirar, desmayo e incluso la muerte. Las exposiciones crónicas durante las actividades agrícolas se han asociado con la incidencia de cáncer, mutaciones o lesiones degenerativas en hígado y riñón (Ortíz e*t al.*, 2014).

La transición hacia la agroecología

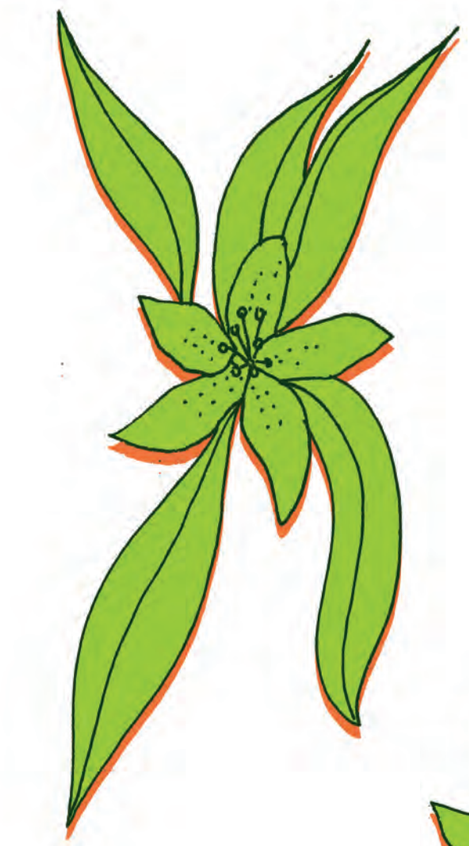
Por lo anterior, es urgente retomar las prácticas tradicionales de producción de alimentos en nuestro país. Se ha demostrado que una vía para producir alimentos de manera sostenible es la agroecología, la cual constituye, a la vez, una ciencia, un conjunto de prácticas y un movimiento social. Como ciencia, la agroecología estudia las interacciones entre los diferentes componentes del agroecosistema; como conjunto de prácticas, busca maneras para desarrollar sistemas agrícolas sostenibles que optimicen y estabilicen la producción; y como movimiento social, persigue que la agricultura tenga múltiples funciones, promueve la justicia social, nutre la identidad y la cultura, además de que refuerza la viabilidad económica de las zonas rurales (Jarrín-Zambrano *et al.*, 2018).

En este contexto, el Conahcyt coordinó que por todo el país se establecieran faros agroecológicos, los cuales son espacios de diálogo de saberes y validación científica que buscan la transición agroecológica en México. Allí se entrelazan las experiencias tradicionales y las innovaciones contemporáneas entre productores para formar prácticas agrícolas sostenibles y respetuosas con el ambiente, ya que proponen no sólo un cambio en las técnicas de cultivo, sino también un enfoque integral para la transición de sistemas agrícolas tradicionales hacia una agricultura ecológica, rentable a nivel comercial y sostenible. Asimismo, se contribuye a la soberanía alimentaria y al bienestar comunitario, con sistemas agrarios saludables, equitativos e incluyentes, además de que se procura reconocer

la participación de las comunidades indígenas y de las mujeres campesinas.

En una alianza virtuosa entre el gobierno de México, instituciones públicas de educación superior y organizaciones campesinas, se han implementado faros agroecológicos en 22 estados de la República, en los que se brinda acompañamiento y capacitación para las comunidades campesinas a través de escuelas de campo, y se tienen instalados laboratorios artesanales y unidades de producción de bioinsumos comunitarios. En coordinación con los programas sociales Producción para el Bienestar (de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural) y Sembrando Vida (de la Secretaría de Bienestar), se han producido hasta ahora 67.8 millones de litros de bioinsumos líquidos y 350 000 toneladas de bioinsumos sólidos. Se cuenta con las capacidades para continuar y ampliar la producción en 22 754 escuelas de campo y comunidades de aprendizaje campesino, mediante 30 290 espacios de producción de bioinsumos en todo el territorio nacional, y con más de 688 000 personas productoras que están capacitadas para la elaboración y aplicación de bioinsumos e implementación de prácticas agroecológicas.

Con base en lo anterior, los faros agroecológicos demuestran que en México es posible producir alimentos sin plaguicidas que son altamente peligrosos, además de ofrecer alternativas y evidencia científica. El gobierno de México asume su responsabilidad de promover, respetar, proteger y garantizar para todas las personas el derecho humano a la alimentación nutritiva, suficiente y de calidad, así como a la protección de la salud y a un ambiente sano.



Referencias

Boege, E. (2009). Centros de origen, pueblos indígenas y diversificación del maíz. *Ciencias, 92*, 18-28. https://www.redalyc.org/pdf/644/64412119004.pdf

Caballero-García, M. A., Córdova-Téllez, L. y López-Herrera, A. D. J. (2019). Validación empírica de la teoría multicéntrica del origen y diversidad del maíz en México. *Revista Fitotecnia Mexicana, 42*(4), 357-366. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802019000400357

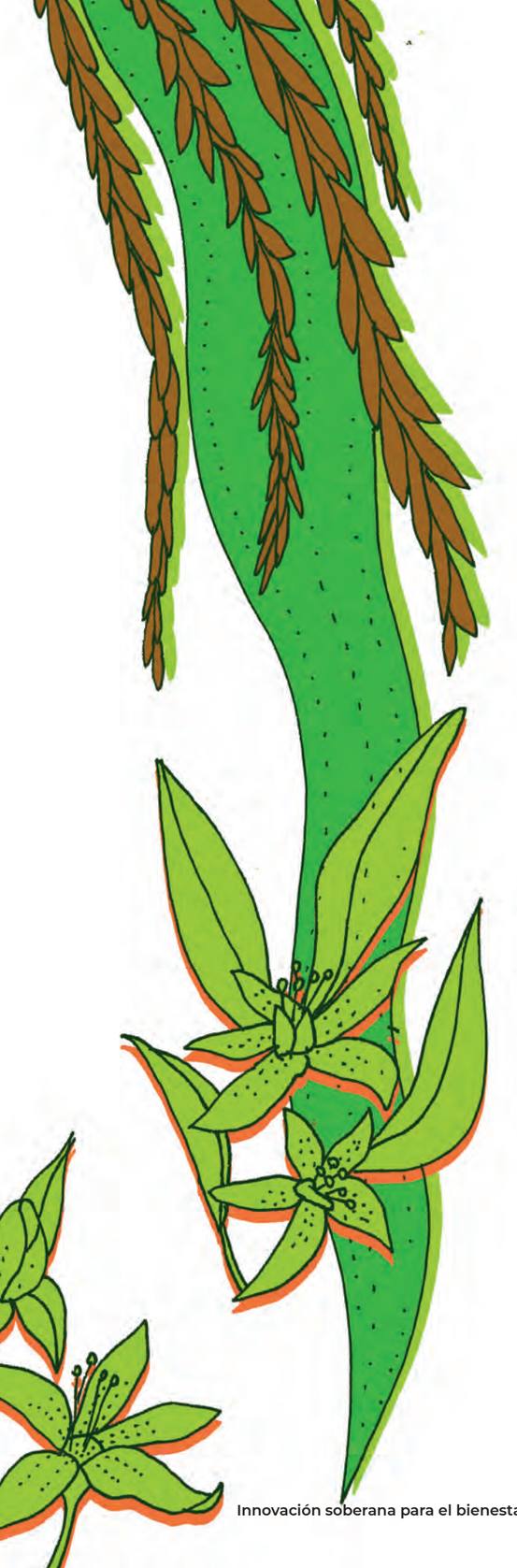
Ceccon, E. (2008). La revolución verde tragedia en dos actos. *Ciencias, 91*, 21-29. https://www.redalyc.org/pdf/644/64411463004.pdf

Jarrín-Zambrano, G. S., Altamirano-Balseca, M., Balseca-Castro, J. E., Heredia-Guaño, A. J. y Aguirre-Merino, C. P. (2018). Saberes ancestrales y agroecología, contribuciones para el desarrollo sostenible. *Revista Caribeña de Ciencias Sociales*. https://www.eumed.net/rev/caribe/2018/06/contribuciones-desarrollo-sostenible.html#google_vignette

Mena, S. y Ramírez, M. (2014). *Panorama de la agricultura en México*. Editorial Universidad de Guadalajara. https://editorial.udg.mx/gpd-panorama-de-la-agricultura-en-mexico.html

Ortíz, I., Avila-Chávez, M. y Torres, L. (2014). Plaguicidas en México: usos, riesgos y marco regulatorio. *Revista Latinoamericana de Biotecnología Ambiental y Algal, 5*(1), 26-46. https://doi.org/10.7603/s40682-014-0003-9

Robledo-Arratia, L. (2014). La historia de la agricultura y los cultivos transgénicos. *Cienciorama*. http://www.cienciorama.unam.mx/a/pdf/323_cienciorama.pdf



Propiedad intelectual

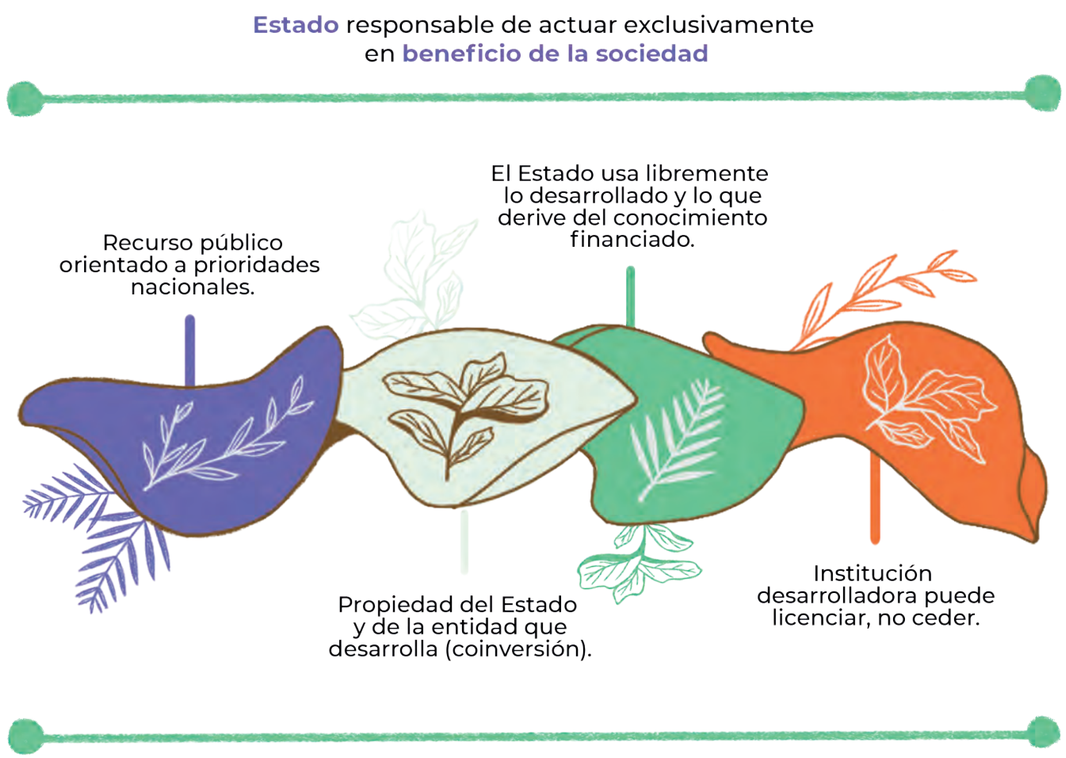
en el ecosistema de innovación soberana para el bienestar

Michele Arelyd González Galindo
Investigadora por México, Conahcyt.

La importancia de la innovación como fuerza impulsora de impacto social es reconocida por instancias como el Banco Mundial, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico y el Banco Interamericano de Desarrollo. La innovación promueve la competitividad, genera empleos, soluciona problemas ambientales y de salud, reduce la desigualdad y fomenta un crecimiento sostenible e inclusivo (Hennessey, 2023).

Durante los últimos 40 años, en México predominó el régimen neoliberal que priorizó el crecimiento económico sin considerar el bienestar social. Ahora, para atender las necesidades del país contemplando la responsabilidad social y ambiental, el Plan Nacional para la Innovación (PNI) (Conahcyt, 2023) promueve la «innovación abierta», concepto que propuso Henry Chesbrough (2003) para caracterizar a un sistema en el que participan personas tanto dentro de una organización como en el exterior con el fin de mejorar las ventajas comparativas y lograr un éxito mayor en menos tiempo y con un costo menor. En el modelo mexicano, esta idea se transforma en la de innovación soberana para el bienestar (ISPB), la cual considera que todos los actores que están involucrados en el ecosistema de la innovación a escala local, regional y nacional, sobre todo en la academia, el gobierno, la iniciativa privada, la sociedad y el ambiente, podrán generar soluciones que tengan un impacto directo en el bienestar social.

Para que funcione adecuadamente la ISPB se vuelve esencial fomentar una cultura de colaboración y confianza que garantice que los avances científicos, tecnológicos e innovadores desarrollados con fondos públicos sean accesibles para todos y todas. De allí que, para alcanzar una colaboración efectiva, desempeñen un papel crucial los mecanismos de propiedad intelectual, los cuales no se descartan en el sistema de ISPB, sino que se utilizan para generar valor por medio de acuerdos de licencia u otros instrumentos de protección del conocimiento en los que el Estado tenga los derechos, una cuestión primordial para asegurar que el país pueda beneficiarse de las ideas y los descubrimientos.



Modelo mexicano actual

El esquema de propiedad intelectual protege los resultados, las investigaciones y los desarrollos tecnológicos. Además, facilita la transferencia tecnológica desde la academia hacia el sector productivo o el gobierno, para transformarse en nuevos productos, procesos o servicios que contribuyan al bienestar de la sociedad y, con ello, generar recursos que puedan reinvertirse en el ámbito de las humanidades, ciencias, tecnologías e innovación (Figura 1).

En el modelo mexicano de ISPB, los actores del ecosistema comparten conocimientos y recursos en investigación y desarrollo tecnológico para la innovación, por lo que es funda-

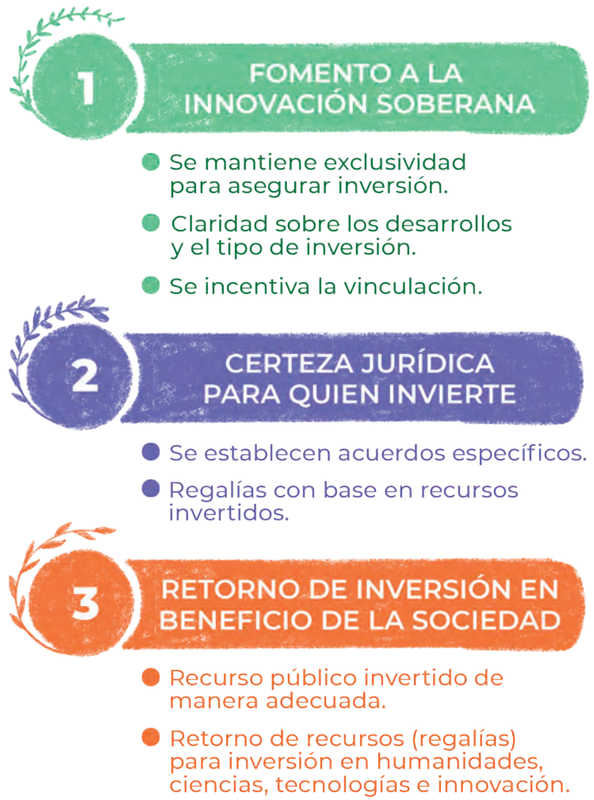


Figura 1.
Modelo de propiedad intelectual en el sistema de innovación soberana para el bienestar.
Fuente: adaptado de Conahcyt (2023).

mental proteger la generación de conocimiento por medio de figuras de propiedad intelectual. Esto, a su vez, constituye uno de los retos más importantes dada la complejidad de la gestión de proyectos colaborativos para el desarrollo tecnológico y la innovación. La propiedad intelectual, como patentes de invención, modelos de utilidad, diseños industriales y registros de programas de cómputo o bases de datos, ofrece certidumbre y solidez en los procesos de transferencia tecnológica e inversión.

Antes, el Estado financiaba la generación de conocimiento, pero la propiedad intelectual del desarrollo tecnológico e innovación que se lograban con dichos recursos pertenecía a las entidades que las llevaban a cabo, sin que esto asegurara su aprovechamiento. Ahora se promueve la participación del Estado para cuidar que la propiedad intelectual pueda aprovecharse en beneficio de la población y genere un retorno para la sociedad. No obstante, si bien el Estado invierte recursos para impulsar la producción de conocimiento, requiere del apoyo de la industria para transformarlo en innovaciones tangibles que beneficien a la sociedad con base en dichos títulos de propiedad intelectual (Figura 2).

Beneficio social

Para garantizar que la propiedad intelectual que se desarrolle con recursos públicos tenga impactos sociales positivos e impulse la incorporación de tecnología al sector productivo, además de asegurar que las derramas de beneficio social se queden en el país, el PNI promueve el uso de herramientas adecuadas que contribuyen a incentivar la generación y protección de invenciones hechas por mexicanas y mexicanos.

En conclusión, para resarcir los daños del enfoque neoliberal, el PNI promueve el modelo mexicano de ISPB, en el que la colaboración y la protección del conocimiento permiten el acceso equitativo a los avances científicos y tecnológicos desarrollados con recursos públicos. La intención es regular, favorecer y asegurar que los beneficios de las invenciones mexicanas se queden en el país y tengan impactos sociales positivos.

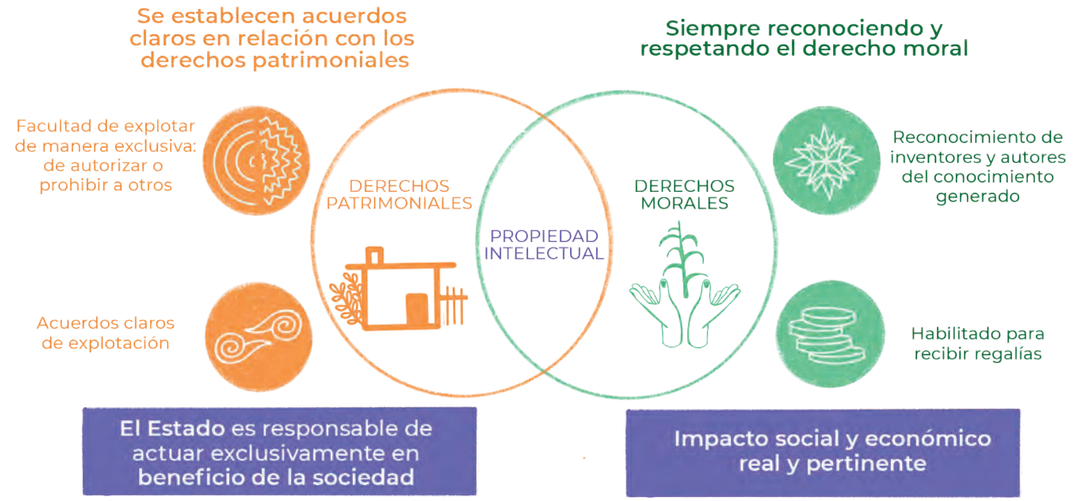


Figura 2.
Modelo de propiedad intelectual. Fomento y seguimiento del Estado.
Fuente: adaptado de Conahcyt (2023).

Referencias

Chesbrough, H. (2003). *Open Innovation: the new imperative for creating and profiting from technology*. Harvard Business School Press.

Conahcyt. (2023, 28 de noviembre). Aviso por el que se da a conocer el Plan Nacional para la Innovación, mandatado en el Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024. *Diario Oficial de la Federación*. https://dof.gob.mx/nota_detallephp?codigo=5709686&fecha=28/11/2023#gsc.tab=0

Hennessey, M. (2023, 21 de septiembre). Competitividad e innovación para impulsar un futuro más verde en América Latina y el Caribe. *Puntos sobre la i*. https://blogs.iadb.org/innovacion/es/competitividad-e-innovacion-para-impulsar-un-futuro-mas-verde-en-america-latina-y-el-caribe/

Estrategia digital para México: «Internet para todos»

Carlos Emiliano Calderón Mercado
Coordinador de Estrategia Digital Nacional de la Oficina de la Presidencia de la República.

En México, el desarrollo de las telecomunicaciones ha experimentado transformaciones significativas a lo largo de su historia. Su control transitó por instituciones públicas y privadas, nacionales y extranjeras, incluida la creación de la empresa Teléfonos de México, su nacionalización y su privatización. Además, el panorama actual es complejo, caracterizado por una gran diversidad de actividades económicas, diferencias socioculturales y distintos niveles de penetración tecnológica. Por ello, la búsqueda por la igualdad en el acceso a la comunicación y conectividad

para toda la sociedad persiste como un objetivo prioritario a favor del desarrollo del país.

El acceso, uso y apropiación social de tecnologías como internet son pilares fundamentales para contar con un recurso de primera categoría: la información, la cual, con los medios necesarios, les permite a las personas tomar decisiones sustentadas y participar de manera activa en el desarrollo de las sociedades. No obstante, los estudios acerca de las barreras de acceso y hábitos de uso de internet en México señalan que las principales dificultades radican en la falta de cobertura, las conexiones lentas y los altos costos, lo que genera una profunda brecha digital.

Durante tres décadas de política neoliberal, no sólo se privatizó la principal empresa de telecomunicaciones en el país, lo cual fue crucial porque eliminó la capacidad del Estado para garantizar el acceso universal a estas tecnologías y socavó su papel como protector de los derechos tecnológicos de la ciudadanía, sino que también el gobierno invirtió en infraestructura, pero sin planeación y con un diseño inadecuado. Por otro lado, la omisión de factores sociales clave, como la comunicación, puesta en manos de empresas privadas, permitió que en mayor medida se priorizaran áreas con potencial lucrativo (donde hay un retorno de inversión). Todo esto amplió la brecha digital y la marginación de millones de mexicanas y mexicanos, pues se descuidaron las necesidades de gran parte de la población y se crearon desigualdades digitales y sociales al dejar sin conexión a las regiones menos pobladas, más remotas y mayormente empobrecidas.

«Internet para todos»

Es esencial comprender la estrecha relación entre la tecnología y las estructuras sociales y económicas, lo que resalta la necesidad de establecer políticas que garanticen un acceso equitativo para toda la ciudadanía, en lugar de priorizar intereses privados. Para atender esta situación, el gobierno federal puso en marcha «Internet para todos», un proyecto nacional de conectividad en el que participan diversos organismos, empresas e instituciones con el objetivo de brindar acceso a internet y telefonía en todo el país, especialmente en las comunidades históricamente excluidas (Figura 1).

México tiene una notable diversidad cultural y geográfica, con una población cercana a 126 millones en una extensión territorial de casi dos millones de kilómetros cuadrados. En términos generales, el 20 % del territorio alberga al 80 % de la población. Aproximadamente 26 millones de personas residen en unas 150 000 localidades dispersas, mientras que los restantes 100 millones de habitantes se distribuyen en unas 39 000 ciudades, las cuales suelen estar considerablemente alejadas de las comunidades más pequeñas. Esta distribución demográfica presenta varios escenarios complejos respecto a la infraestructura de telecomunicaciones, ya que conectar a las zonas urbanas implica desafíos muy distintos a los de llevar la infraestructura a áreas extremadamente remotas y de difícil acceso.

De esta manera, el proyecto de conectividad en México «Internet para todos» enfrenta desafíos importantes, especialmente debido a la dispersión de la población en

Figura 1.
Adulta mayor utilizando los servicios de telefonía móvil de la Comisión Federal de Electricidad-Telecomunicaciones e Internet para Todos (CFE-TEIT), en San Andrés Yaá, Oaxaca.
Fuente: adaptación de fotografía del archivo CFE-TEIT.

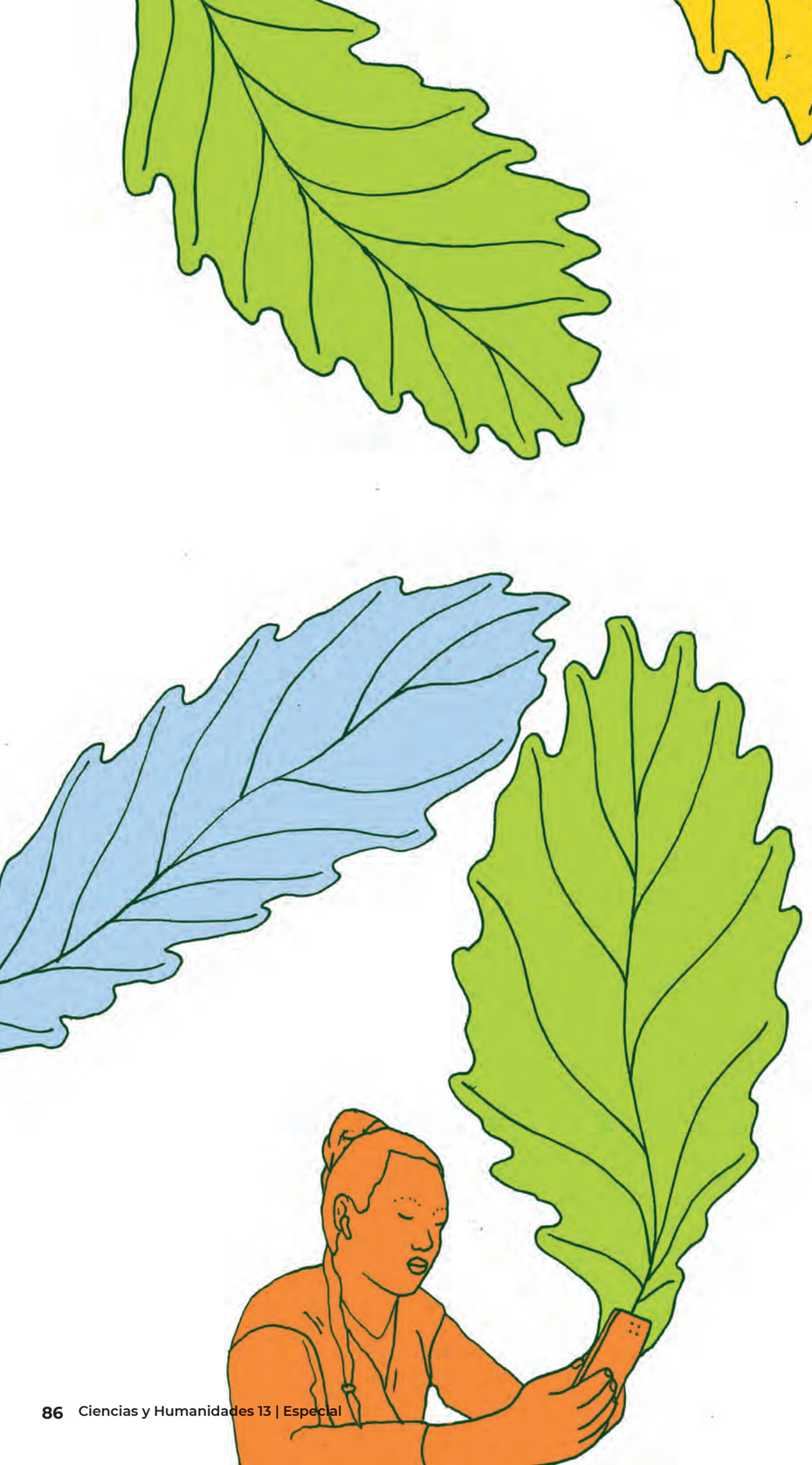


Figura 2.
Personas utilizando un punto de acceso gratuito en Cardonal, Hidalgo.
Fuente: adaptación de fotografía del archivo CFE-TEIT.

áreas muy alejadas. En una geografía tan diversa y extensa, muchas comunidades se encuentran distantes de los centros urbanos y de los servicios básicos, incluido el de la conectividad digital. Esto dificulta enormemente la tarea de llevar herramientas tecnológicas para conectar a todas las regiones.

A pesar de ello, se ha logrado establecer la cobertura, con operadores comerciales y gubernamentales, en 117 471 localidades de los 32 estados de la República, lo que representa el 95.2% de cobertura poblacional. De estas localidades, 93 794 que antes de la implementación de esta estrategia estaban completamente incomunicadas ahora cuentan con los servicios proporcionados por la empresa subsidiaria Comisión Federal de Electricidad-Telecomunicaciones e Internet para Todos (CFE-TEIT). Como parte de este gran despliegue, también se tienen 97 000 puntos de acceso a internet gratuito que le dan servicio a la población en plazas y edificios públicos de todo el territorio nacional, y un gran número de ellos se encuentran en comunidades alejadas (Figura 2).

De igual manera, en esta administración se ha construido una red de fibra óptica de alta capacidad (Figura 3) con cobertura en todo el país, incluso en los municipios más remotos que actualmente carecen de este servicio. Es una red de transporte esencial para manejar grandes cantidades de datos que después son distribuidos a las y los usuarios finales por medio de la llamada «última milla», la cual se refiere al último trayecto de la entrega del servicio, que va desde los nodos de gran capacidad hasta las personas que se conectan a internet por medio de dispositivos electrónicos. Una parte importante de esta red

de datos queda instalada en los cables de guarda de las torres de alta tensión de la CFE.

Beneficios al ampliar la cobertura

En la actualidad, el progreso social está cada vez más vinculado al grado de avance de la infraestructura de telecomunicaciones de un país. Este sector es uno de los motores más importantes de la economía; sin embargo, la infraestructura aún implica retos significativos, que se podrán materializar sólo bajo un esquema legal favorable. Por ello, alcanzar la cobertura universal en telecomunicaciones es un objetivo clave para los países de la región.

En México, la *Encuesta Nacional sobre Disponibilidad y Uso de Tecnologías de la Información en los Hogares* (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2022) estimó que, en 2022 (a dos años del inicio de «Internet para todos»), el 83.8% de la población de seis años o más en el ámbito urbano utilizó internet, mientras que en las localidades rurales, usó dicha herramienta el 62.3% del mismo grupo poblacional. Esto representa un crecimiento del 7.2% en las áreas urbanas y del 14.6% en las rurales.

Así, la implementación de esta estrategia se ha dirigido a los sectores de la ciudadanía que padecen los efectos de la brecha digital y su consecuente exclusión social. Para ello, ha estado caracterizada por una mejor asignación de los recursos: mediante la entrega directa y sin intermediarios de las soluciones a estas carencias para la población beneficiada y, por lo tanto, con un esquema libre de corrupción. En este punto, el papel del Estado se hace patente debido a su enfoque en las necesidades sociales en materia de tecnologías de la información y la comunicación, con el objetivo de alcanzar el bienestar para la sociedad en su conjunto sin dejar atrás a nadie y a ninguna persona afuera.

Figura 3.
Personal de CFE Distribución tendiendo fibra óptica en Boca del Río, Veracruz.
Fuente: adaptación de fotografía del archivo CFE-TEIT.

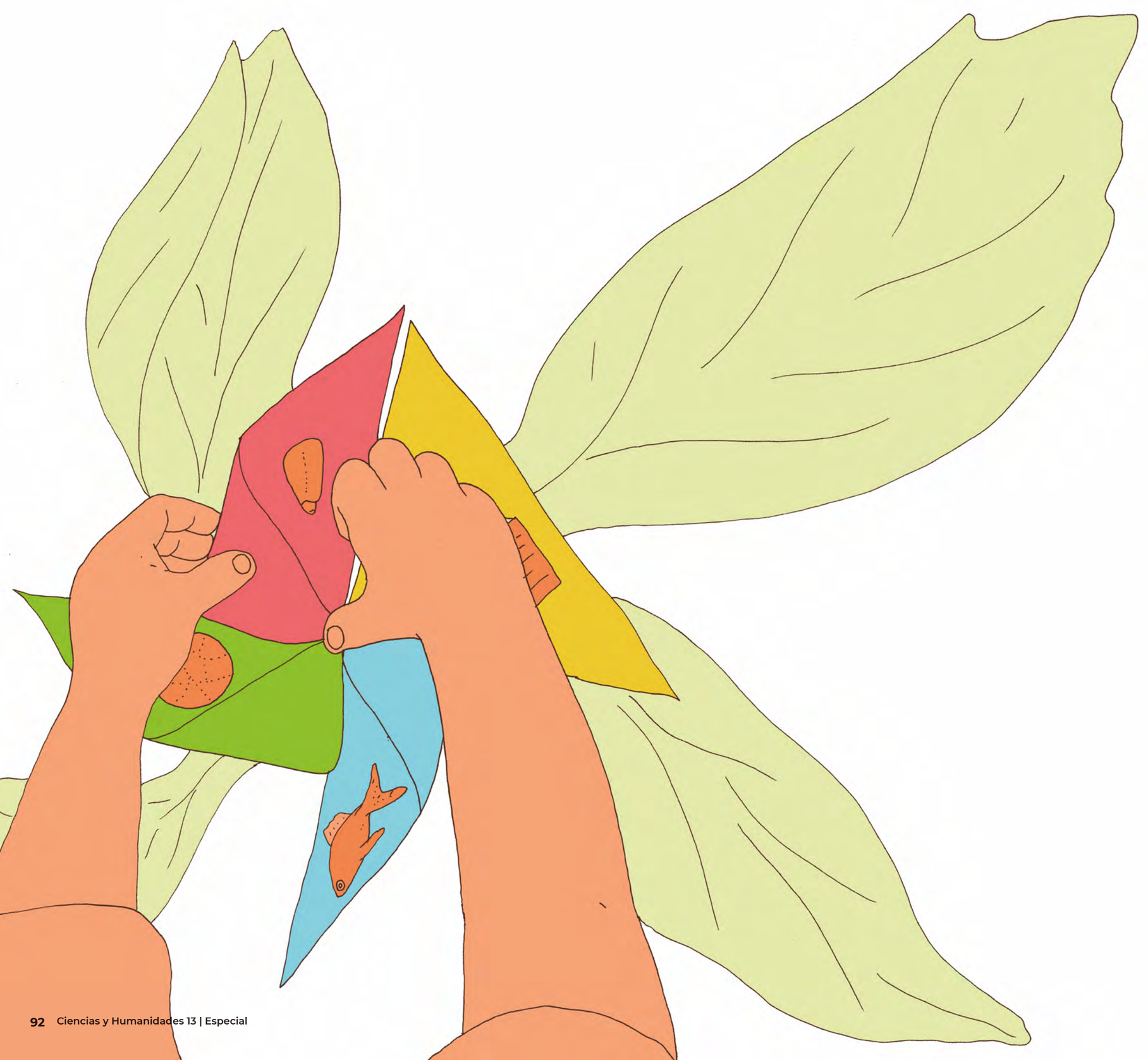
Referencias

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2022). *Encuesta Nacional sobre Disponibilidad y Uso de Tecnologías de la Información en los Hogares (ENDUTIH) 2022*. https://www.inegi.org.mx/programas/dutih/2022/

Plan Nacional para la Innovación:

su perspectiva social

Gabriela Sánchez Gutiérrez
Directora general del Instituto de Investigaciones Dr. José María Luis Mora.



El Plan Nacional para la Innovación (PNI), formulado por el Conahcyt y mandatado en el Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024, constituye una respuesta clara ante una concepción de innovación que durante varias décadas fincó sus fundamentos en una visión de productividad y competitividad que esencialmente benefició al mercado y a las políticas económicas que no hicieron más que incrementar la pobreza y la desigualdad entre la población. Con base en un esquema de colaboración intersectorial, denominado pentahélice, involucra la participación de cinco actores fundamentales: academia, gobierno, industria, sociedad y ambiente, para solucionar una problemática común desde diversas perspectivas y considerando múltiples dimensiones del desarrollo para avanzar hacia una visión amplia, integral y compleja de dichas situaciones.

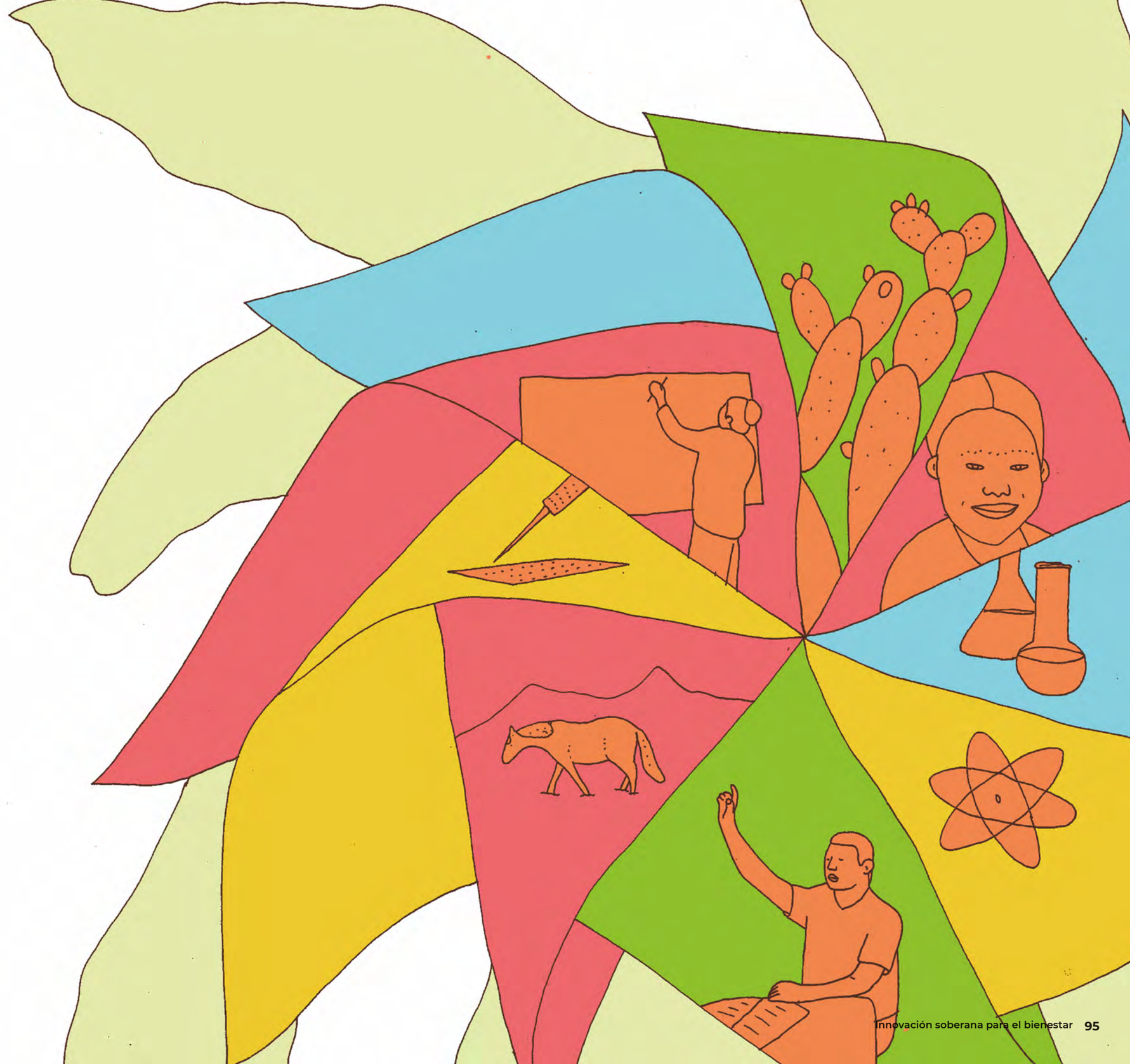
Con lo anterior, el PNI aporta elementos fundamentales para profundizar en la reflexión sobre la innovación, ya que plantea, entre otras cosas, que sus objetivos deben tener una alta incidencia social, lo cual invita a pensar que no toda innovación es sinónimo de mejora, o que el progreso tecnológico no necesariamente se traduce en avances sociales. Es decir, es necesario romper con la inercia y la lógica incremental según la cual todo cambio es mejor que lo anterior, y así sucesivamente. Un claro ejemplo de ello

está en las pequeñas modificaciones o «innovaciones» en los teléfonos celulares y en los medicamentos, que no hacen más que prolongar la exclusividad de las patentes o beneficiar a la industria farmacéutica. Luego entonces, innovación tecnológica no significa automáticamente mejoría social, y de eso hay muchos ejemplos.

Cabe destacar que el PNI propone «objetivos de innovación con alta incidencia social que permitan la reconstrucción de bases sólidas, que deriven en la generación de conocimiento útil y desarrollos tecnológicos de vanguardia, sostenibles ambientalmente, que apoyen a las nuevas políticas de Estado, las cuales velan por el interés público y el bien común» (Conahcyt, 2023, p. 12). En términos prácticos, esto significa colocar en el centro de todas las actividades innovadoras el bienestar de las personas y buscar transformaciones que mejoren su calidad de vida.

Innovación social

La premisa principal de este artículo es que la innovación debe pensarse, de manera integral, analizando simultáneamente los aspectos tecnológicos, ambientales, económicos, culturales y éticos de sus consecuencias en la población. De esta perspectiva es pertinente retomar la noción de innovación social, que contempla to-



das las dimensiones arriba señaladas y que fue definida por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) como «nuevas formas de gestión, de administración, de ejecución, nuevos instrumentos o herramientas, nuevas combinaciones de factores orientadas a mejorar las condiciones sociales y de vida en general de la población de la región» (CEPAL, s. f.).

Hay una multiplicidad de temas, propuestas, soluciones, políticas y contextos culturales que dan lugar a muy diversas formas de innovación social. En todas ellas, el componente de la participación de una amplia variedad de actores es indispensable para poder sustentar las iniciativas sociales transformadoras. De ahí la pertinencia del esquema de la pentahélice y del modelo de innovación soberana para el bienestar, propuesto en el PNI, pues implica que participen activamente la academia, el gobierno, la iniciativa privada y la sociedad en un contexto en que el cuidado del ambiente es crucial.

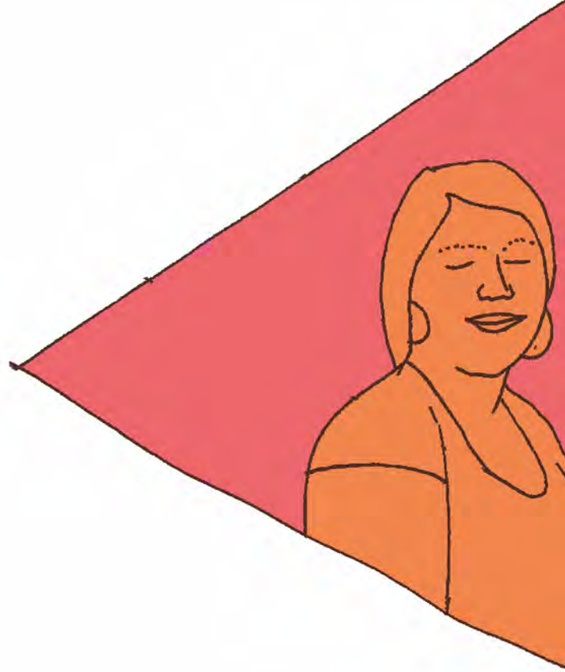
En este marco de alianzas, basadas en la coinversión de recursos de diversa índole, pueden lograrse transformaciones profundas generadoras de nuevos paradigmas en búsqueda del bien común. En este orden de ideas, retomo también la definición de la Stanford Graduate School of Business sobre innovación social: «una solución nueva a un problema social, la cual es más efectiva, eficiente, sustentable o justa que la solución actual [y] cuyo valor agregado aporta principalmente a la sociedad como un todo en lugar de únicamente a los individuos» (citado en EcoEmprende, s. f.).

La innovación social supone una serie de características que sintetizo en la tabla 1 tomando en consideración la visión de algunos autores.

Desde esta perspectiva, en la medida en que el quehacer de la ciencia y la tecnología tome en consideración el conjunto de características señaladas, será posible contribuir de una manera sustantiva y tangible a la atención de muy diversas problemáticas que enfrenta la sociedad mexicana, como la criminalidad, la violencia, la impartición de justicia, la soberanía alimentaria, la salud, entre otras, mediante el uso de la ciencia de datos y de sistemas informáticos diversos.

Implementación de la innovación social

Cabe señalar que la innovación social no es algo nuevo, pues se manifiesta de forma permanente por todo el país en múltiples iniciativas que surgen para resolver problemas de diversa índole en los ámbitos comunitario, local, estatal o regional, así como en el diseño de políticas públicas para el desarrollo social. Sin embargo, la desarticulación de estas iniciativas con los de-



Características	Autoría
Debe ofrecer una solución para un problema social, ambiental o cultural, de forma novedosa y más efectiva, eficaz, sostenible o justa que las medidas existentes. Además de contribuir a la solución del problema, debe generar nuevas formas de relaciones sociales y de sinergias entre actores.	Villa y Melo, 2015, citado en Lujan Monja, 2023
Provoca un impacto y la transformación social.	EcoEmprende, s. f.
Contempla las dimensiones medioabiental, económica, ética y cultural. Lo social implica estas cuatro dimensiones de manera integral.	Carazo Alcalde, 2018
La solución debe ser escalable y replicable en otros contextos y regiones.	
Implica una visión sostenible y de largo plazo.	Villa y Melo, 2015, citado en Lujan Monja, 2023
La innovación puede tomar la forma de producto, proceso, tecnología, regulación, intervención o movimiento social.	
Puede provenir de cualquier sector de la sociedad: público, privado, académico, comunitario, ciudadano.	
Busca el beneficio de la sociedad antes que el del desarrollador o financiador de la solución. Se contribuye e implementa a partir de relaciones horizontales entre el proveedor de la solución y la comunidad que la recibe.	

Tabla 1.
Características de la innovación social.
Fuente: elaboración propia con base en Lujan Monja (2023), Carazo Alcalde (2018) y EcoEmprende (s. f.).

sarrollos científicos y tecnológicos no sólo ha retrasado la emergencia de políticas públicas más atinadas, sino que ha favorecido el abordaje sectorial y segmentado de los problemas de la sociedad, por lo que inhibe la implementación de soluciones integrales para atender los asuntos estructurales.

Así, la noción de innovación abierta propuesta en el PNI implica que los distintos agentes «participan en el proceso de innovar y mejoran ventajas comparativas, disminuyendo costos y tiempos e incrementando las posibilidades de éxito para todos los actores involucrados» (Conahcyt, 2023, p. 19). Esto contribuirá al crecimiento socioeconómico del país y a disminuir sustancialmente las brechas de desigualdad que privan en la sociedad.

Por todo lo anterior, las metas prioritarias del PNI son: el impacto positivo del conocimiento desarrollado y protegido en la vida de la sociedad mexicana; el incremento de empresas con base científica y tecnológica que operen en función de las prioridades del país; y, por supuesto, el logro de resultados por medio de proyectos relevantes y empresas vinculadas a las necesidades nacionales. Finalmente, dos aspectos importantes para implementar con éxito el PNI son la consulta informada a los diversos actores que están involucrados en los desarrollos científicos, tecnológicos y sociales, así como las estrategias de comunicación social que permitan dar a conocer las iniciativas, proyectos y desarrollos innovadores en beneficio del público.

Referencias

Carazo Alcalde, J. (2018). Innovación social. *Economipedia*. https://economipedia.com/definiciones/innovacion-social.html

Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL]. (s. f.). *Acerca de Innovación Social*. https://www.cepal.org/es/temas/innovacion-social/acerca-innovacion-social

Conahcyt. (2023). *Plan Nacional para la Innovación mandatado en el Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024*. https://conahcyt.mx/wp-content/uploads/conacyt/desarrollo_tecnologico_vinculacion_innovacion/PNi_final_26oct2033_2.pdf

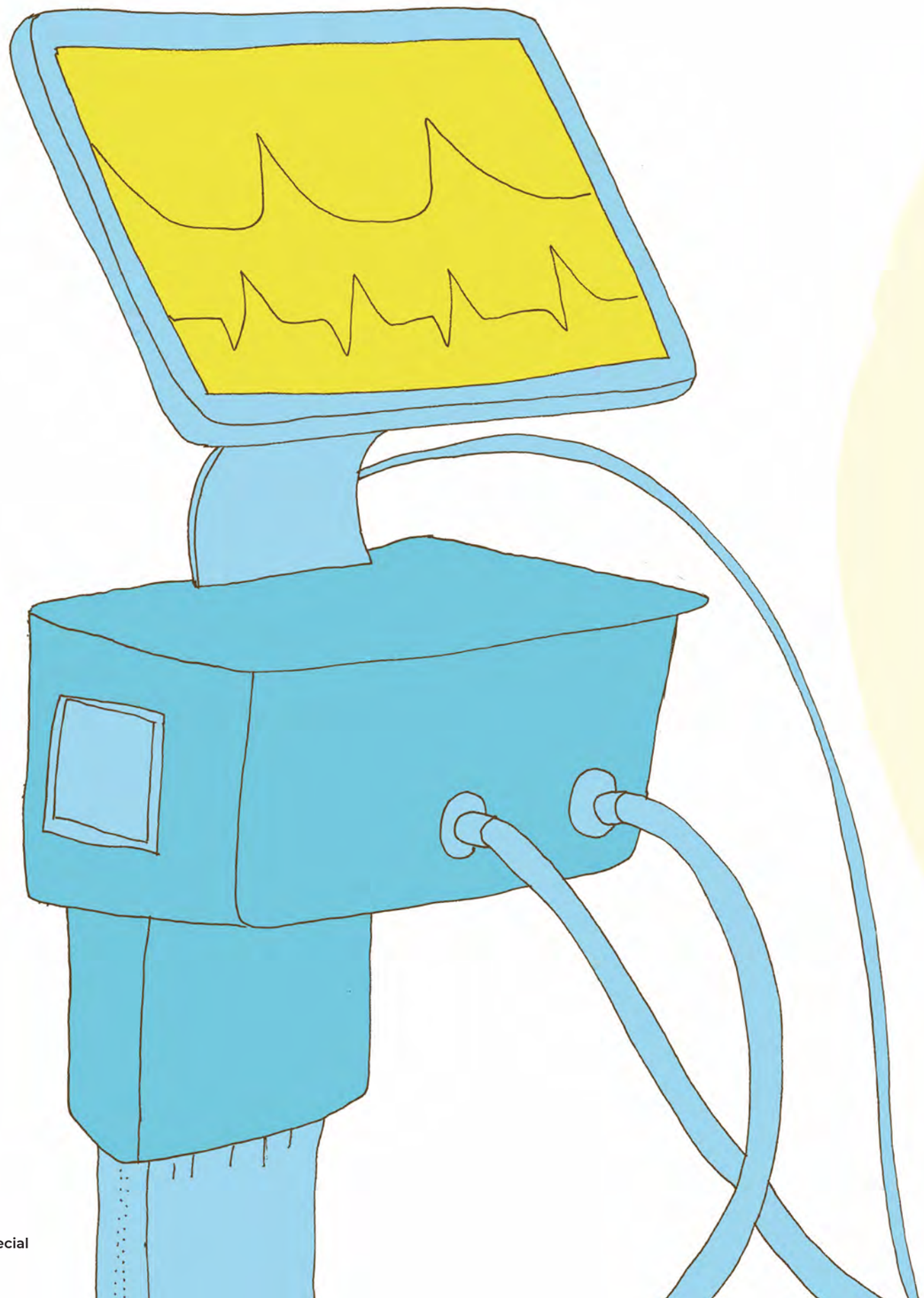
EcoEmprende. (s. f.). *Innovación Social: qué es y ejemplos*. https://www.ecoemprende.com/innovacion-social/

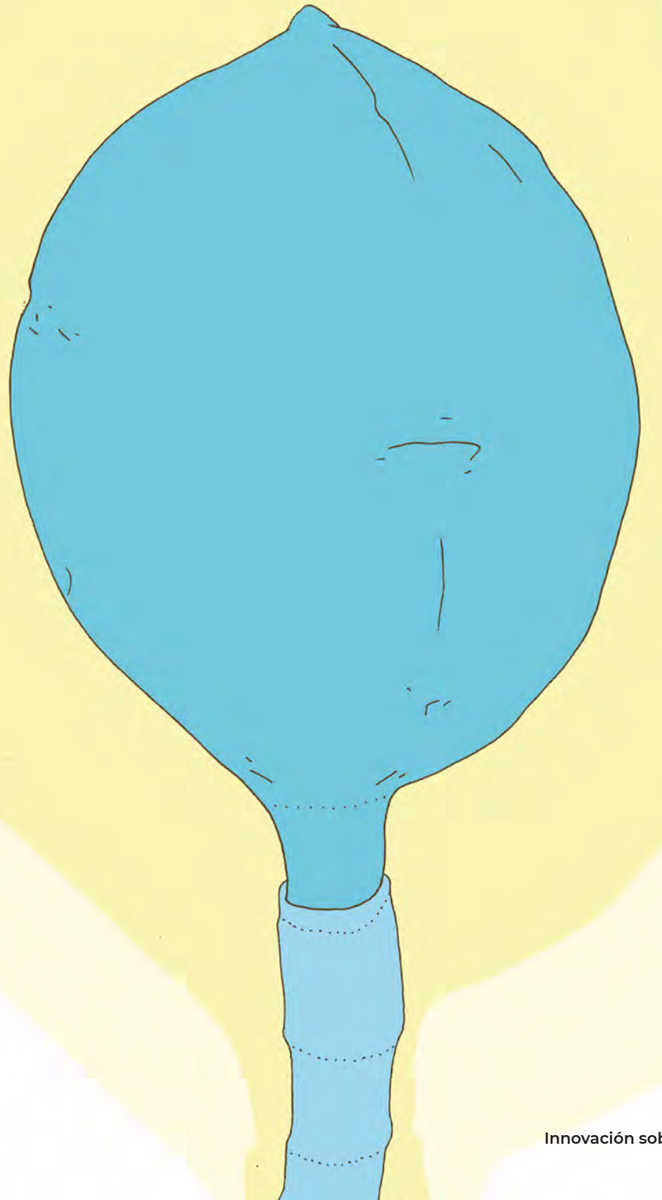
Lujan Monja, M. (2023, 1 de septiembre). *Innovación social: Definición, características y ejemplos*. Innovar o morir. https://innovaromorir.com/innovacion-social-definicion-caracteristicas-ejemplos/

Ehécatl 4T v2.0

y la Escuela Mexicana de Ventilación

José C. Pineda Castillo
Director general del Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial.





La hazaña de los ventiladores mexicanos

La pandemia de covid-19 demostró lo importante que es la soberanía tecnológica en áreas estratégicas para el país, especialmente en el cuidado de la salud. Sin embargo, los ventiladores mecánicos se volvieron equipos médicos limitantes, dado que la demanda creció muy por encima de la disponibilidad mundial. El presidente de la República en funciones, Lic. Andrés Manuel López Obrador, coordinó personalmente los esfuerzos para atender la pandemia, con el fin primordial de salvar vidas. Encargó al entonces Conacyt a embarcarse en el diseño, desarrollo de prototipos y producción de ventiladores mexicanos.

Lo que generalmente tarda entre cinco y diez años tomó unos cuantos meses; en tiempo récord y en medio de la pandemia, se tuvieron más de 1 000 ventiladores mexicanos de dos modelos y quedaron instalados en más de 90 hospitales públicos. Estos ventiladores han dado atención durante más de 1.5 millones de horas-paciente a personas con insuficiencia respiratoria. Por ejemplo, en un hospital del Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado en Tláhuac (Figura 1) se instaló una unidad de ventiladores Ehécatl 4T en su primera versión (v1.0) para auxiliar a una gran cantidad de pacientes con covid-19 durante la crisis sanitaria.

El diseño, desarrollo y producción industrial de los ventiladores mexicanos es una clara prueba del potencial que tiene nuestro país para volverse soberano en la generación de tecnologías para el bienestar de toda la población. Además, el modelo de articulación virtuosa junto con la suma de capacidades científicas, tecnológicas y de las entidades públicas llevaron a cristalizar las metas en un periodo muy corto, en comparación con los tiempos que normalmente toman estos procesos, incluso en países muy tecnificados. Asimismo, dieron cuenta de la gran infraestructura instalada que tenemos en México para poder participar en este tipo de iniciativas con metas muy claras. Por lo tanto, esta experiencia constituye una prueba de principio valiosa que puede usarse como referencia para enfrentar otros retos prioritarios en el país y lograr una generalizada soberanía tecnológica en campos estratégicos para México. En este sentido, el actual Sistema de Centros Públicos y su Coordinación de Desarrollo Tecnológico e Ingeniería, con respaldo en la Ley General en materia de Humanidades, Ciencias, Tecnologías e Innovación, constituye un instrumento poderoso del Estado que puede fortalecerse y articularse, aún más, conforme a las demandas prioritarias del país.

En medio de la crisis sanitaria se decidió diseñar y desarrollar un ventilador con la tecnología estándar

Figura 1.
Ventiladores Ehécatl 4T v1.0 instalados en un hospital en Tláhuac.
Fuente: adaptación de fotografía del archivo Conahcyt.

(Gätsi) y otro con una tecnología propia e innovadora (Ehécatl 4T), que implicara mejoras disruptivas en términos de la seguridad y la minimización de impactos negativos en el epitelio pulmonar de los pacientes, así como ventajas en la eficacia del soporte ventilatorio que provee. El primero, Gätsi, que puede asistir tanto a personas adultas como a pacientes pediátricos, ha sido comparado con los ventiladores mejor catalogados en el mundo, con resultados de rendimiento y seguridad equivalentes –y en algunos casos ligeramente mejores– que los referentes internacionales. Este ventilador recibió su registro ante la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (Cofepris) y está en producción en la planta industrial de Serimédica de México, SAPI de CV, que ahora es parte de InnovaBienestar, empresa de un centro público del Conahcyt.

Por otra parte, durante la pandemia de covid-19 la Cofepris también aprobó el Ehécatl 4T, dado que resultó muy útil para atender a personas con deficiencia respiratoria. De este ventilador, 210 unidades se quedaron instaladas en 13 entidades federativas, incluida la Ciudad de México, y operan en 28 hospitales públicos. Además, el gobierno de México donó 150 ventiladores Ehécatl 4T v1.0 a Cuba, en donde 120 actualmente están en uso.

Ehécatl 4T es un ventilador que tiene isomorfia estructural con el pulmón y un sistema mecánico y de control automático que le permite adaptarse en tiempo real a las condiciones de los pulmones de la persona tratada. Un isomorfismo es una relación estructural entre sistemas u objetos de una categoría, de ahí que dos sistemas son isomorfos si ambos poseen las mismas propiedades matemáticas derivadas de sus características físicas, y una función computable (calculable, decidible) que establece una relación entre los dos. Esto no significa que ambos sistemas y sus estructuras sean iguales, similares o idénticas. Cuando construimos un modelo matemático para analizar algún sistema dinámico compuesto por dos sistemas dinámicos, por ejemplo, el del ventilador conectado invasivamente a los pulmones de un paciente, se plantea una pregunta importante: ¿qué tan complejo deberá ser un isomorfismo entre ambos sistemas dinámicos? Es un problema claramente difícil, pero, una vez resuelto, su solución aporta beneficios al conocimiento de estos sistemas y, como en nuestro caso, aporta beneficios prácticos clínicos al paciente, como se apreciará en lo que sigue de este artículo.

A diferencia del resto de los ventiladores, el mexicano –cuyo nombre quiere decir «dios del viento» en náhuatl– no fija solamente un régimen de presión/volumen calculado con base en modelos lineales, según el peso, la edad y el sexo de las y los pacientes, sino que se adapta de manera robusta, dinámica y no lineal a las condiciones elásticas de los pulmones de las personas atendidas (Pineda Castillo, 2024). Esto implica un apoyo más fisiológico, eficiente y con menos daños causados a los epitelios de los pulmones. No obstante, la primera versión de este ventilador innovador no incluía aún el régimen para pacientes pediátricos, así que, además de integrar esta importante capacidad, en el ventilador Ehécatl 4T v2.0 (VE4T v2.0) se incluyeron destacadas disrupciones tecnológicas y bondades médicas, las cuales resumimos en este artículo y ampliaremos en un libro que está próximo a publicarse en colaboración con el Fondo de Cultura Económica, como parte de la colección Ciencias y Humanidades para México.

En el presente texto sintetizamos las bases técnicas de la disrupción tecnológica implicada en el desarrollo del ventilador mecánico Ehécatl 4T, que se ha consolidado y sofisticado en su segunda versión: VE4T v2.0. Este caso es un referente para seguir en términos del desarrollo tecnológico y la innovación soberana para el bienestar de México, ya que se partió de investigación científica de frontera, se hicieron aportes novedosos a los modelos matemáticos que sustentan la tecnología de ventilación mecánica invasiva y, con ello, se generó conocimiento nuevo desde nuestra nación, además de que se rompieron los paradigmas imperantes en los modelos que sustentan la ventilación mecánica invasiva. Asimismo, se aplicó

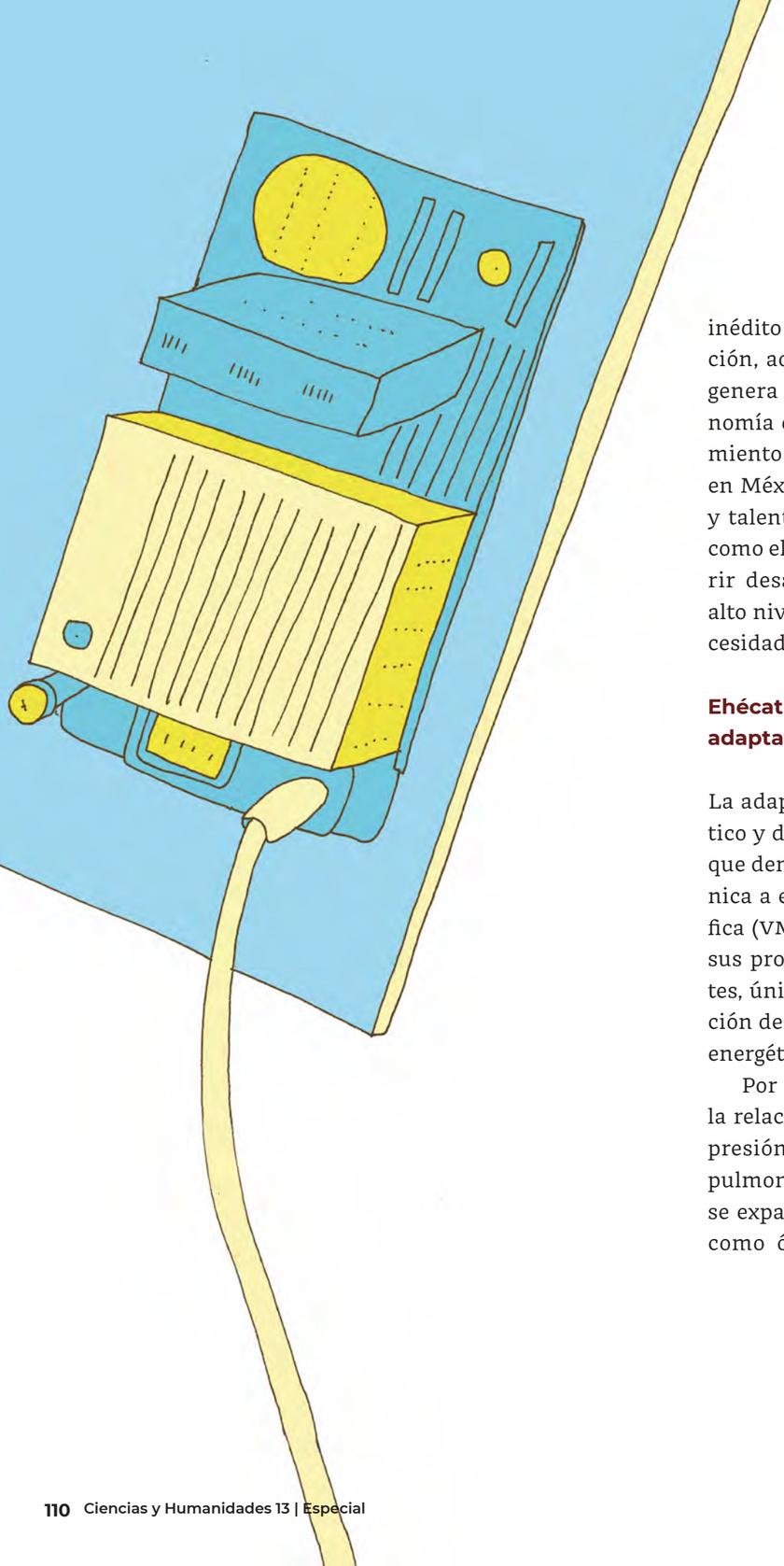
este conocimiento y el nuevo modelo matemático resuelto de manera analítica, así como simulaciones en pulmones artificiales, para diseñar la ingeniería con mayor detalle del nuevo VE4T v2.0. También, se planeó que se pueda fabricar en México, para lo cual más del 90 % de las partes se han desarrollado en el país, y se ha transferido la tecnología a InnovaBienestar de México, SAPI de CV (Figura 2), certificada por la Cofepris con los estándares de calidad más exigentes a nivel nacional e internacional, con lo que se podrá producir a escala industrial. Finalmente, en México se tendrán

Figura 2.
Instalaciones de Instalaciones de DTM Tecnologías, S.A. de CV.
Fuente: adaptación de fotografía del archivo Conahcyt.

las capacidades científicas y técnicas instaladas para poder dar mantenimiento y continuar actualizando este equipo, acorde con las necesidades nacionales, a costos mucho menores (50-60 % más bajos) en comparación con las compras en el exterior, con lo cual se busca obtener retornos de valor a favor del erario y fortalecer las capacidades industriales con base científica y tecnológica del país, que, entre otras cosas, abren oportunidades laborales para muchas personas con talentos especializados.

Con todo ello, se da cuenta de un nuevo modelo mexicano de innovación soberana para el bienestar que es ejemplar, sobre todo en un área prioritaria, como la salud. Además, la propiedad intelectual implicada en el desarrollo de este innovador ventilador pertenece al Estado mexicano y siempre se darán los créditos que correspondan a los desarrolladores involucrados en la hazaña tecnológica, cuyas bases técnicas disruptivas describimos aquí. En pocas palabras, se muestra cómo es factible lograr un modelo de innovación eficiente con grandes retornos y beneficios para el país, en contraste con el modelo neoliberal, que conllevó cuantiosas transferencias a la iniciativa privada, a fondo perdido, con dispendios y sin frutos a favor de la eficiencia de innovación en México.

De este modo, el diseño, desarrollo y pruebas del VE4T v2.0 se hicieron con financiamiento y coordinación del Conahcyt en el Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial (Cidesi), con la participación científica y sustantiva, así como el liderazgo técnico, de las personas titulares de ambas instituciones. Las pruebas clínicas y el escalamiento industrial se llevarán a cabo en Serimédica de México, SAPI de CV, que es parte de InnovaBienestar, en donde participa de manera minoritaria una pequeña empresa mexicana que ha aportado sus activos para fortalecer la capacidad industrial del país a favor del interés general. De esta manera, también resulta un caso ejemplar de desarrollo tecnológico disruptivo que, mediante un novedoso modelo de alianzas con entidades privadas, garantiza la posibilidad de producción y comercialización de los nuevos equipos. Con este



inédito modelo mexicano de innovación, además de forjar soberanía, se genera valor y se robustece la economía del país a partir del fortalecimiento de los medios de producción en México, la generación de empleos y talentos altamente calificados, así como el ahorro al momento de adquirir desarrollos prioritarios del más alto nivel, pertinentes a nuestras necesidades y con costos más bajos.

Ehécatl 4T: el primer ventilador adaptativo del mundo

La adaptación es el rasgo característico y de innovación disruptiva de lo que denominamos ventilación mecánica a energía de insuflación específica (VMEIE) del VE4T v2.0. Otras de sus propiedades también importantes, únicas y medibles son la adaptación de la compliancia y el equilibrio energético (Pineda Castillo, 2024).

Por definición, la compliancia es la relación entre el incremento de la presión y el aumento del volumen pulmonar. Es la facilidad con la que se expanden los pulmones y el tórax como órganos elásticos. Una compliancia reducida indica que es necesaria una mayor presión para producir incrementos de volumen, como ocurre en la fibrosis y el edema pulmonar; mientras que una compliancia aumentada indica la falta de retroceso elástico, como ocurre en el enfisema pulmonar.

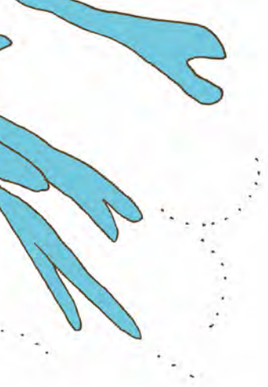
Las dos propiedades mencionadas del VE4T v2.0 (la adaptación de la compliancia y el equilibrio energético) forman parte de un mismo proceso y conducen a resolver varios problemas que en el ámbito de la ventilación mecánica habían permanecido abiertos, sin poderse resolver durante más de 50 años en ninguna parte del orbe. Con respecto al pulmón del paciente ventilado, los problemas que resuelve la VMEIE del VE4T v2.0 son:

- La evolución cuantitativa de la energía termoelástica y del umbral de energía antes del daño.
- La evolución cuantitativa de la compliancia cuasiestática y dinámica.
- La capacidad volumétrica con respecto al valor de la compliancia.
- La evolución cuantitativa del módulo volumétrico isotérmico tangente y cuasiestático.

Hay otros problemas que se resuelven de forma paralela; sin embargo, no consideramos que sea necesario alargar más la lista para el propósito del presente artículo. En el libro arriba mencionado se darán más detalles al respecto.

Creemos que cada tecnología de ventilación mecánica posee atributos clínicos que le dan su talante, como el avance clínico y tecnológico de la VMEIE del VE4T v2.0. Asimismo, es exacto decir que, con su arquitectura singular fincada en un modelo matemático con solución analítica y sustento experimental numérico, pruebas en pulmón artificial, así como pruebas preclínicas, este ventilador mexicano desarrollado durante el primer gobierno de la Cuarta Transformación posee las propiedades del mejor ventilador mecánico que hoy existe en el dominio de la ventilación mecánica en todo el mundo.

No consideramos que sea útil para el propósito de este artículo mencio-



nar la ficha técnica del VE4T v2.0, es decir, no incluiremos los tipos de insuflación ni los modos de ventilación ni las estrategias de reclutamiento a detalle. Al respecto, sólo diremos que los dos tipos de insuflación convencionales, y prácticamente todos sus modos de ventilación, son totalmente compatibles con el VE4T v2.0. Además, de manera gradual se irán implementando en las futuras versiones otros tipos de insuflación propios de la VMEIE, con sus modos de ventilación correspondientes, también propios. En breve, Serimédica de México, SAPI de CV, comenzará a fabricar el VE4T v2.0 en sus instalaciones.

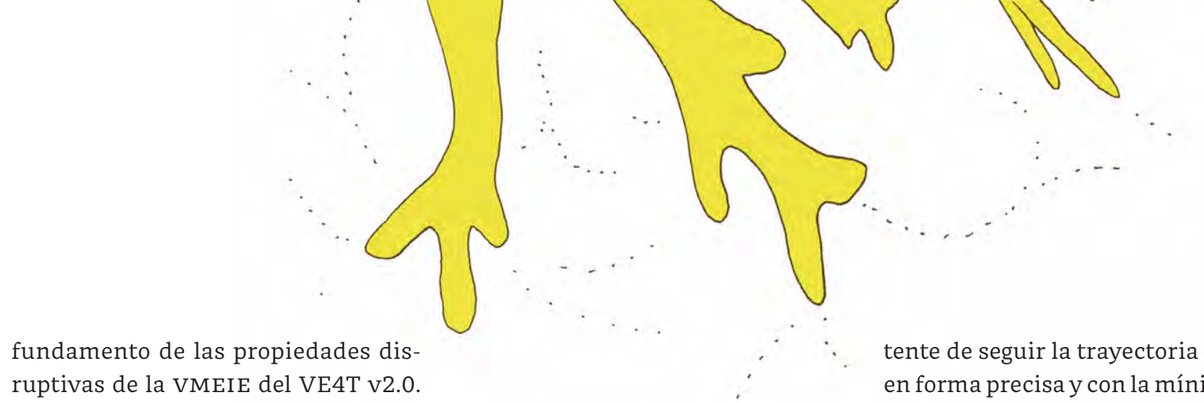
Fundamentos de la ventilación mecánica y la Escuela Mexicana de Ventilación

Este pequeño repaso sobre los tipos y modos de insuflación y sus formas de ventilación, que resumimos en el apartado anterior, sería incompleto para las personas que no son especialistas si no mencionamos algunos otros antecedentes sobre la ventilación mecánica. Comenzaremos por decir que los dos tipos de insuflación convencionales que mencionamos son los únicos dos que existen actualmente, aunque la norma ISO DIS 19223:2019 cita a un tercer tipo de insuflación, llamado control dual (*dual-control*); sin embargo, en esa misma norma también se reconoce que éste es sólo una combinación de los dos primeros tipos de insuflación. En el campo de la ventilación mecánica es bien sabido que los dos únicos tipos de insuflación que existen son los siguientes: control volumen (*volume control with flow regulation*) y control presión (*pressure control with pressure regulation*).

No hay que olvidar que esta terminología se introdujo en los primeros días de la ventilación mecánica; de ahí que, con los avances, proliferaron los dos modos de ventilación que necesita cada uno de los dos tipos de insuflación (todo esto ocurrió en los últimos 20 años). Así, la terminología y el lenguaje usados se han ido adaptando en forma continua, lo que conduce a una inevitable confusión, seguida de un mal entendimiento de las características de los diversos modos de ventilación y, por lo tanto, de las propiedades de las diferentes estrategias de reclutamiento y de desreclutamiento. A esto se suma la falta de formación profesional en el campo de la ventilación mecánica clínica y biomédica en el mundo. Por ello, la creación y fortaleza actual de la Escuela Mexicana de Ventilación es fundamental para el desarrollo tecnológico de equipo médico y para estar a la vanguardia de estos avances en el ámbito internacional. Este logro también muestra la gran capacidad de las y los jóvenes científicos del país y su interés en el desarrollo tecnológico soberano para el bienestar.

Por otra parte, varios fabricantes de este tipo de ventiladores han creado nuevos términos propios para describir sus modos de ventilación, mientras que otros usan términos existentes pero con significados diferentes en situaciones iguales, lo que agrega otras dificultades al entendimiento de esta de por sí compleja situación. Dicho tipo de confusiones, y en ocasiones hasta falsas innovaciones, son características de las tecnologías en un mundo neoliberal capitalista que promueve la obsolescencia programada y frena el verdadero desarrollo y mejora de las tecnologías a favor del bienestar, que a menudo se ven supeditadas a consideraciones de lucro y máximas ganancias para las corporaciones. En el caso del estancamiento tecnológico de la ventilación mecánica, esto implica cierto riesgo para la seguridad de los pacientes asistidos por los equipos convencionales, aunque sean de alta calidad, y, por lo tanto, para usar estos equipos es indispensable reforzar continuamente la capacitación del personal clínico.

Nuestra ambición ha sido pensar cómo romper la frontera del conocimiento en el ámbito de la teoría e ingeniería de la ventilación mecánica para minimizar los riesgos y maximizar los beneficios de los pacientes que necesitan atención con este tipo de asistencia respiratoria. En general, lo que nos apasiona es cómo poner el desarrollo científico y tecnológico al servicio de la solución de problemas concretos que puedan resolverse y, de esa manera, ayudar a mejorar la vida de muchas personas.



El asumir este reto siempre genera nuevo conocimiento. En particular, durante el desarrollo del Ehécatl 4T se implicaron, para lograr esto, las competencias de especialistas con distintas formaciones: en control automático, diversos campos de la ingeniería y de la física, en biología, en electrónica, en biomedicina y, específicamente, en ventilación mecánica y en medicina intensivista, entre otros. Los retos inherentes al desarrollo que nos propusimos requirieron este trabajo colaborativo intenso. Además, habiendo reconocido estas dificultades y para contribuir con nuestro mejor esfuerzo a reducir cualquier confusión al respecto, en todo lo relacionado con el desarrollo de la VMEIE del VE4T v2.0 nos hemos apegado a la terminología, nomenclatura y semántica de la norma ISO DIS 19223:2019, con base en su última revisión.

De la ventilación mecánica a energía de insuflación específica

Nos parece también apropiado presentar una breve explicación sobre el fundamento de las propiedades disruptivas de la VMEIE del VE4T v2.0. No será difícil advertir que éstas tienen que ver con la forma rigurosa con la que se observó y se trató, teórica y experimentalmente, la dinámica intrínseca de la ventilación mecánica, hasta que la VMEIE del VE4T v2.0 se cristalizó.

La propiedad raíz de este desarrollo es la adaptación, un concepto que implica que uno o más mecanismos de regulación se coordinen de tal forma que aseguren que las salidas principales de un proceso o sistema sean insensibles a las perturbaciones o a las variaciones paramétricas en un rango amplio de variación. Las salidas deben mantener un valor constante de acuerdo con un valor de referencia (*set point*) o seguir una trayectoria de referencia. Al primer caso se le llama comúnmente regulación y al segundo se le conoce como seguimiento (seguidor o *tracking*), aunque en ambos el principio de la regulación por retroalimentación negativa es la base (Friederich, 2016).

A la robustez de un seguidor, descrita por su comportamiento persistente de seguir la trayectoria objetivo en forma precisa y con la mínima sensibilidad a la variabilidad paramétrica del paciente, se le llama, con justificada razón, adaptación perfecta u homeostática (Biswas e Iglesias, 2021). En nuestro caso, la adaptación perfecta se lleva a cabo por el seguimiento persistente de la trayectoria de la compliancia cuasiestática o dinámica de los pulmones del paciente, en forma precisa y con la mínima sensibilidad a la muy amplia variabilidad paramétrica de la compliancia, respecto a la trayectoria de insuflación de un mismo paciente y entre pacientes distintos.

Efectivamente, las más obvias de las limitaciones para construir un equipo con adaptación perfecta, en el contexto que acabamos de describir, provienen de los cambios de las variables observables o medibles con las que se procesa la insuflación del pulmón de un paciente, a saber: la compliancia, la resistencia, la presión, el volumen, etc. Son magnitudes o variables que durante la insuflación cambian sin cesar de valor, en términos globales, en forma no lineal y, en términos locales, como mapas que se aproximan a formas lineales, es decir, cuyos cambios locales se aproximan a formas matemáticas, que siguen reglas más sencillas de procesar.

De acuerdo con nuestra experiencia, la única forma para lograr la adaptación perfecta consiste en identificar las trayectorias equipotenciales. Éstas no se imponen a la realidad energética, sino que el seguidor las indiza y se conduce sobre cada trayectoria energética de la insuflación, en equilibrio dinámico, es decir, en equilibrio continuo instantáneo (Le Bellac *et al.*, 2004). De esta manera, adaptación y equilibrio son parte del mismo proceso, pero no son lo mismo.

Para lograr la adaptación perfecta real, de acuerdo con lo antes dicho, hemos propuesto una solución que implicó el desarrollo de una nueva teoría, que llamaremos para el propósito de este artículo la teoría de la VMEIE. De acuerdo con ésta, se requiere que la curva de la trayectoria de energía del ventilador (identificación) se proyecte por medio de un plano proyectivo (seguidor adaptable índice) sobre la superficie de equilibrio energético

del acoplamiento ventilador-pulmón (equilibrio continuo instantáneo). La proyección es una aplicación isomórfica y endomórfica, lo que implica que sobre la superficie tendrá la misma estructura que la curva proyectada (isomorfismo) y que el plano proyectivo será una forma lineal (endomorfismo), respectivamente.

Esta teoría se aplica a equipos como el VE4T v2.0, que se conectan o se acoplan a un organismo vivo, con un acoplamiento fuerte o con un acoplamiento débil, pero que forman un solo sistema dinámico (1 + 1 = 1), con únicamente un comportamiento dinámico principal. Esto presupone que el ventilador posea dos fuentes de compliancia: la propia de la compresibilidad de la mezcla aire-oxígeno que poseen todos los ventiladores de la ventilación mecánica estándar y la asociada con la contractabilidad del sistema de compresión que la VMEIE del VE4T v2.0 posee.

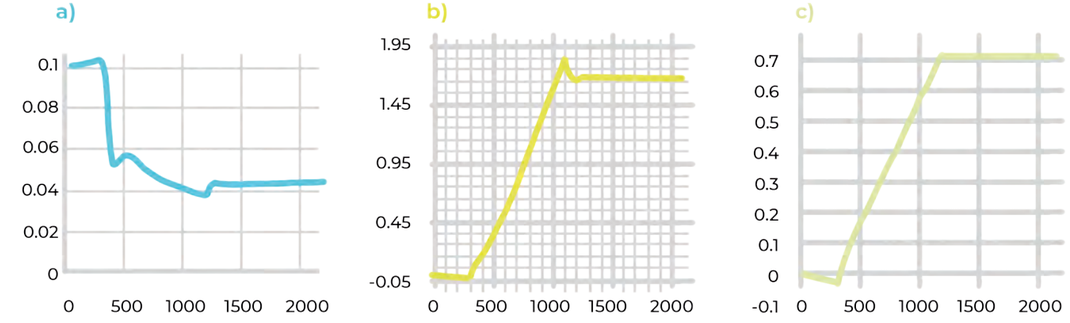
Así, la adaptación y el equilibrio conducen a la adaptación real perfecta de la VMEIE del VE4T v2.0. La evolución dinámica de estas magnitudes nos presenta, de una manera cierta y observable, la evolución de la compliancia (cuasiestática) del pulmón del paciente, así como las demás magnitudes de la lista de problemas que resuelve el VE4T v2.0, que expusimos líneas arriba.

Quienes leen notarán que no hemos hablado de características estáticas como la compliancia estática, y esto es por una razón clara: el campo de trabajo de la ventilación mecánica, sea termodinámica o mecánicamente hablando, es el del equilibrio local, donde las características son cuasiestáticas o dinámicas. De hecho, no es necesario ni recomendable intentar que en el proceso de ventilación mecánica se alcance el equilibrio global, donde podríamos medir la energía cinética y las características estáticas a la presión de relajación (compliancia estática, presión meseta —*plateau*—, presión de distensión —*driving pressure*—). Esto se aprecia con más claridad a la luz de la VMEIE del VE4T v2.0, mayormente para cuidar al paciente y por el propio proceso, cuyo dominio de trabajo, como dijimos antes, es el del equilibrio local. Dicho esto, no se descarta la importancia que tienen algunas mediciones justo en el régimen estático termodinámico, ya sea en forma experimental o con el debido cuidado del paciente durante el proceso de la ventilación mecánica.

En la figura 3 se presenta el resultado experimental de la VMEIE del VE4T v2.0 de un semiperiodo en condiciones de volumen controlado con pausa inspiratoria en un pulmón artificial perfectamente bien calibrado. Se muestra la consistencia de la adaptación (Figura 3a) y, en especial, de la adaptación de la compliancia. El valor de la compliancia cuasiestática configurada en el pulmón artificial se corresponde perfectamente con el valor al final y durante toda la pausa inspiratoria de la curva de la figura 3a. Por otra parte, las gráficas de las figuras 3b y 3c nos muestran la evolución de la energía de insuflación en Joules y el volumen corriente en litros.

Por otro lado, conociendo la evolución dinámica de la curva de la trayectoria de la densidad de energía (Figura 4a) en cada instante de insuflación y la trayectoria de la energía termoelástica de insuflación (Figura

Figura 3.
a) Curva de evolución de la compliancia cuasiestática (en litros/cmH_2O) de un semiperiodo de insuflación con una pausa inspiratoria en control volumen, *b*) curva de evolución de la energía en Joules y *c*) curva de evolución del volumen en litros. En todos los casos la abscisa es el tiempo en milisegundos.
Fuente: Pineda Castillo (2024).



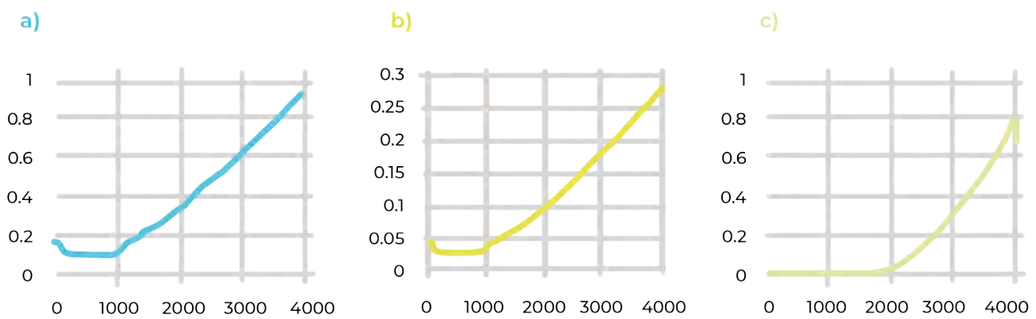
4c), por supuesto que se prefieren estas magnitudes por sobre cualquier otra estimación a partir de la potencia en Watts (Figura 4b), la cual depende del flujo y no de la densidad de energía; en otras palabras, no es igual de eficaz determinar la energía a partir de la potencia minuto, o en un tiempo mayor, que determinar directamente la energía de insuflación específica a partir de la densidad de energía de insuflación (Clayton y Freed, 2019; Forest y Amestoy, 2020).

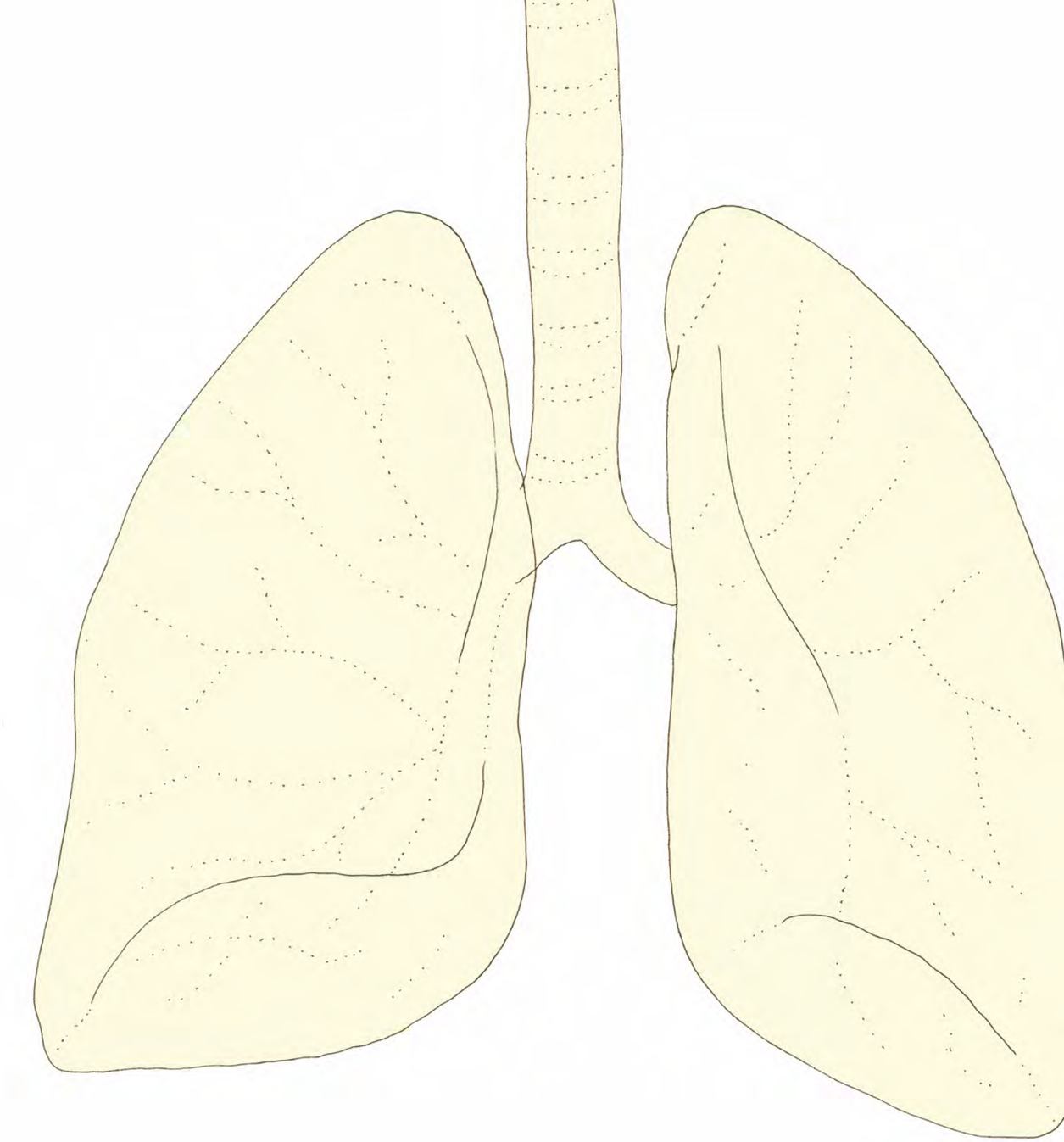
Implicaciones clínicas importantes

En términos amplios de la teoría de la VMEIE, las implicaciones clínicas importantes de la adaptación perfecta del VE4T v2.0 son las siguientes:

- El acoplamiento ventilador-pulmón crea una conexión pasiva elástica termodinámica de un solo sistema dinámico, cuyo valor de la compliancia cuasiestática y dinámica (del sistema dinámico conjunto) es la del pulmón del paciente, durante toda la evolución de la

Figura 4.
Resultados experimentales con un pulmón artificial.
Se muestran las curvas de evolución de las siguientes magnitudes: *a*) densidad de energía termoelástica de insuflación en Joules/litros, *b*) potencia en Watts, y *c*) energía termoelástica de deformación en Joules. En todos los casos la abscisa es el tiempo en milisegundos.
Fuente: Pineda Castillo (2024).





insuflación y para cada tipo de insuflación, sin importar la variabilidad del pulmón del paciente. La adaptación de la compliancia es una adaptación perfecta, donde la evolución de los valores de la trayectoria de la compliancia adaptable es el polinomio del plano proyectivo.

- En estas condiciones de adaptación perfecta, el sistema dinámico conjunto es asimilable a un resorte termodinámico neumático perfectamente caracterizado, cuya capacidad volumétrica (elongación) dependerá del valor de su compliancia.
- Al aumentar la energía de insuflación y deformación, se incrementará consecuentemente su rigidez cuasiestática propia y tenderá a disminuir, en forma adaptable, su capacidad volumétrica propia. De este modo, su posibilidad de adaptación nos permite determinar la capacidad volumétrica dependiendo del valor de la compliancia cuasiestática y, asimismo, el umbral de energía, al reducir su capacidad volumétrica propia, por exceso de energía, por medio de una desigualdad que llamamos desigualdad de tipo Korn debido a que, en el campo de la mecánica del medio continuo (Forest y Amestoy, 2020), esta desigualdad se usa para saber cuándo la energía de deformación domina sobre la energía de desplazamiento.

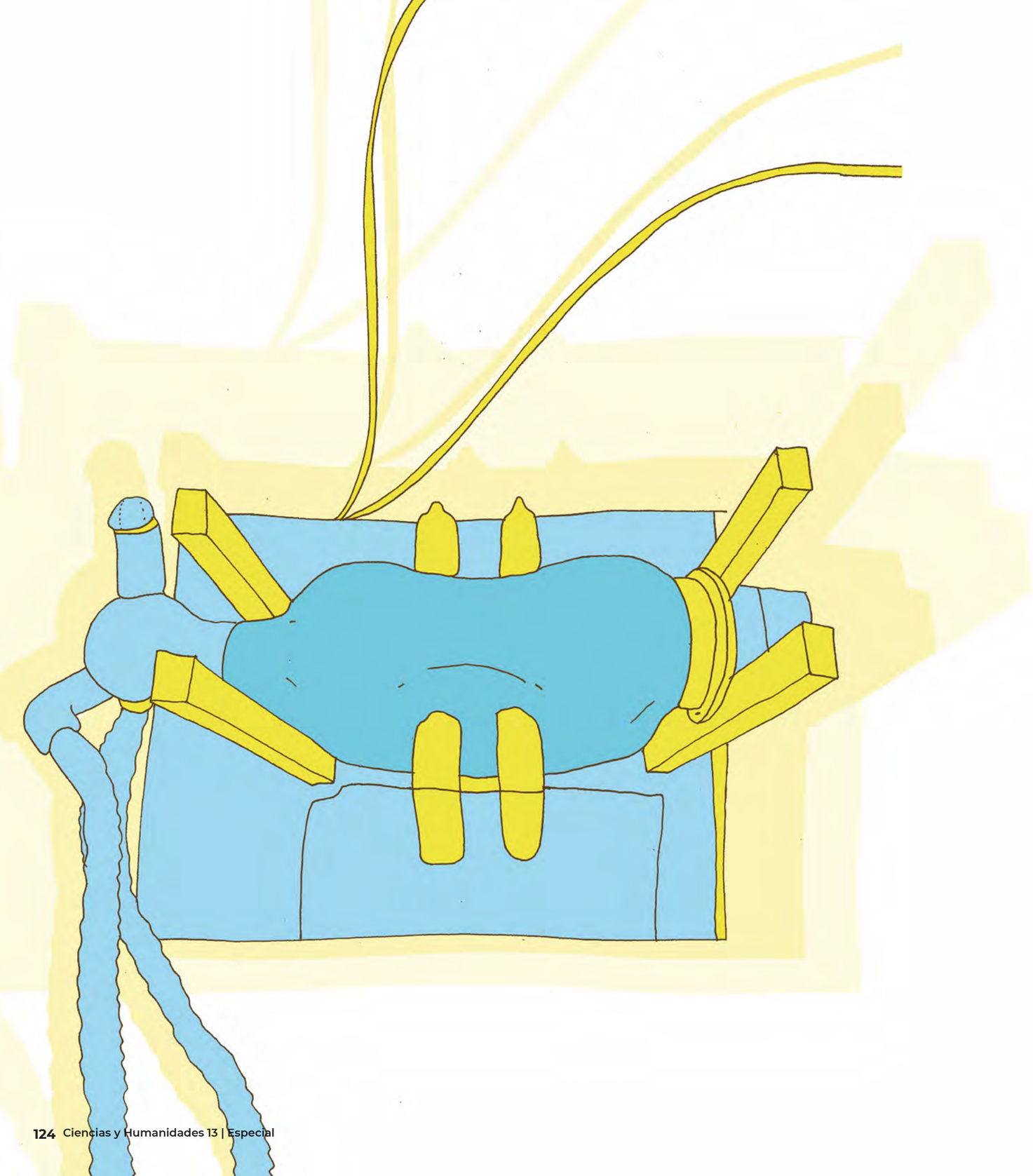
Estas características únicas del VE4T v2.0 le otorgan una eficiente capacidad ventilatoria mecánica y, a la vez, permiten proteger el pulmón del paciente. El resultado esperado es que los efectos secundarios en detrimento del epitelio pulmonar, como consecuencia de la ventilación mecánica invasiva, sean menores. Dicho de otra manera, la VMEIE del VE4T v2.0, por la propiedad de adaptación perfecta que se resume en la lista de arriba, es una ventilación mecánica natural o estructuralmente protectora del pulmón del paciente. Enseguida abundamos al respecto.

En la ventilación mecánica estándar, por definición, la noción de ventilación protectora del pulmón implica magnitudes pequeñas de volumen corriente. Entonces, y en ese sentido, la VMEIE del VE4T v2.0, como todos los buenos ventiladores mecánicos automáticos, no sólo tiene la capacidad de cumplir con esta función en forma paramétrica (por definición secuencialmente) por medio de sus tipos de insuflación y modos de ventilación, sino que, independientemente de ese hecho, sus posibilidades de equilibrio energético y de adaptación de la compliancia son propiedades emergentes dinámicas intrínsecas o, de fondo y estructuralmente, protectoras del pulmón. De ahí que esas dos importantes propiedades (equilibrio y adaptación) son estructurales, es decir, cumplen con una función protectora, asociada a la estructura tecnológica intrínseca de la VMEIE del VE4T v2.0. Este proceso es jerárquicamente superior al proceso secuencial paramétrico, que consiste en suministrar pequeños volúmenes corrientes, que es el proceso con el que la ventilación mecánica estándar define actualmente a la ventilación protectora del pulmón.

Por lo tanto, con la VMEIE del VE4T v2.0, la ventilación a bajo volumen se vuelve una opción que estará muy bien especificada energéticamente hablando, por lo que será recomendada, en su caso, por la misma VMEIE del VE4T v2.0, para no exponer al paciente así calificado a capacidades volumétricas mayores o con exceso de energía.

Conclusiones: nueva teoría y tecnología mexicana disruptiva

La teoría y su interpretación física, así como los resultados aquí presentados, constituyen un pequeño resumen de un trabajo original de ciencia de frontera y desarrollo tecnológico disruptivo que se asocia estrechamente en una dualidad real a la VMEIE del VE4T v2.0 (Figura 5). Por lo tanto, nos permitiremos agregar enseguida unas palabras sobre la teoría desarrollada, que para el propósito de este artículo hemos llamado la teoría de la VMEIE (cuya descripción sucinta presentamos párrafos arriba), que fue desarrollada a partir de un modelo dinámico (modelo matemático de un sistema dinámico). Ahora bien, según nuestro enfoque, la teoría matemática debe formularse



de manera que pueda conducirnos a entender la naturaleza fundamental de la complejidad del proceso implicado. Pero también debe ser práctica, es decir, debe poder conectarse con la aplicación, por medio de las ciencias de la ingeniería.

No es de extrañar que la integración de la variabilidad individual del paciente en el proceso del tratamiento, con una conexión entre lo micro y lo macro, especialmente en los equipos de soporte de vida y en otras máquinas similares con acoplamientos biológicos, requiera del uso de herramientas matemáticas incrementalmente elaboradas, las cuales expliquen lo mejor posible el proceso de adaptación y equilibrio que involucra varios procesos de regulación, monotonicidad y estabilidad.

La consecuencia principal de esta teoría es que su conexión con las teorías de las ciencias de la ingeniería, que la interpretan para poder pasar a la construcción de la tecnología con la mejor ingeniería, es por medio de la física de los potenciales energéticos, cuyo dominio es muy extendido entre las ingenierías en diferentes campos: de desarrollo, termodinámica, mecánica del medio continuo, eléctrica, etc., unificados por la geometría simpléctica (Le Bellac *et al.*, 2004; Forest y Amestoy, 2020). Esta última es una rama de la geometría diferencial, la cual resuelve problemas principalmente mediante métodos del cálculo diferencial. Aunque están ambas enfocadas en espacios multidimensionales, de dimensión tres o mayores, la geometría simpléctica es menos intuitiva. Sin embargo, es en ese sentido –y a nuestro parecer– lo más importante, pues, aunque es menos intuitiva, posiblemente por eso permite apreciar caras del mismo fenómeno físico ocultas para otros lentes matemáticos. De ahí que la teoría de la VMEIE le permite al desarrollador tratar en forma similar a cualquiera de las máquinas cuya tecnología sea la de una acoplada a un sistema biológico. Es así como, en una forma similar, aunque con diferentes potenciales energéticos, actualmente estamos creando también una máquina de hemodiálisis.

El VE4T v2.0, que ya se encuentra en proceso de transferencia tecnológica para ser probado exhausti-

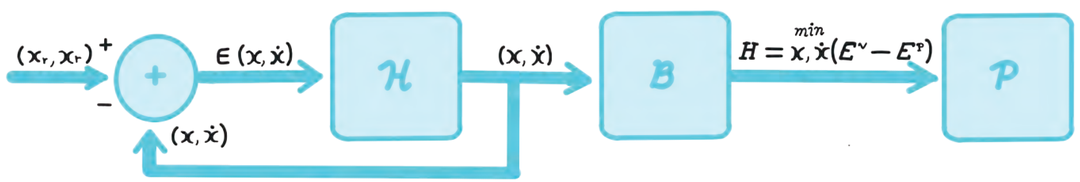


Figura 5.
Esquema descriptivo del seguidor adaptable homeostático del ventilador Ehéctal 4T v2.0, donde *(x, ẋ)* es una trayectoria (indizada por el seguidor) libre de fase de la función de estado E^v (trayectoria de energía que genera el ventilador); E^p es la trayectoria de energía solicitada por los pulmones proyectada por el polinomio de adaptación proyectivo que pertenece al plano proyectivo; *H* es el resultado de la minimización de la energía libre, fundamental para el equilibrio continuo instantáneo; ϵ es el error entre la trayectoria de referencia $(x_r, \dot{x}_r)$ y la trayectoria *(x, ẋ)* generada para el sistema de contracción. En tanto, la trayectoria $(x_r, \dot{x}_r)$ es también la entrada para las señales de control de los lazos principales para los tipos de insuflación y sus modos de ventilación; *H* es el seguidor homeostático, mientras que *B* y *P* representan el potencial de energía del balón y del pulmón como un solo compartimento.
Fuente: Pineda Castillo (2024).

vamente y producido en la industria, será un equipo verdaderamente innovador que revolucionará la tecnología de la ventilación mecánica en el mundo. Dado que será el primer ventilador adaptativo que proteja los pulmones de los pacientes atendidos, esperamos que tengan efectos secundarios menos graves con respecto a quienes se asisten con ventiladores no adaptativos a las condiciones de sus pulmones. La solidez matemática y del desarrollo tecnológico e ingeniería del VE4T v2.0 garantizará su escalamiento industrial en México, su comercialización amplia en nuestro país en el ámbito público y también privado, e incluso su exportación. Será una tecnología 100 % nueva, disruptiva y emanada del primer gobierno de la Cuarta Transformación, por conducto del Conahcyt y del Cidesi. Además, ha marcado ya la pauta para muchos otros desarrollos disruptivos soberanos para el bienestar de México y de todo el mundo.

Referencias

Biswas, D. e Iglesias, P. A. (2021). Sensitivity minimization, biological homehostasis and information theory. *Biological Cybernetics, 115*(1), 103-113.

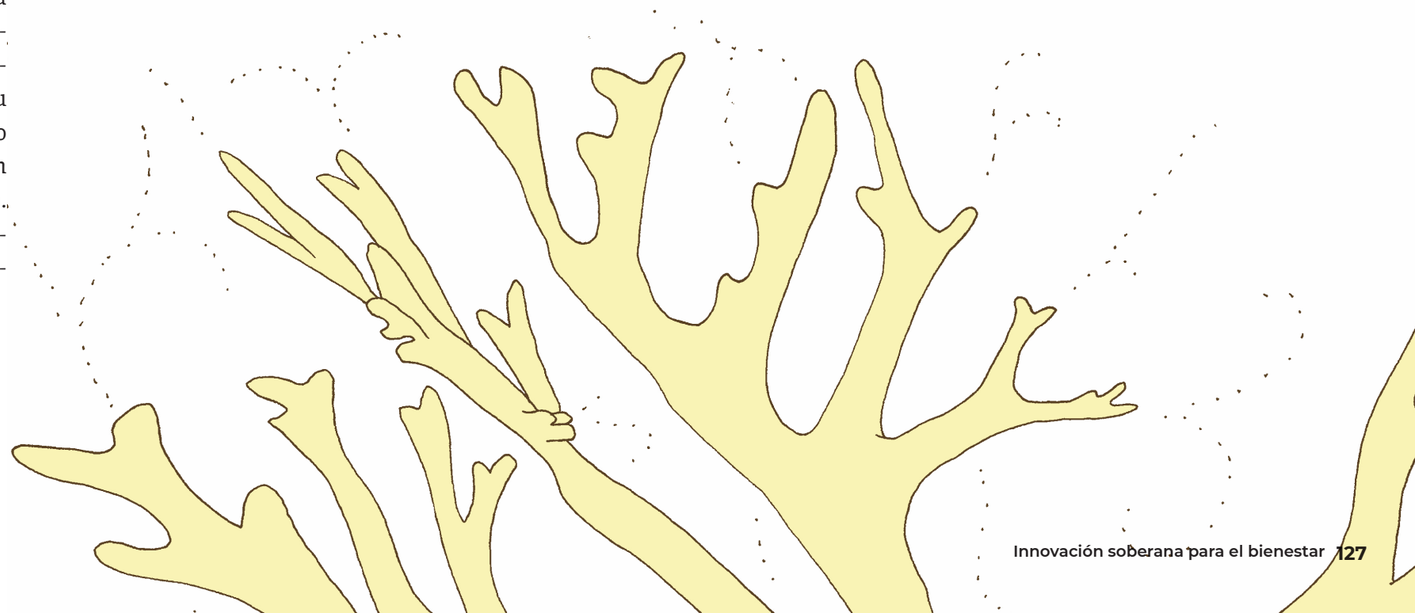
Clayton, J. D. y Freed, A. D. (2019, noviembre). *A Continuum Mechanical Model of the Lung*. Army Research Laboratory, Technical Report ARL-TR-8859. DEVCOM. https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/AD1086066.pdf

Forest, S. y Amestoy, M. (2020). *Mecanique des milieux continus*. Ecole des Mines Paris.

Friederich, B. (2016). *Nonlinear dynamics and fluctuations in biological systems* [tesis de posgrado]. Technishe Universität Dresden.

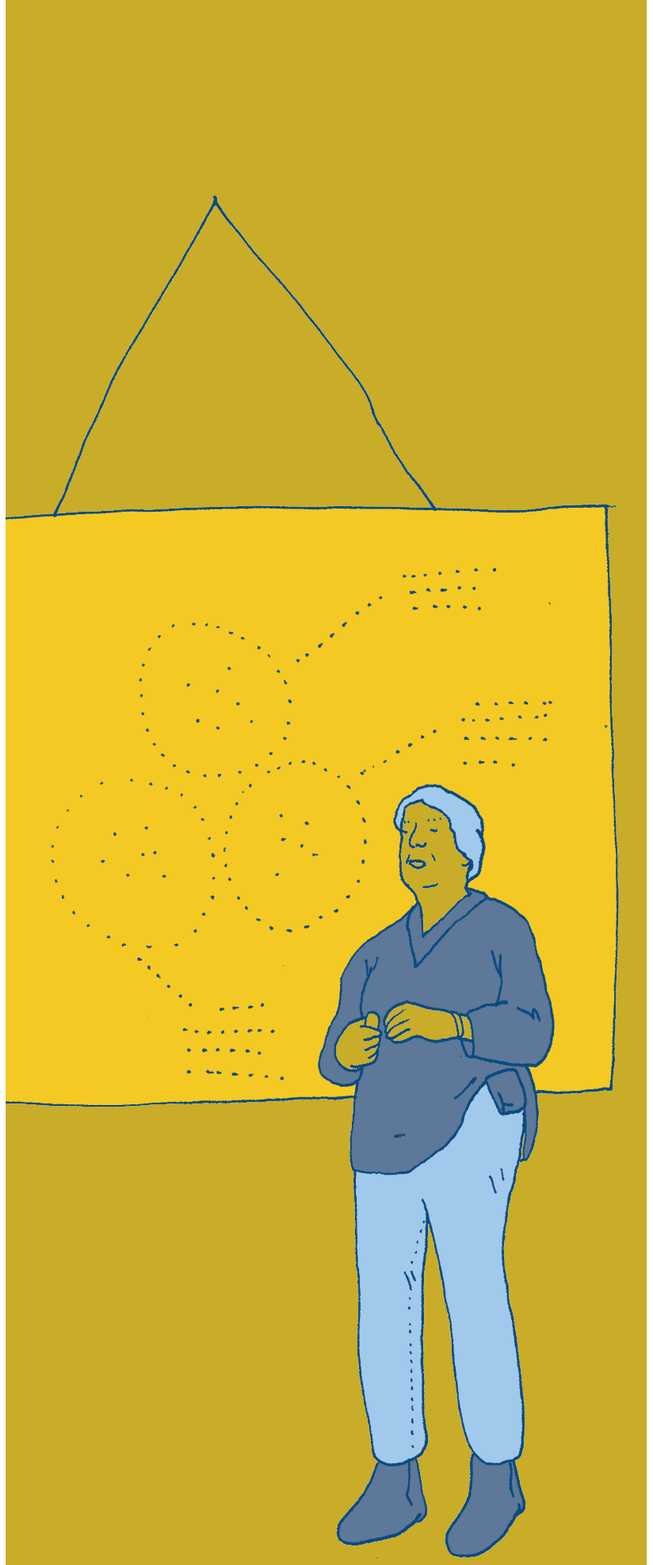
Le Bellac, M., Mortessagne, F. y Batrouni, G. G. (2004). *Equilibrium and non-equilibrium statistical thermodynamics*. Cambridge University Press.

Pineda Castillo, J. C. (2024). *Ventilación mecánica a energía de insuflación específica* [manuscrito inédito]. Conahcyt.



Romper barreras:

trayectoria científica de Lena Ruiz Azuara, una química visionaria



Doctora en química inorgánica por la Universidad de Edimburgo, profesora investigadora de la Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), con 52 años de trayectoria docente y de investigación, Lena Ruiz Azuara es investigadora nacional emérita del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores, así como integrante distinguida de la Royal Society of Chemistry del Reino Unido. Sus áreas de investigación son la química bioinorgánica, química de coordinación y química organometálica; pero su principal enfoque está en la química inorgánica medicinal, área en la que trabaja para el desarrollo de fármacos de base metálica, desde el diseño, estudios químicos, pruebas biológicas de antineoplásicos y antiparasitarios, hasta estudios preclínicos y fases clínicas (Ruiz Azuara, s. f.).

En una entrevista exclusiva con la Dra. Lena Ruiz Azuara, el 20 de marzo de 2024 en su laboratorio de química inorgánica medicinal, tuvimos la oportunidad de conocer más acerca de su viaje científico en el campo de la química: desde sus primeros pasos formativos en la ciencia hasta sus últimas investigaciones enfocadas en la química de la salud, específicamente para el desarrollo de un fármaco contra el cáncer y de metalofármacos antiparasitarios.

***Ciencias y Humanidades*:** ¿Cómo da inicio su interés por el estudio de la química?

Lena Ruiz Azuara: Fue en tercero de secundaria; estaba convencida de que quería estudiar biología y tuve un profesor de química, maravilloso, el maestro Horacio García. Él me abrió los ojos de que la química estaba en todos los aspectos.

***CH*:** ¿Y dónde fue su formación académica de pregrado?

LRA: La carrera de química la estudié en la Facultad de Química de la UNAM. En ese entonces era «químico», tengo un título de «químico», el femenino todavía no se aceptaba.

***CH*:** ¿Y de posgrado?

LRA: La idea era seguir en un posgrado en la Facultad. Tomé dos años de cursos y cuando iba a empezar los tres años de tesis, porque eran cinco años al no haber maestría, no encontraba con quién hacer la tesis en química inorgánica. El Dr. José Francisco Herrán era director de la Facultad y consiguió becas para que pudiéramos estudiar en el extranjero líneas de investigación que no había en México, y me fui a hacer el doctorado en Química Inorgánica a la Universidad de Edimburgo, en Escocia.

***CH*:** ¿Tiene alguna experiencia, en su etapa de formación, que la haya marcado para su vida profesional?

LRA: Trabajé en Grupo Russell, en los laboratorios, y no me gustó la rutina de hacer todos los días lo mismo. Esa experiencia me convenció de seguir con el doctorado y la investigación.

***CH*:** ¿Qué la impulsó a especializarse en química inorgánica medicinal a partir del estudio de compuestos de coordinación?

LRA: La clase [de laboratorio] que empecé a impartir [...] fue la de Química de Coordinación, y ese tipo de compuestos me parecieron fascinantes. En la biblioteca de Edimburgo encontré un libro que se llamaba *Los metales de la vida*, del profesor [David R.] Williams; lo leí en una noche y ese campo me pareció maravilloso: metales como el hierro en la hemoglobina. A mi regreso a México, empecé a hacer química de coordinación en este laboratorio [de química inorgánica medicinal], con un matraz, una espátula, y poco a poco fui haciéndome de equipo y material de síntesis para empezar a trabajar. En esa época surge el cisplatino (compuesto de coordinación muy tóxico) como un fármaco [para el] tratamiento de cáncer. Entonces, la línea que abarqué fue compuestos de coordinación de esos metales esenciales que tenemos de manera natural en el cuerpo, pero enfocados al tratamiento de cáncer.

***CH*:** ¿Cuáles han sido los principales retos para consolidar esta línea de investigación de compuestos de coordinación?

LRA: Es una línea que ahora se puede pensar que es muy conocida, porque el cisplatino tiene muchos años en el mercado, pero el desarrollo

de estos compuestos no es tan común, tiene sus retos a nivel de síntesis, y hay una reticencia grande [hacia] los metales pesados por parte de los médicos. También, otro reto es convencer a los alumnos [de] que es un área que tiene futuro, y el convencimiento a otros grupos [...] para trabajar en conjunto. Cuando sometimos las primeras patentes con compuestos de cobre, hubo más credibilidad en el ámbito académico.

***CH*:** En 1999, para contribuir al desarrollo y fortalecimiento de la formación integral de los estudiantes a nivel licenciatura, nació el proyecto La Ciencia Más Allá del Aula, bajo su coordinación. ¿Cómo ha sido su experiencia en la divulgación científica por medio de este proyecto?

LRA: ¡Es maravilloso! Esto lo gesté en la cabeza a raíz de que la Sociedad Química de México me otorgó el premio Andrés Manuel del Río en investigación y me dijeron: «Tienes que dar una conferencia en el congreso». Pregunté: «¿De qué?», y me dijeron: «De lo que quieras, de tu trabajo». Entonces, se me abrió un mundo que no había pensado, y di la conferencia que titulé «Metal o no metal, el enigma de la vida». Versiones de esa charla las he dado con niños, adultos, en escuelas. Empecé a invitar a gente del Instituto de Química, después astrónomos, poetas, músicos, bioquímicos, físicos. [Vamos a] cumplir 25 años en agosto y estamos muy satisfechos porque es uno de los programas que cubre todas las áreas del conocimiento humanístico, científico y tecnológico.

***CH*:** ¿Cuáles han sido sus máximas satisfacciones como académica e investigadora?

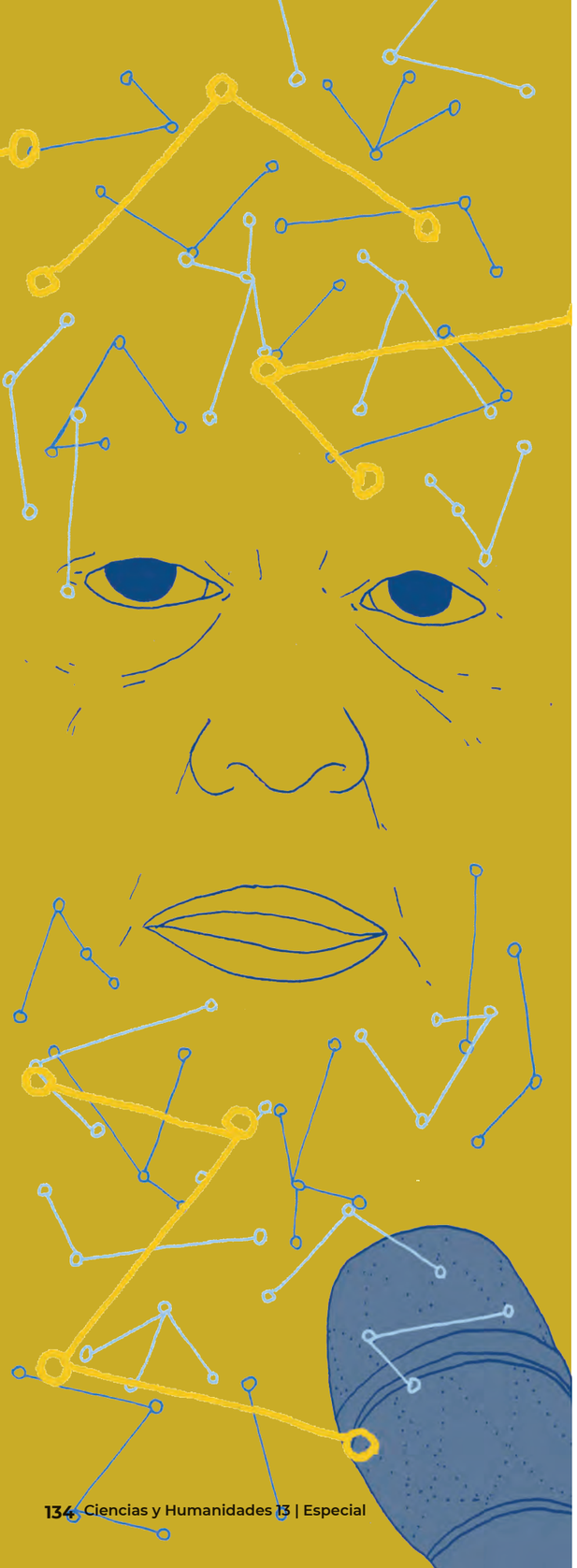
LRA: Creo que en el aula, en la parte docente, calificar un examen donde se ve que entendieron lo que les traté de transmitir y después ver que esos alumnos han seguido en la línea de trabajo; eso me da mucha satisfacción. En [el ámbito] de la investigación, todavía no tengo la satisfacción que me llene hasta que no tengamos las pruebas en humanos que están en proceso. Sería la primera molécula sintetizada en una universidad que llega a prueba en humanos.

***CH*:** ¿Qué dificultades ha encontrado en la investigación de moléculas químicas inorgánicas con fines clínicos?

LRA: La dificultad es la aceptación de los compuestos metálicos. En el mundo [tenemos] un grupo de investigadores muy grande y hay pocas moléculas que han llegado a estar en el mercado. Otra dificultad es que en los proyectos donde [la persona] líder es una mujer cuesta más que te tomen en serio, definitivamente.

***CH*:** ¿Cuáles han sido los reconocimientos que ha recibido y que han marcado su carrera como investigadora?

LRA: La verdad es que me han dado demasiados, y realmente no son míos, son de todo el equipo de trabajo y de todos los estudiantes que han participado. El primero, el de la Socie-



dad Química, el premio Andrés Manuel del Río, fue el que me abrió este panorama a la divulgación. El premio Universidad Nacional lo obtuve en docencia, y el Premio Nacional de Ciencias y Artes es el premio más reconocido que se otorga en México. El premio Heberto Castillo, [que] fue la primera emisión del premio, lleva el nombre del Ing. Heberto Castillo [y eso] fue un honor; en esa ocasión se creó por ese año el premio Lena Ruiz Azuara, que se puso a concurso y lo obtuvo un investigador joven argentino. El premio Coatlicue, que es de un grupo de mujeres investigadoras del área de la poesía y lo abrieron al área de investigación científica, fue también muy agradable.

CH: ¿Cuál es el legado que le gustaría dejarle a la ciencia en México?

LRA: El haber formado muchos egresados que están en la parte docente o [de] investigación. La gran mayoría son gente con un [gran] rigor científico, de claridad, honestidad, cumplimiento. Para mí es muy grato ver egresados con un estilo propio.

CH: Por último, Dra. Lena, ¿qué mensaje les daría a las nuevas generaciones de científicos mexicanos y científicas mexicanas que desean incursionar en la investigación de nuevas moléculas químicas aplicadas a resolver problemas de salud?

LRA: Les diría que es un área de trabajo que urge en México, [ya que] son pocas las farmacéuticas mexicanas y muchas se han dedicado a [los medicamentos] genéricos. Es como meterlos a una carrera infinita, pero México requiere desarrollar sus propios medicamentos. Es una carrera de obstáculos, pero lo más importante es convencer a [las] autoridades [de] que le apuesten a esto para ser autosuficientes, aunque sea en una parte, en los problemas que tenemos: niños con leucemia, diabetes, cáncer.

Referencias

Ruiz Azuara, L. (s. f.). Perfil de Lena Ruiz Azuara. *Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México.* https://quimica.unam.mx/perfil/lena-ruiz-azuara/

Propiedad intelectual de las tecnologías apoyadas por el Conahcyt

De 2019 a 2024, el Conahcyt apoyó:

162
proyectos de desarrollo tecnológico e innovación

106
tecnologías

101
figuras de propiedad intelectual

De las 101 figuras de propiedad intelectual:

85
(Co)titularidad de Conahcyt o Centros Públicos

53
otorgadas

- **21** patentes
- **37** marcas
- **17** diseños industriales

32
solicitudes en trámite

- **1** modelo de utilidad
- **6** programas de cómputo (registros de derechos de autor)
- **3** avisos comerciales

Nota: datos al 9 de agosto de 2024, Dirección Adjunta de Desarrollo Tecnológico, Vinculación e Innovación, Conahcyt.

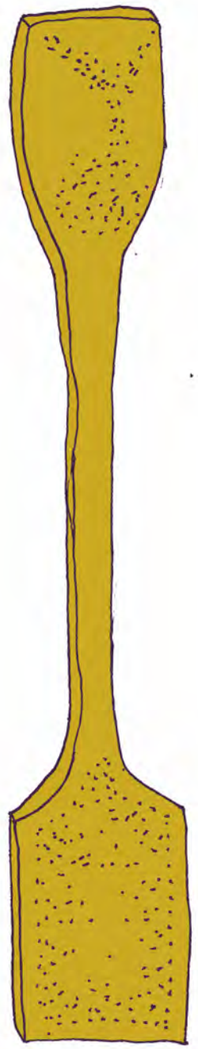
Restauración del patrimonio cultural con materiales no tóxicos derivados de plantas

Lilian García-Alonso Alba
Investigadora de la Escuela Nacional de Conservación, Restauración y Museografía del Instituto Nacional de Antropología e Historia.

En la factura, construcción, mantenimiento y conservación del patrimonio cultural mueble e inmueble, a lo largo de la historia se han utilizado de forma eficaz métodos y materiales tradicionales que ofrecen alternativas localmente sostenibles para las prácticas de conservación; sin embargo, pese a los beneficios que podrían aportar, es escaso el uso de este tipo de recursos, ya que en el ámbito internacional se prefieren los productos químicos e industriales. No obstante, se han emprendido esfuerzos, como los que surgen a partir de la Agenda 2030 de la Organización de las Naciones Unidas, así como de la Declaración de Ishikawa sobre diversidad cultural de octubre de 2016, que se alinean con el compromiso de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (2015) para promover el desarrollo sostenible mediante el reconocimiento de los saberes tradicionales y el beneficio de su práctica, tanto ambiental como culturalmente.

En la Escuela Nacional de Conservación, Restauración y Museografía (ENCRyM) del Instituto Nacional de Antropología e Historia hay un espacio dedicado a la búsqueda de nuevos enfoques para las prácticas comunes de conservación, donde se mantienen vivas las tradiciones y se aprende de la naturaleza: el Laboratorio de Tecnologías Tradicionales y Sostenibles para la Conservación del Patrimonio Cultural (Tectrad) (Figura 1). Este proyecto nació del interés y el respeto por el conocimiento de las tecnologías y prácticas tradicionales utilizadas en todo el mundo para la conservación de las edificaciones, objetos y colecciones, las cuales han protegido nuestras herencias culturales durante generaciones y ofrecen un enfoque alternativo a los métodos occidentales, que a menudo se basan en productos químicos tóxicos y técnicas costosas para la intervención y restauración. La espina dorsal de nuestro trabajo es la colaboración, ya que para la investigación es la forma más eficaz de recopilar datos y preservar los conocimientos tradicionales de una manera que a la vez sea informativa y promueva el desarrollo de habilidades centrándose en la interacción y el intercambio de saberes.

En Tectrad, hemos evaluado el uso de adhesivos derivados de plantas, la limpieza con sustancias obtenidas de agaváceas y con propiedades semejantes a las del jabón, por lo que son denominadas saponinas, para trabajar sobre superficies arquitectónicas, material pétreo, algodón o sedas, y recientemente, la aplicación de extractos parciales a partir de un proceso de destilación (hidrolatos) de plantas endémicas para



controlar plagas en edificaciones construidas sobre tierra y también en colecciones etnológicas (Figura 2). Por otra parte, prestamos atención en algunas comunidades donde aún se emplean las prácticas tradicionales para la mitigación de insectos, ya que cuentan con materiales locales cuyo uso es eficaz y sostenible. Lo anterior indica que existe una amplia variedad de métodos que, a partir de su uso tradicional, podrían adaptarse a las necesidades de conservación e introducirse en los espacios patrimoniales y museísticos para evitar el impacto ambiental de las fumigaciones comunes.

Experimentación con técnicas tradicionales

Actualmente estudiamos el adhesivo de origen prehispánico conocido como *tzauhtli*, por su nombre en náhuatl, que se obtiene del mucílago contenido en los seudobulbos de las orquídeas (Figura 3). Desde 2011 hemos hecho investigaciones para comprobar sus cualidades y determinar si puede convertirse en una alternativa idónea para la restauración.

En 2015 iniciamos con pruebas de limpieza para comparar entre las saponinas y distintos agentes sintéticos comúnmente empleados en restauración. Los resultados positivos que hemos obtenido con las sustancias derivadas de agaváceas han generado numerosas observaciones, tesis y artículos científicos y de difusión. Además, debido a que no contaminan, las saponinas son una opción amigable que no afecta al ambiente. La meta es continuar con la verificación de todas sus opciones de uso, pues es imperativo encontrar alternativas ecológicas para los procesos de limpieza, no sólo en la conservación, sino también en la industria.

En 2017 realizamos pruebas con saponinas extraídas de plantas endémicas con el objetivo de obtener una secuencia estándar. Hicimos análisis colorimétricos de probetas con suciedad polar y no polar, para luego limpiarlas con una selección de sustancias obtenidas a partir de las plantas. En los exámenes medimos características como tensión superficial, residuos de surfactantes, facilidad de enjuague y pH. En 2019, con el objetivo principal de comprobar la eficacia de la aplicación de saponinas para retirar suciedades de diversa naturaleza sobre distintos sustratos de piedra, jabelga pigmentada y aplanados de morteros de cal, empezamos a organizar cursos de limpieza de superficies arquitectónicas, los cuales continuaron de manera remota durante la pandemia de covid-19 y, tras regresar al laboratorio, versaron sobre alternativas de limpieza naturales y no tóxicas como parte de la oferta de cursos

Figura 1.
Vista desde el Laboratorio de Tecnologías Tradicionales y Sostenibles para la Conservación del Patrimonio Cultural (Tectrad) hacia algunas de las plantas que aquí se estudian.
Fuente: archivo de la autora.

Figura 2.
Estudiante de la Escuela Nacional de Conservación, Restauración y Museografía (ENCRyM) del Instituto Nacional de Antropología e Historia produciendo hidrolatos de salvia blanca cultivada en el invernadero Tectrad.
Fuente: archivo de la autora.

del eje técnico-científico de la Maestría en Conservación y Restauración de Bienes Culturales Inmuebles. Desde entonces, nos han invitado a participar en conferencias, talleres y consultorías, a instituciones de educación superior en la República mexicana, la Universidad de California en Los Ángeles, el Instituto de Investigación Getty en California, la Organización de Ministros de Educación del Sureste Asiático, el Instituto Nacional de Patrimonio Cultural del Ecuador y el Instituto Goethe en Alemania.

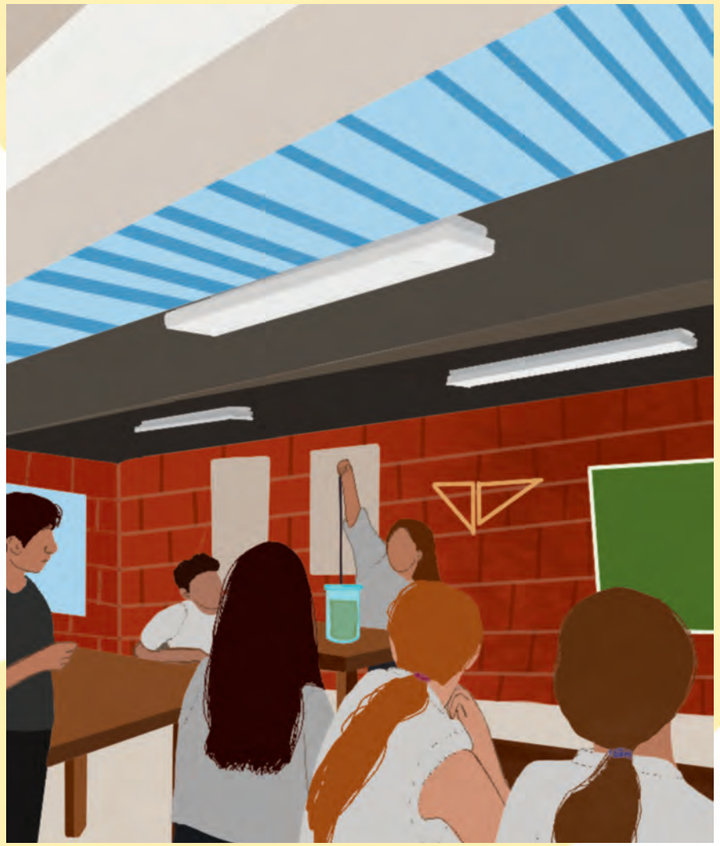
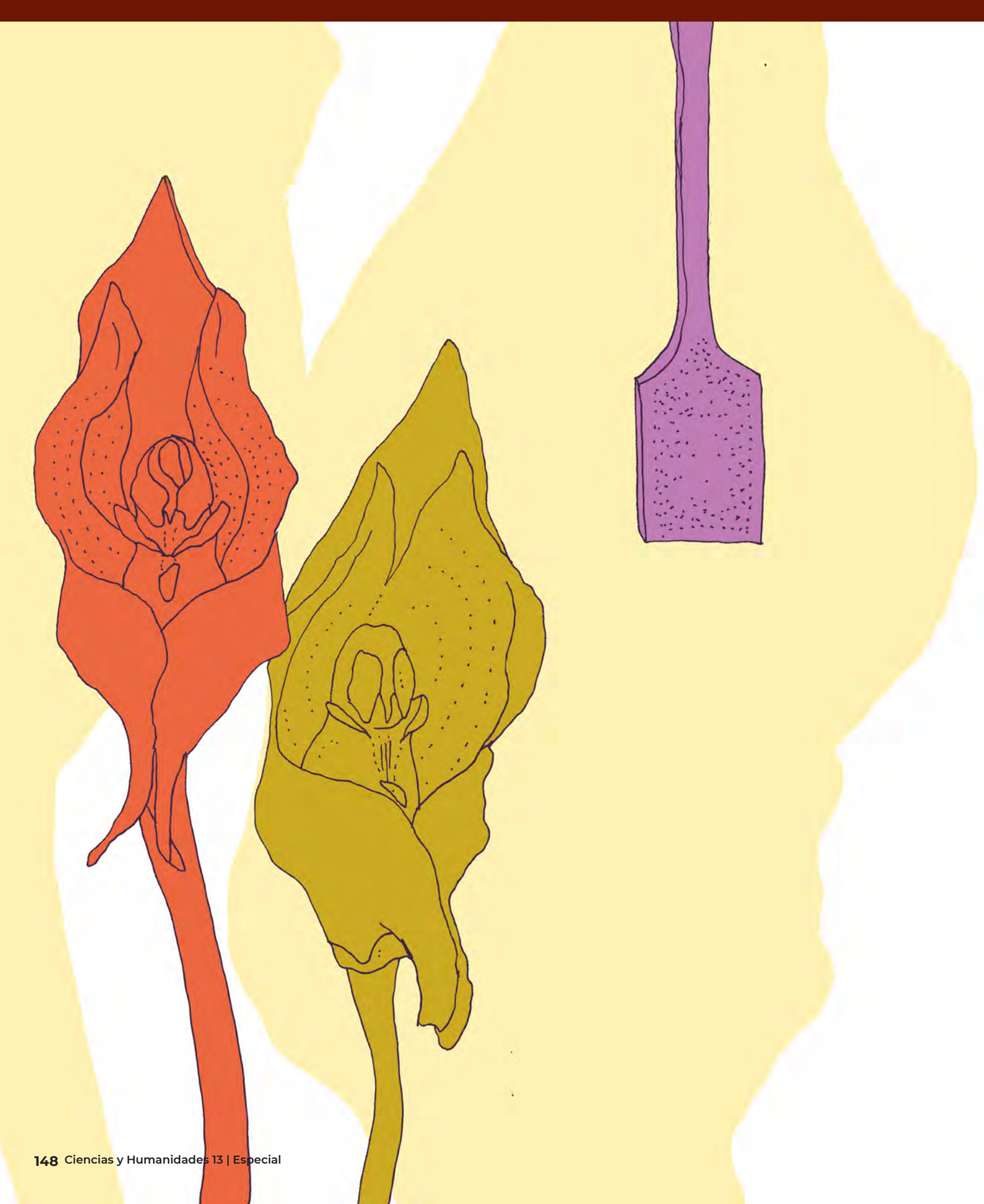


Figura 3.
Estudiantes de licenciatura de la ENCRyM realizando pruebas con mucílagos.
Fuente: archivo de la autora.



El invernadero

En el invernadero Tectrad hemos desarrollado un sistema de producción autosostenible mediante el cultivo de especímenes de plantas y, con su reintegración ecológica, buscamos promover su uso y valorización como patrimonio biocultural. El estudio de estos materiales no sólo ofrece una alternativa sostenible para el tratamiento del patrimonio cultural, sino que permite la recopilación y documentación de esta información para, a su vez, preservar el patrimonio intangible que constituyen las prácticas tradicionales.

En el invernadero resguardamos, conservamos y cultivamos especies endémicas —parte de la herencia etnobiológica del país— y contamos con al menos un ejemplar vivo de cada orquídea referida tanto por cronistas como por historiadores; además, hemos reproducido muchas de estas plantas. Nuestra investigación se ha extendido al estudio y aplicación de otros ejemplares del patrimonio biocultural mexicano, por ejemplo, plantas productoras de saponinas, como las agaváceas, de las cuales tenemos más de un centenar de especímenes vivos que pertenecen a seis especies distintas. Con el cultivo de estas plantas hemos alcanzado una producción que permite hacer pruebas e investigación, además de proveer a los talleres con material para la restauración; se trata de una producción sostenible que no implica un daño al ambiente.

Recuperación del patrimonio biocultural

Con este trabajo pretendemos reunir conocimientos tangibles —como el científico y los saberes tradicionales— e intangibles —costumbres, valores y creencias ancestrales— para dar forma a nuevas vías en las prácticas de intervención ecológica. Con ello, analizamos y cuantificamos los compuestos eficaces y su aplicación en el cuidado de edificaciones, objetos y colecciones. Además, en conferencias, talleres y clases tanto de licenciatura como de posgrado compartimos los hallazgos, recetas y métodos, que también publicamos en estudios de caso, para que sean accesibles y puedan emplearse activamente.

El objetivo es relatar, adaptar y compartir cómo se usan estos métodos y materiales, para convertirlos en prácticas comunes en la restauración, conservación y cuidado de colecciones. Muchas de estas técnicas ya se utilizan en la limpieza de pintura mural, textiles y superficies arquitectónicas, tanto por profesores como por estudiantes de la ENCRyM y otras escuelas. Además, producimos mitigadores de insectos que suelen encontrarse como plagas en colecciones bibliográficas, y también elaboramos adhesivos empleados en la restauración de pintura de caballete, textiles e instrumentos musicales.

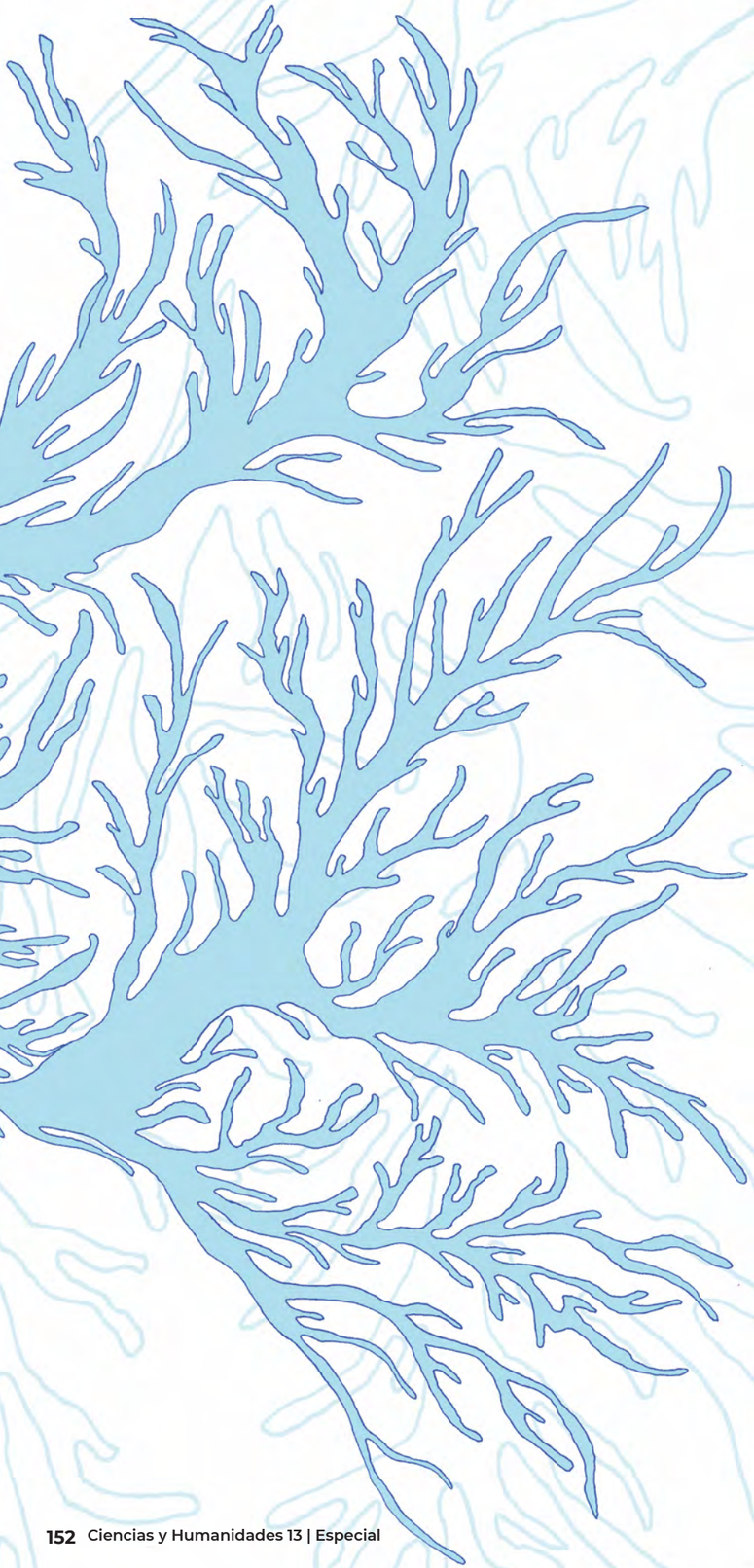
La conservación y práctica de las tecnologías tradicionales tiene un efecto directo en la recuperación del patrimonio biocultural, ya que fomenta el uso de materiales naturales orgánicos y no tóxicos, y también ayuda a reforzar y defender un enfoque holístico y comunitario de la conservación contemporánea. Por ello, es importante que este espacio de experimentación y estudio de tecnologías tradicionales para la conservación del patrimonio cultural se transforme en una opción educativa con mayor alcance y se genere una red de profesionales que, al igual que nuestro grupo de colaboradores, comprendan la importancia de esta labor.

Referencias

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2015). *Policy for the integration of a sustainable development perspective into the process of the World Heritage Convention*. https://whc.unesco.org/en/sustainabledevelopment/

Plataformas para la soberanía tecnológica

Coordinación de Repositorios, Investigación y Prospectiva
Conahcyt.



Con el objetivo de coordinar los esfuerzos de organización de infraestructuras tecnológicas soberanas de alto rendimiento y centros de datos, análisis e investigación prospectiva, así como generación y mantenimiento de los repositorios a su cargo, además de desarrollo de software, el Conahcyt estableció la Coordinación de Repositorios, Investigación y Prospectiva (CRIP). Su propósito es generar estrategias destinadas a innovar, medir y ajustar oportunamente cualquier tecnología que se adopte y permita entrar en un ciclo de transformación incremental, requerido para afrontar los retos del Consejo, de otras dependencias del gobierno federal, pero, sobre todo, del servicio brindado a las comunidades de humanidades, ciencias, tecnologías e innovación (HCTI) en México.

En la búsqueda de la soberanía tecnológica nacional y el empleo eficiente de los recursos públicos, el Conahcyt ha generado soluciones tecnológicas inteligentes y de cómputo basadas en software libre y código abierto, para avanzar hacia la independencia del uso de aplicativos y bases de datos con diversos esquemas de licenciamiento de código cerrado, que tienen un propietario y costos onerosos. Además, por conducto de la CRIP, y en colaboración con algunos Centros Públicos, se han llevado a cabo proyectos emblemáticos de innovación tecnológica basados en las experiencias de diversas organizaciones nacionales y extranjeras dedicadas a las tecnologías de la información y del cómputo; esto, con la intención de convertir al Conahcyt en un referente mundial en dichos campos. Así, los proyectos de infraestructura tecnológica soberana se distinguen por conducir a la colaboración en materia de procesamiento, resguardo y seguridad, tanto de los datos como de los sistemas que operan en el Consejo, con características de alto desempeño, disponibilidad y confiabilidad, para producir bienes y servicios en beneficio de la sociedad, la industria, el gobierno, la academia y el ambiente, lo que genera un círculo virtuoso, tal como lo plantea el Modelo Mexicano de Innovación (Conahcyt, s. f.).

Sistema Nacional de Información

En cumplimiento al mandato de la primera Ley General en materia de Humanidades, Ciencias, Tecnologías e Innovación, desde la CRIP se administra, opera y mantiene disponible el Sistema Nacional de Información, el cual, en coordinación con las demás unidades administrativas del Consejo, brinda el acceso abierto a los resultados y demás información derivada de las actividades de investigación en HCTI apoyadas por el Estado. La publicación en el *Diario Oficial de la Federación* de los «Lineamientos generales de integración, organización y funcionamiento del Sistema Nacional de Información en Materia de Humanidades, Ciencias, Tecnologías e Innovación» (Conahcyt, 2024) implicó la creación de una plataforma con el objetivo de facilitar el acceso abierto a la información y garantizar, de esta manera, el derecho humano a la ciencia.

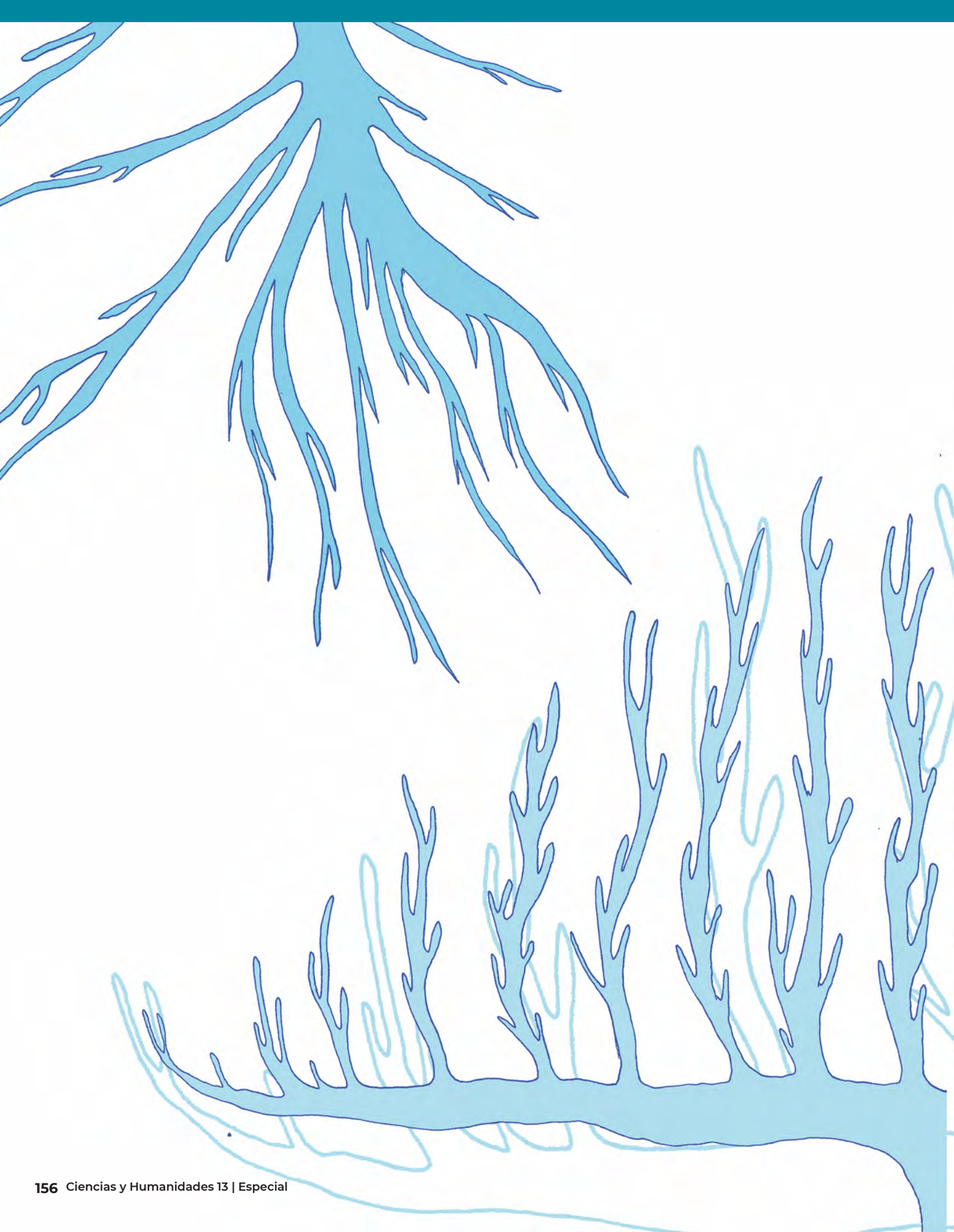
Para ello, el Conahcyt establece, promueve y articula los repositorios informáticos (temáticos, institucionales e interinstitucionales) que interoperan con el Repositorio Nacional, configurado con estándares internacionales para articular y dar certeza de los contenidos, así como seguridad a los procedimientos de acceso, recuperación, autentificación y evaluación de la información. En conjunto con el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California, actualmente está en desarrollo un componente para organizar metadatos en el Repositorio Concentrador o Nacional (también llamado Co-Meta), así como un Repositorio Centralizado de Ciencia Abierta, para agilizar el depósito y garantizar la preservación, seguridad y

divulgación de la producción en HCTI, lo que abona al impulso de la ciencia abierta y contribuye a garantizar la democratización del acceso a la información científica al alcance de los distintos actores sociales.

Ápeiron y SALSA

Por otra parte, en alianza con un centro de investigación especializado en el desarrollo de tecnologías de la información y comunicación (INFOTEC), se desarrollaron dos herramientas importantes: Ápeiron (https://apeiron.conacyt.mx) y SALSA (http://salsa.crip.conacyt.mx/devops/). La primera es una solución tecnológica de software libre para que las personas que operan servicios produzcan sus herramientas y aplicativos desde una plataforma sin la necesidad de programar (*codeless*), lo que reduce el tiempo y los costos en el diseño de software especializado para el sector público. Con Ápeiron, el Conahcyt mejoró sustancialmente los procesos en las convocatorias al facilitar una plataforma de interfaz amigable para las y los usuarios finales, sin repercutir en gastos onerosos para el presupuesto institucional.

Mientras tanto, SALSA es un ecosistema para el desarrollo de software que habilita para los equipos el uso de las tecnologías de la información y las comunicaciones de última generación en las actividades de levantamiento de requerimientos, análisis de procesos, diseño de sistemas e implementación de software. SALSA funge como un ambiente completo para fabricar productos de software, administrar los procesos de compilación, infraestructura de pruebas, puesta en operación, gestión de equipos desarrolladores y administración de componentes reutilizables, así como herramientas requeridas para operar con tecnología de contenedores. Con este ecosistema, se impulsa el uso y la creación de código abierto para fortalecer el valor y principio de la



soberanía e independencia tecnológica de todas las herramientas y aplicativos que se desarrollan en colaboración con el Conahcyt.

Por ejemplo, en el ambiente de SALSA se originó el proyecto emblemático del Conahcyt Rizoma (https://rizoma.conahcyt.mx/), una plataforma informática pública, soberana y disruptiva que gestiona y resguarda los datos de las comunidades de HCTI, con lo que permite atender las necesidades informáticas del servicio público y optimizar los trámites ante el Consejo. Además, Rizoma tiene la expectativa de convertirse en una red que interconecte a todas las personas investigadoras, académicas, trabajadoras, y a las organizaciones, para integrar una comunidad fuerte, cordial y generosa en la articulación de saberes y soluciones. Desde Rizoma se tiene considerada la vinculación con el Repositorio Nacional para que se garantice el acceso universal al conocimiento.

Ecosistemas Nacionales Informáticos

Por otro lado, los Ecosistemas Nacionales Informáticos (ENI, https://eni.conahcyt.mx/) son espacios colaborativos donde se publican resultados de investigaciones financiadas por el Estado, para abonar al acceso abierto y al derecho humano a la ciencia. En el proceso de conceptualización de este proyecto, y en alianza con el Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial, surgieron distintas preguntas: ¿es posible que desde un Centro Público se propongan componentes de software libre y se pongan a disposición de la población con licencias abiertas?, ¿se pueden diseñar herramientas que desde su concepción contemplen criterios de accesibilidad web para personas con discapacidad?, ¿es viable abrir datos de investigaciones financiadas con recursos públicos y visualizarlos en una sola herramienta a través de una infraestructura de conocimiento geoespacial?,

¿vale la pena apostar por una metodología que abone al largo camino de la interoperabilidad de datos en el país? Y, en respuesta a estas preguntas, surgieron dos proyectos en el marco de los ENI: el Sistema de Diseño y Accesibilidad para la Investigación (Sisdai, https://sisdai.conahcyt.mx/) y el Gestor de Mapas (Gema, https://gema.conahcyt.mx/).

Un sistema de diseño consiste en un conjunto de patrones conectados y prácticas compartidas, con una organización coherente, para servir a los propósitos de un producto digital. Desde el Sisdai se busca que dichos productos sean accesibles, según lo estipula el Consejo Nacional para Prevenir la Discriminación; esto es, un sitio web accesible, entendido como aquel que permite que el mayor número posible de personas puedan percibir, entender, navegar e interactuar con la web correctamente. Esto incluye a personas con diferentes discapacidades: visual, auditiva, motora, cognitiva o neurológica, así como a personas adultas mayores y otras poco familiarizadas con el uso de internet.

Los resultados de las investigaciones incluidas en los capítulos de los ENI pueden integrarse en un portal web de acceso público. Para el desarrollo de estos portales se implementó el Sisdai, el cual fue construido contemplando buenas prácticas de diseño de interfaz, de experiencia usuaria y de desarrollo, conforme a lo establecido en el consorcio World Wide Web con apego a las recomendaciones de las Pautas de Accesibilidad al Contenido de la Web. Las bibliotecas de código abierto del Sisdai (http://codigo.conahcyt.mx/sisdai/) ya están disponibles para que las usen los equipos de investigación.

Por su parte, considerando que algunos de los resultados de investigación se disponen como datos geográficos, Gema permite integrar información estructurada de HCTI por medio de una infraestructura de conocimiento geoespacial con estándares abiertos. También permite visualizar, en el mismo lugar, información y datos sobre agua, cultura, educación, energía y cambio climático, salud, seguridad humana, sistemas socioecológicos, soberanía alimentaria, agentes tóxicos y procesos contaminantes, vivienda y otras capas del contexto nacional. Además, se ha desarrollado el proceso de estructuración, transformación, espacialización y carga para asegurar que todas las capas de información en Gema sean interoperables entre sí; de esta manera, es posible visualizar una capa del Instituto Nacional de Estadística y Geografía junto con una de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, y al mismo tiempo añadir una capa de los resultados de una investigación de algún capítulo de los ENI. A la fecha, Gema ya cuenta con cientos de capas de información que se pueden consultar en línea.

Referencias

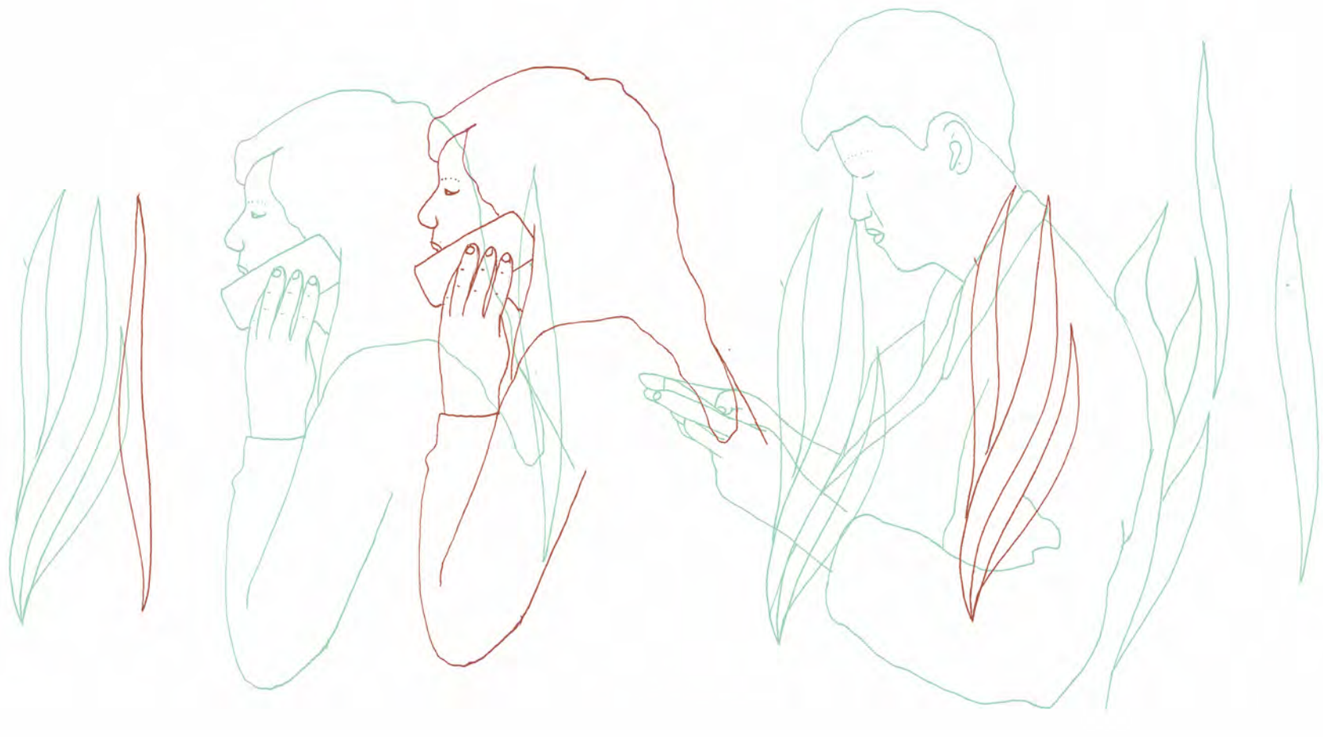
Conahcyt. (2024, 8 de marzo). Lineamientos Generales de integración, organización y funcionamiento del Sistema Nacional de Información en Materia de Humanidades, Ciencias, Tecnologías e Innovación. *Diario Oficial de la Federación*. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5719584&fecha=08/03/2024#gsc.tab=0

_____ (s. f.). *El Modelo Mexicano de Innovación: la Pentahélice y la Innovación Abierta*. Dirección Adjunta de Desarrollo Tecnológico, Vinculación e Innovación. https://conahcyt.mx/conahcyt/areas-del-conahcyt/desarrollo-tecnologico-e-innovacion/

Autobús eléctrico mexicano, hito de la movilidad

Roberto Gottfried
Director ejecutivo y cofundador de MegaFlux.

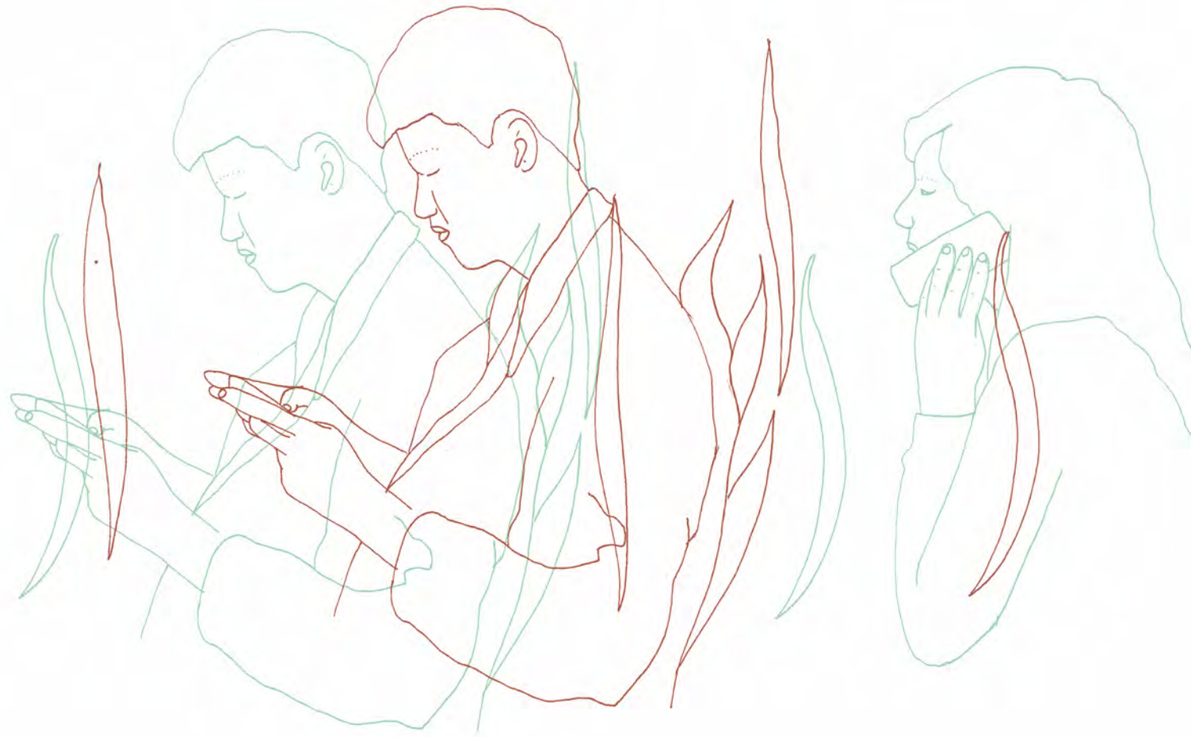
Felipe Gallego
Cofundador de MegaFlux.



Antecedentes

México cuenta con la tecnología para desarrollar sus propios autobuses eléctricos, lo cual es fruto de una larga historia. Hace más de 114 años nació el grupo Potencia Industrial, que sirve a nuestro país en materia de desarrollo industrial y tecnológico, específicamente, en el ámbito de la maquinaria eléctrica y sus múltiples aplicaciones. En el despliegue de la industria nacional, ha participado durante cuatro generaciones contribuyendo con miles de motores y generadores, los cuales se han instalado tanto en el sector público (Petróleos Mexicanos, Comisión Federal de Electricidad, Comisión Nacional del Agua y Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles, por mencionar sólo algunos) como en el privado.

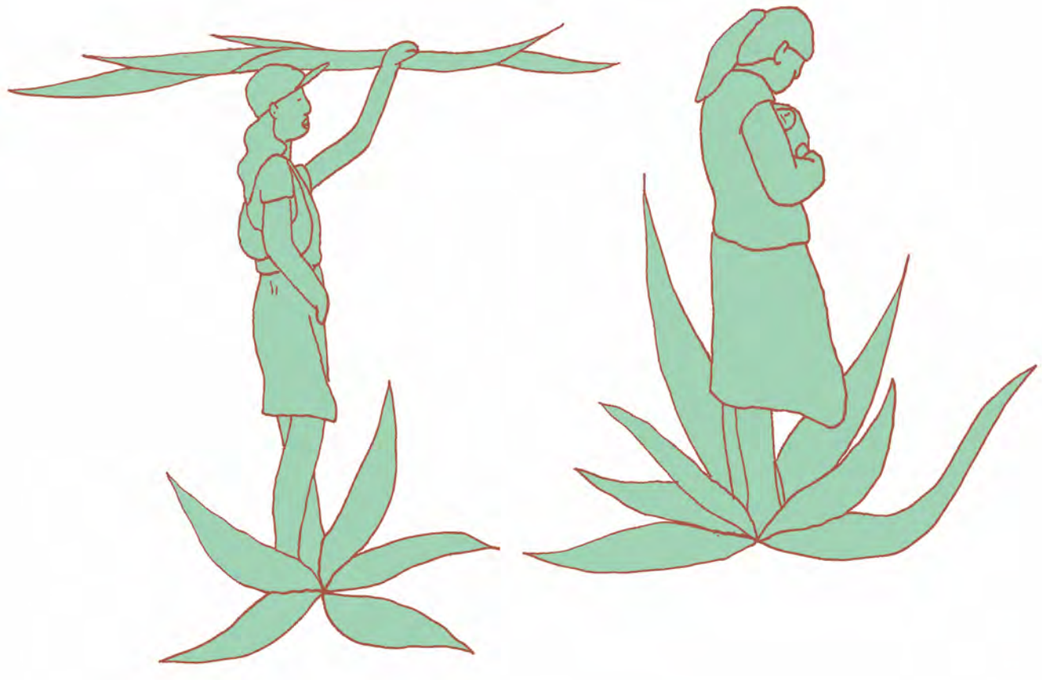
Hace 15 años, Potencia Industrial comenzó a abordar la movilidad eléctrica ante la exigencia de ofrecer siempre productos de alta eficiencia operativa y con el más alto índice de integración nacional en el mercado, con un enfoque de diseño y manufactura local. Lo primero fue el desarrollo y prototipado de un sistema de tracción avanzado a base de baterías de litio con excelentes resultados de eficiencia y longevidad. Por ejemplo, se desarrollaron 15 taxis reconvertidos para la Ciudad de México que han probado ser una muy buena opción para sus operadores, unidades de reparto urbano de todas las modalidades y tamaños, y recientemente, vehículos de micromovilidad urbana en alianza con socios bolivianos, que ya están disponibles para clientes en todo México.



Integración a la medida de México

MegaFlux, empresa mexicana de base tecnológica enfocada en movilidad eléctrica y perteneciente al grupo Potencia Industrial, desarrolla un autobús eléctrico urbano de 9.5 m de largo. Es un proyecto que cumple los criterios del modelo mexicano de innovación soberana para el bienestar a partir de la articulación de los elementos de la pentahélice, que por primera vez para nuestro país integra como elementos fundamentales a la sociedad y al ambiente, sumados a los tradicionalmente vinculados: gobierno, academia e industria. En este desarrollo se conjugan la experiencia de la industria nacional —por medio de MegaFlux y la empresa de transporte Grupo DINA— y la capacidad de investigación de instituciones de educación superior —como la Universidad Nacional Autónoma de México, la Universidad Autónoma Metropolitana, el Instituto Politécnico Nacional y Centros Públicos, como el Centro de Tecnología Avanzada, con el apoyo del Conahcyt—, en articulación con la empresa estatal Litio para México y gobiernos locales —entre los cuales a la fecha figuran el de Sonora y el de la Ciudad de México—.

El desarrollo de este autobús tiene el índice más alto posible de integración nacional en su manufactura: se estima que el 65 % del costo total del vehículo proviene de cadenas de proveeduría mexicana, además de que implementa varios avances tecnológicos de diseño y fabricación nacional. En gran medida, la experiencia y el liderazgo en la manufactura de camiones y autobuses del Grupo



DINA, empresa mexicana de referencia en el ramo durante los últimos 75 años, junto con las capacidades industriales de las empresas, también orgullosamente mexicanas, MegaFlux y Potencia Industrial en la elaboración de componentes eléctricos, brindan la posibilidad de que para el año 2024 México acceda a la producción industrial de este autobús.

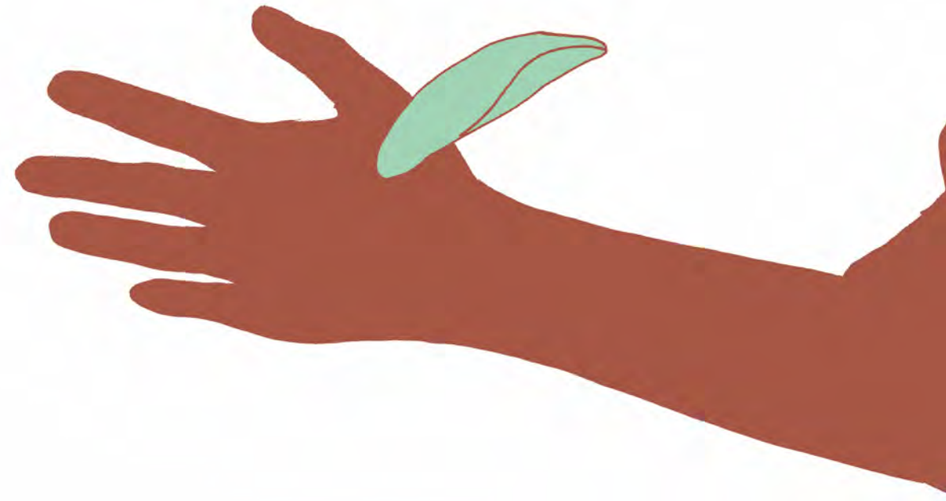
Algunas partes de las innovaciones tecnológicas que tendrá el autobús son: el sistema de tracción eléctrico; el diseño y la producción de las baterías de litio; los arneses y el sistema de distribución de potencia y descarga de alto voltaje; así como el diseño, la construcción e implementación de los sistemas para controlar las funciones del vehículo, aunado al diseño mecánico del chasis y de los interiores para choferes y personas usuarias.

Este autobús pretende ser una respuesta soberana a las necesidades de transporte público en nuestro país, considerando que más de la mitad de la población usa este medio, principalmente quienes tienen menores ingresos. Asimismo, contribuye a la transición energética (Agarwal *et al*., 2020; D'Odorico *et al*., 2018; Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía, 2018) y a cumplir con los compromisos adquiridos por México para reducir las emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero (Presidencia de la República, 2022), ya que el transporte es uno de los sectores de mayor consumo energético y con las más elevadas emisiones (entre el 25 % y el 30 %) a nivel nacional (Organización de las Naciones Unidas-Habitat, 2017; Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2020; Ge *et al*., 2021). Además, hay que resaltar que las emisiones contaminantes de la actual flota de transporte público son responsables de muchos problemas de salud en la población (Centro Mexicano de Derecho Ambiental, 2021; Secretaría de Energía, 2024).

Conclusión

En suma, no se trata de tener un modelo único de autobús, sino de habilitar la posibilidad de que en México se diseñen y produzcan autobuses eléctricos para las diversas necesidades de la población, y que no dependamos sólo de las opciones existentes que proveen las empresas extranjeras. Así, durante el segundo semestre de 2024 se llevarán a cabo las pruebas de desempeño de este autobús eléctrico mexicano en diversas ciudades del país, con lo que se espera documentar que este desarrollo nacional cumple con las expectativas y mejora las características técnicas de los modelos extranjeros equivalentes. De esta forma, los gobiernos estatales contarán con una alternativa nacional para incorporar dentro de sus flotillas de transporte, además de que se podrán crear miles de empleos con un enfoque de mejora constante de los autobuses, de su construcción y de su mantenimiento, para generar una nueva rama industrial en México, basada en tecnología nacional y que esté enfocada en suministrar el vital servicio del transporte público, del cual depende la mayoría de la población.

Con el reciente apoyo del Conahcyt, sumado a distintos esfuerzos y voluntades, México contará con una oferta competitiva y soberana de autobuses eléctricos en beneficio de toda su población, con lo que se establecen las bases para una transición energética en el ámbito del transporte, liderada por el sector privado nacional comprometido con la generación de soluciones para los grandes desafíos de nuestro país.



Referencias

Agarwal, S., Yu, X. y Manthiram, A. (2020). A pair of metal organic framework (MOF)-derived oxygen reduction reaction (ORR) and oxygen evolution reaction (OER) catalysts for zinc-air batteries. *Materials Today Energy, 16*, 100405. https://doi.org/10.1016/j.mtener.2020.100405

Centro Mexicano de Derecho Ambiental. (2021, 7 de octubre). *Emisiones del sector transporte: Urge acelerar el cambio tecnológico y cultural.* https://www.cemda.org.mx/cop28/emisiones-del-sector-transporte-urge-acelerar-el-cambio-tecnologico-y-cultural/

Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía. (2018, 26 de abril). *Estrategia de transición para promover el uso de tecnologías y combustibles más limpios*. https://www.gob.mx/conuee/acciones-y-programas/estrategia-de-transicion-para-promover-el-uso-de-tecnologias-y-combustibles-mas-limpios-2016

D'Odorico, P., Davis, K. F., Rosa, L., Carr, J. A., Chiarelli, D., Dell'Angelo, J., Gephart, J., MacDonald, G. K., Seekell, D. A., Suweis, S. y Rulli, M. C. (2018). The Global Food-Energy-Water Nexus. *Reviews of Geophysics, 56*(3), 456-531. https://doi.org/10.1029/2017RG000591

Ge, M., Friedrich, J. y Vigna, L. (2021, 2 de septiembre). *Cuatro gráficos que explican las emisiones de gases de efecto invernadero por país y por sector*. World Resources Institute. https://es.wri.org/insights/cuatro-graficos-que-explican-las-emisiones-de-gases-de-efecto-invernadero-por-pais-y-por

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2020, 11 de septiembre). *Descarbonización del transporte, clave para lograr las metas de mitigación de GEI* (comunicado de prensa). https://www.gob.mx/inecc/prensa/descarbonizacion-del-transporte-clave-para-lograr-las-metas-de-mitigacion-de-gei-252436.

Organización de las Naciones Unidas-Habitat. (2017, 23 de mayo). *Contaminación, automóviles y calidad del aire*. https://onuhabitat.org.mx/index.php/contaminacion-automoviles-y-calidad-del-aire

Presidencia de la República. (2022, 17 de junio). *Para 2024, México producirá 35 % de energías limpias, reafirma presidente López Obrador* (comunicado de prensa). https://www.gob.mx/presidencia/prensa/para-2024-mexico-producira-35-de-energias-limpias-reafirma-presidente-lopez-obrador

Secretaría de Energía. (2024, 23 de enero). Acuerdo por el que se aprueba y publica la actualización de la Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios. *Diario Oficial de la Federación*. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5714865&fecha=23/01/2024#gsc.tab=0

Tintes naturales de los pueblos ñöhñu

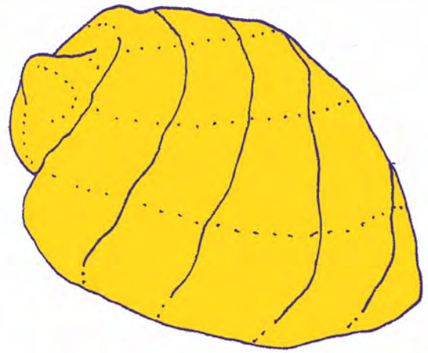
Memorias de los saberes, resistencia al olvido

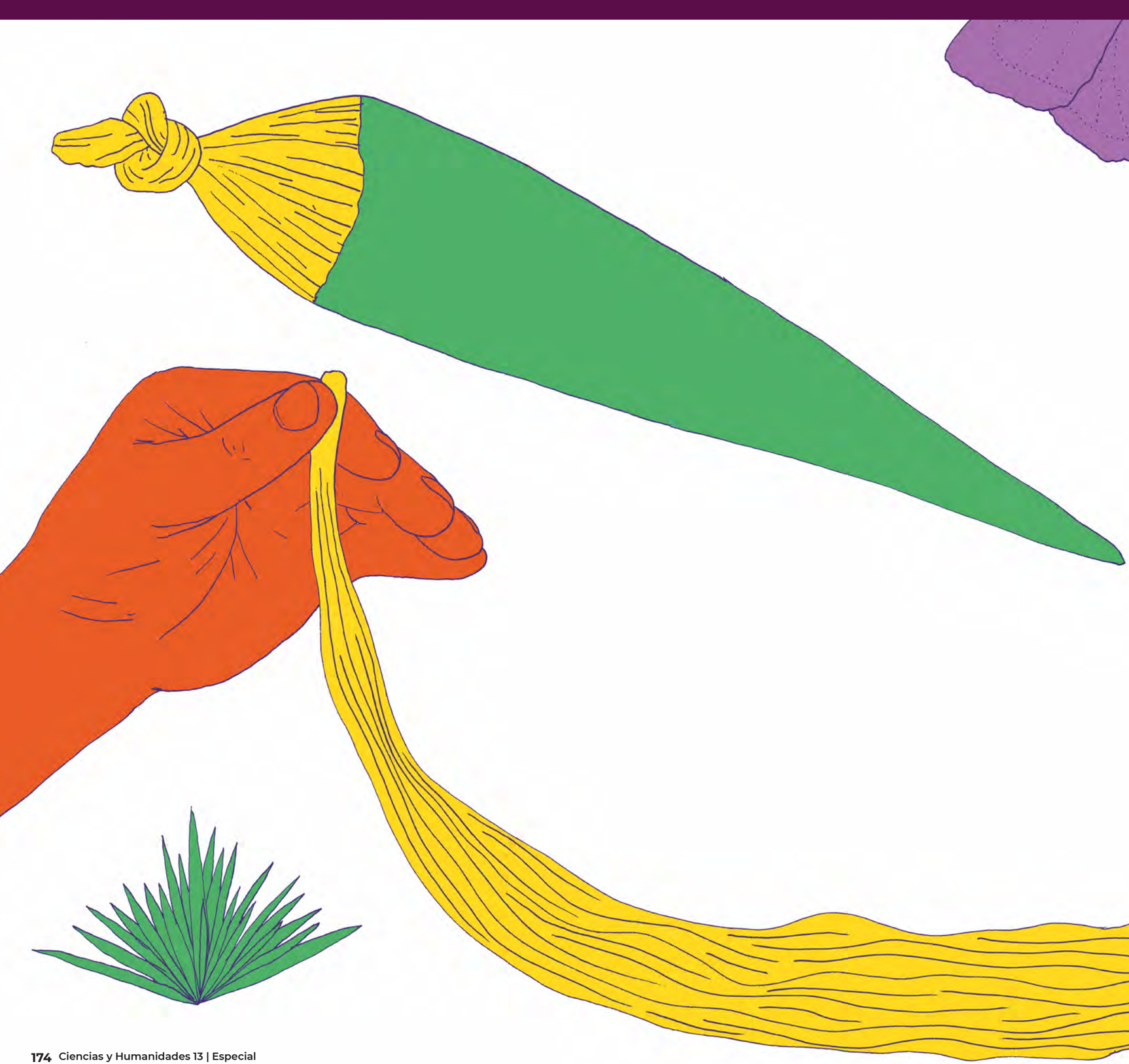
Mario Arturo Hernández Peña
Director general del Jardín Etnobiológico y Área Natural Protegida El Charco del Ingenio.

José Viccon Esquivel
Especialista del Jardín Etnobiológico y Área Natural Protegida El Charco del Ingenio.

Desde sus orígenes, el ser humano ha estado en contacto con diversos elementos de la naturaleza. En México, que tiene una gran variabilidad en su espacio geográfico y está entre las cinco naciones con mayor riqueza de plantas, se combinaron varios factores para motivar el desarrollo de múltiples culturas en su territorio. Es así que las interacciones de los grupos humanos con su entorno natural favorecieron el surgimiento de sitios con una alta diversidad biocultural y, derivado de sus actividades en diferentes ecosistemas, los distintos pueblos originarios lograron acumular saberes que les han permitido subsistir, tanto en términos del aprovechamiento como por la permanencia de elementos comunes que están en el origen de sus mitos, valores y una cosmovisión íntimamente vinculada con un sentido respetuoso y el manejo sustentable del territorio. Así, en muchas comunidades está presente un enfoque que implica el uso equilibrado de los recursos naturales, basado en saberes tradicionales que, al contrario de la visión de mercado, conlleva una relación integral y armoniosa con el entorno, producto de una recolección mesurada y respetuosa.

Los distintos elementos que integran la estructura natural de un territorio no sólo se han aprovechado como medicina, alimentos, materiales para la construcción, la vestimenta, entre otros, sino que el ser humano también los ha utilizado para cubrir otras necesidades y formas de expresión. Tal es el caso del uso de pigmentos y colorantes, que en su mayoría se obtienen de las plantas por medio de diversos métodos de extracción y mezclas; aunque también se conocen otros elaborados a partir de insectos y minerales. A lo largo del tiempo, el uso de colorantes naturales ha tenido un papel muy importante, ya que se han aplicado no solamente para el teñido de telas e hilos, sino también para expresar distintos motivos en materiales pétreos, fibras vegetales o pieles, como pinturas rupestres, códices





o murales; incluso se han utilizado para pintar el cuerpo en diversas manifestaciones populares que forman parte de la identidad y memoria de los pueblos, como danzas, ceremonias y rituales.

Por ejemplo, en la región norte del estado de Guanajuato, en la ribera del río La Laja —de los municipios de Comonfort, San Miguel de Allende y Dolores Hidalgo— persiste una expresión cultural por parte de las poblaciones ñöhñu (otomíes) que se asentaron en dicho espacio. Se trata de la práctica de teñir, transferir o plasmar (a manera de grabados) imágenes con figuras religiosas, vegetales, animales o humanas en tortillas elaboradas con diversas variedades de maíz criollo, alimento que será ofrendado durante los rituales y ceremonias vinculados con el ciclo agrícola, principalmente. Hasta ahora, dicha práctica se ha extendido e incorporado en otro tipo de festejos familiares o comunitarios, como en las bodas.

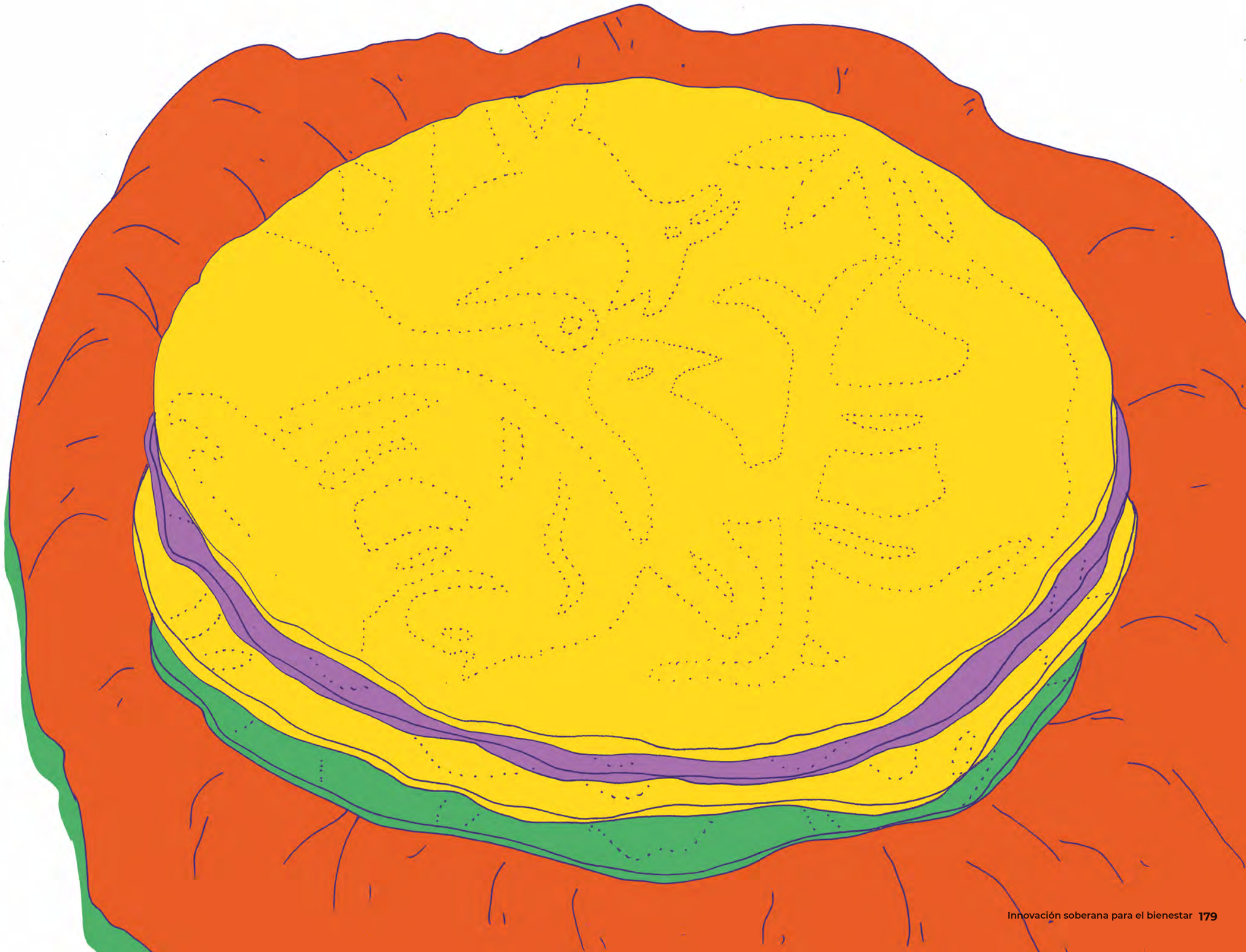
Orígenes

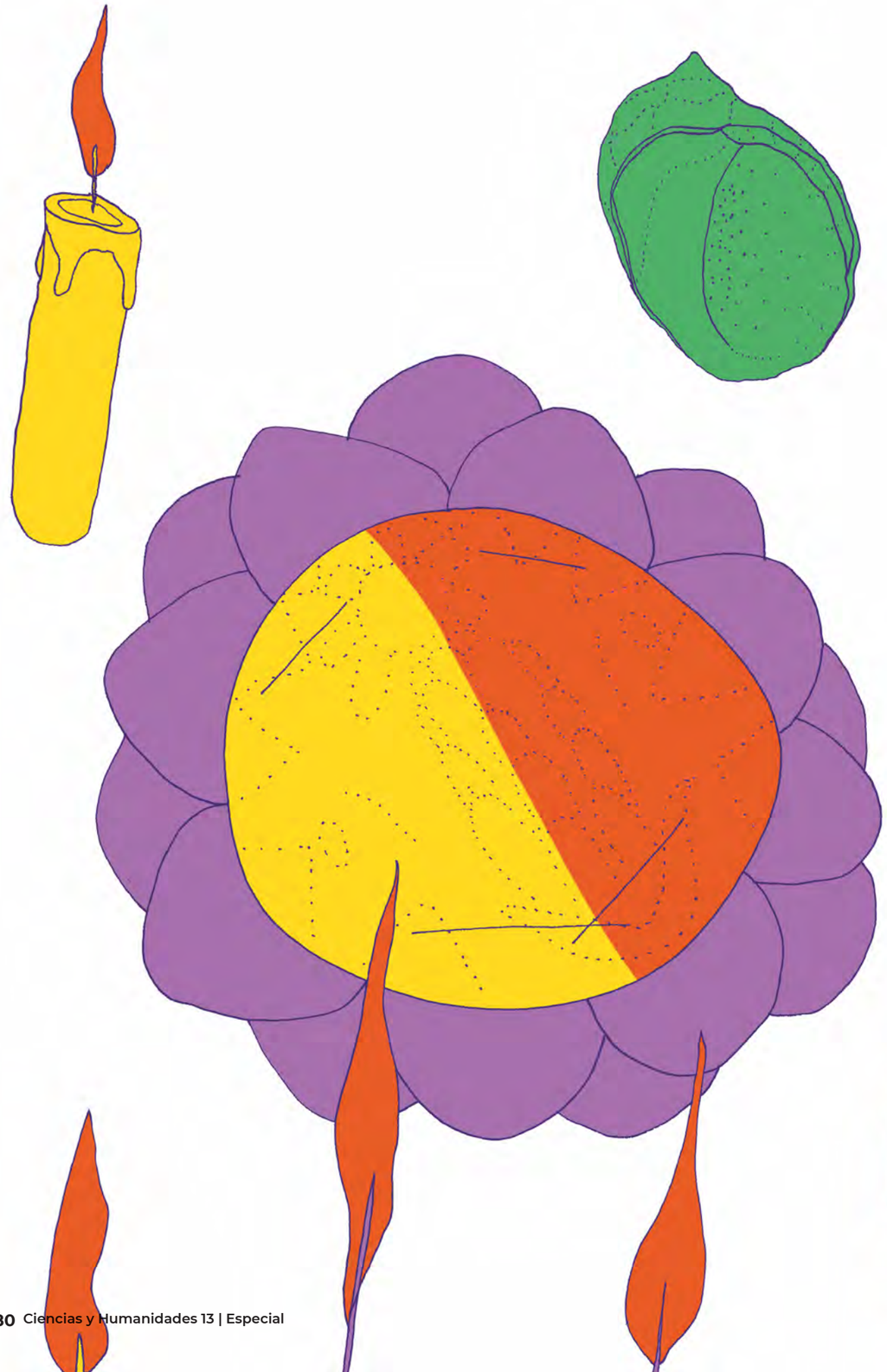
Es difícil precisar cuándo llegaron los primeros habitantes pames a la región, pero se sabe que en las zonas cercanas al río había una superficie poblada por tribus primitivas agrícolas, recolectoras y cazadoras. Este territorio, que atraviesa el río La Laja, contaba con una región rica en especies de flora y fauna, así como condiciones climáticas favorecedoras para permitir múltiples asentamientos humanos. Los poblados de pames que formaban la provincia del río La Laja se desarrollaron de sur a norte. Los estudios lingüísticos han documentado que alrededor del año 3500 a. n. e. los otopames se asentaron en el valle de Toluca, para después separarse en dos grupos: los otomianos, quienes permanecieron en la cuenca y valle central de México; y los pamianos, que se movieron a la frontera norte mesoamericana, en el Bajío y la Huasteca potosina.

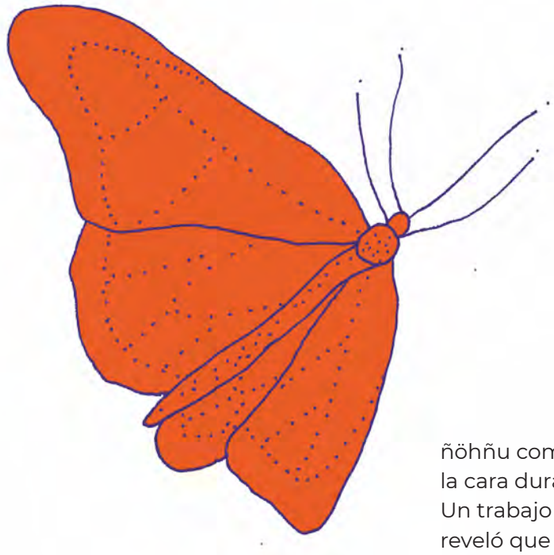
Es este grupo el que llega y se asienta en los márgenes del río La Laja, que atraviesa la región norte de Guanajuato; allí se han encontrado vestigios del aprovechamiento de diversos elementos naturales en la elaboración de tintes a partir de su extracción de hojas, raíces, jugos de frutas, cenizas y polvos de material pétreo para el teñido de lana, una actividad económicamente relevante en la región desde el siglo XVI hasta el XX. Esto explica la existencia de vestigios de molinos, obrajes, tenerías, ingenios, entre otras estructuras de carácter industrial de la época.

Tintes vegetales

En 2021, el Jardín Etnobiológico de Guanajuato El Charco del Ingenio condujo una investigación sobre la flora que utilizan los habitantes de cinco comunidades de origen ñöhñu. La población participante brindó información de suma relevancia para identificar y catalogar 28 especies con propiedades tintóreas.







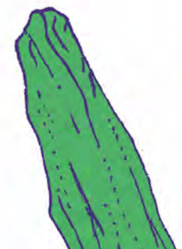
En las prácticas rituales destaca el tinte de tonos violetas a morados a partir de *donku* (nombre en hñöhñu) o muicle (*Justicia spicigera*), un arbusto cultivado en esta región que, después de un proceso de infusión de las hojas, tallos e incluso flores, brinda la coloración a las tortillas. Éstas se ponen a media cocción sobre un molde de mezquite con una imagen grabada en relieve, cuyos símbolos dependen de cada familia y quedan impregnados con pigmentos naturales como el mencionado muicle, o bien la grana cochinilla, insecto proveniente de los nopales.

Otra planta con propiedades tintóreas es el pericón (*Tagetes lucida*), utilizada por las poblaciones ñöhñu como pigmento para la cara durante los rituales. Un trabajo etnolingüístico reveló que el nombre en idioma hñöhñu (*Hmijwä*) significa «cara de dios», en referencia a que, después de secarse y triturarse, esta planta sagrada se quema y las cenizas obtenidas se utilizan para decorar el rostro. La mora (*Morus celtidifolia*) y el *'baxt'ö* o garambullo (*Myrtillocactus geometrizans*) son otros pigmentos generados a partir de moler los frutos frescos.

Una más de las plantas destacadas es el *uzaa*, palo azul o palo dulce (*Eysenhardtia polystachya*), un árbol que al remojar o macerar su tallo durante una noche torna el agua de una coloración azul. Aunque en Guanajuato no se conocen datos sobre su uso en los textiles, sí está documentado su empleo de manera amplia como antiviral en aves y para el tratamiento de problemas renales en seres humanos.

En la Congregación de San Idelfonso Cieneguilla, otra planta sagrada de uso ceremonial es *Argythamnia tinctoria*, recolectada de forma silvestre y utilizada en una comida tradicional denominada «el caldo». La semilla seca del azafrán, nombre dado por los pobladores, sirve para proporcionar un pigmento amarillo para los garbanzos que forman parte del platillo, acompañado con caldo de res y chile rojo, que se prepara durante las festividades patronales del 23 y 24 de enero.

Así, en su momento, el uso de tintes naturales fue una innovación para los pueblos ñöhñu en Guanajuato, un conocimiento que ayudó en varios aspectos de su cultura y que, en la actualidad, aún es una tecnología importante empleada en la medicina tradicional, textiles, cerámica, cestería y artesanías.



SARGAZO
DE NUEVO LA CASA, EL CUARTO, LA VIDA...
LLENA DE SARGAZO.
POR MÁS QUE INTENTO SACARLO...
SIGUE CRECIENDO HASTA LLENARLO TODO.
LUEGO DESPIERTO AGOTADO Y SUDANDO FRÍO.
COMO TODOS...
¿ALGUIEN NO SOÑÓ CON EL SARGAZO AYER?
DIOS...
¡ESTOY HARTO!
TODAS Y TODOS ESTAMOS HARTOS DE LIDIAR CON ÉL AQUÍ Y EN SUEÑOS.
¡PUES YO MÁS!
¿¿QUÉ QUIERES DE MÍ?!
ES SARGAZO, NO TE VA A RESPONDER.
NO...
TAL VEZ NO SI ESTOY DESPIERTO.
ESA NOCHE, EN EL SUEÑO, NO CEDÍ A MI IMPULSO DE LUCHAR CONTRA EL ALGA. ME ADENTRÉ EN EL MAR...

AHÍ LOS PECES ME CONTARON CUÁNTO HA CAMBIADO SU MUNDO, CÓMO SUS AGUAS SE CALIENTAN Y SE HAN LLENADO DE QUÍMICOS HUMANOS QUE LLEVAN AL SARGAZO A CRECER...
HASTA SALIRSE DE CONTROL.
¿Y QUÉ PUEDO HACER?
NO HUBO RESPUESTA. ENTONCES TRATÉ DE IMAGINAR UNA...
Y MIS PENSAMIENTOS SE MATERIALIZARON CON NITIDEZ.
CORRÍ A CASA PARA CONTARLE A MI FAMILIA.
¡LETICIA, TENGO QUE DECIRTE---
LUEGO DESPERTÉ.
¿DECIRME QUÉ?
AHORA NOS REUNIMOS EN EL SUEÑO, BUSCAMOS NUEVAS PERSPECTIVAS, IDEAS Y TECNOLOGÍAS.
NOS DEDICAMOS A ENTENDER EL SARGAZO PARA ASÍ CONTROLARLO Y APROVECHARLO COMO RECURSO.
PARA ASÍ DESPERTAR CON SOLUCIONES PARA ENCARAR LA REALIDAD.

Arribazones de sargazo

Judith Rosellón Druker
Investigadora por México, Conahcyt.

El sargazo que llega al Caribe mexicano es un conjunto de macroalgas flotantes que, cuando se encuentra en cantidades normales en mar abierto, es benéfico porque forma un ecosistema que provee refugio, fuentes de alimento y rutas de migración para diferentes especies marinas. Sin embargo, desde 2011 se observa un crecimiento inusual de sargazo, que inunda nuestras costas y playas, y al acumularse de manera masiva y sostenida en aguas poco profundas genera, como en una reacción en cadena, un proceso de descomposición que puede poner en riesgo a varias especies marinas, afectar la salud humana, estresar el ecosistema acuático y amenazar la economía basada en el turismo y la pesca.

La primera gran arribazón de sargazo en México ocurrió en 2015, cuando los

esfuerzos para enfrentarla se concentraron en la limpieza de las playas para reducir los impactos negativos en el turismo. En 2018, cuando se presentó la mayor llegada y acumulación reportada hasta la fecha, ya se desarrollaban y aplicaban mejores estrategias de contención y recolección en altamar, por medio de barreras y barcos especializados llamados «sargaceras». No obstante, estos trabajos de contención y colecta no fueron suficientes para contrarrestar los variados efectos negativos para el ambiente y la sociedad, debido a la magnitud de la arribazón. Además, los costos económicos asociados a estas acciones específicas son insostenibles en el largo plazo para el sector público y el privado. Por ejemplo, el gobierno destinó más de 800 millones de pesos en 2018 para la atención del fenómeno (*El Economista*, 2019), lo que representaría el 0.28 % del PIB nominal de Quintana Roo de ese año. Además, al sector hotelero le cuesta entre 0.3 y 1.1 millones de dólares anuales mantener limpio un kilómetro de playa (Rodríguez-Martínez *et al*., 2023).

Por lo tanto, resulta evidente que el tema del sargazo debe abordarse con un enfoque integral y no nada más como una problemática limitada a las acciones de limpieza y disposición como desecho. Dicho enfoque tiene que:

a) Profundizar en la investigación científica para comprender el origen de las arribazones y para caracterizar estas macroalgas.
b) Proveer de soluciones tecnológicas para el monitoreo, colecta y procesamiento primario eficiente (por ejemplo, secado y triturado).
c) Impulsar el desarrollo de innovaciones para el aprovechamiento sustentable.
d) Contar con estrategias que minimicen los impactos socioambientales.
e) Incrementar los mecanismos de comunicación y cooperación internacional para intercambiar saberes y prácticas exitosas de manejo.

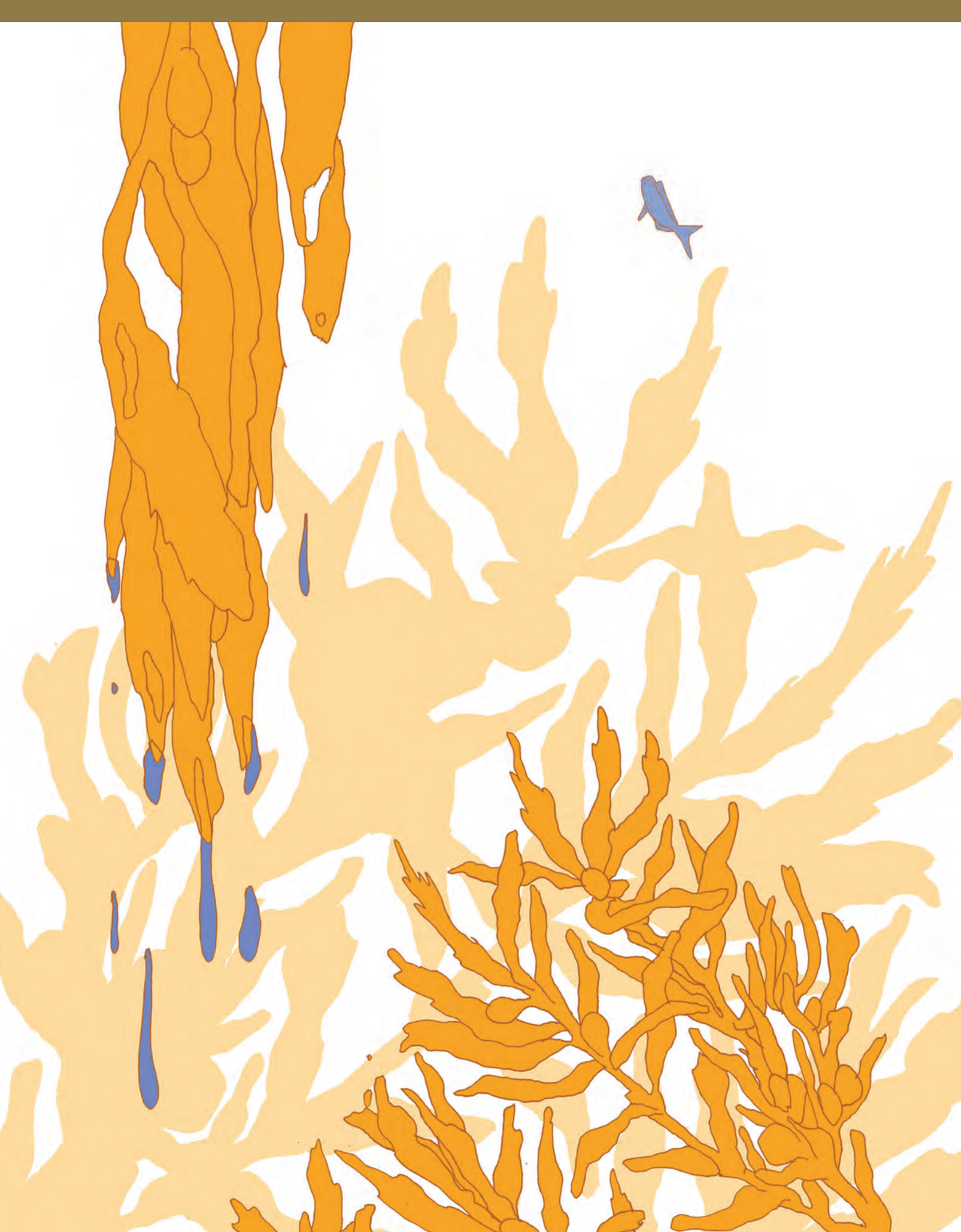
Sólo una atención que contemple todas estas cuestiones permitirá que el sargazo sea manejado como un recurso y que, en consecuencia, se logre establecer una industria nacional basada en el uso de estas macroalgas como materia prima.

Para responder a éstos y otros retos, el Conahcyt, en conjunto con diversas instituciones y especialistas, desarrolló una agenda científica, tecnológica y de innovación para la atención, adaptación y mitigación del arribo masivo de sargazo en las costas mexicanas (Conahcyt, 2019), en la que se definen nueve líneas estratégicas (con acciones puntuales) para atender el fenómeno de una manera integral y considerando sus múltiples aristas (Tabla 1).

Mediante esta agenda, el Conahcyt ha articulado, impulsado y financiado proyectos con una estrategia multidisciplinaria y multisectorial, cuyos resultados (Tabla 1) contribuyen a una toma de decisiones robusta basada en evidencia científica. En consecuencia, se espera que estos esfuerzos

Línea estratégica	Acciones centales	Logros
1. Aprovechamiento y usos 2. Monitoreo, modelación y alerta temprana 3. Contención, recolección y disposición	Articulaciones e impulso del desarrollo científico y tecnológico	• Catálogo y jerarquización de técnicas existentes para la contención, colecta y procesamiento. • Metodologías innovadoras y patentes para la obtención de bioenergía y compuestos de interés industrial. • Prototipo de un sistema de observación y alerta temprana. • Caracterización bioquímica. • Caracterización de la biota asociada, incluidos microrganismos patógenos. • Compendio de afectaciones al bienestar humano.
4. Origen e importancia 5. Impactos socioeconómicos y ambientales	Acceso universal al conocimiento	• Capítulo de sargazo en el Ecosistema Nacional Informático de energía y cambio climático del Conahcyt. • Webinario permanente «Sargazo, actualidad y retos». • Seminario-taller nacional de teledetección, monitoreo, pronóstico y alerta temprana de sargazo.
6. Normatividad	Identifición de capacidades nacionales	• Estado del arte y mapeo nacional de actores y proyectos.
7. Comunicación y educación 8. Cooperación internacional 9. Restauración	Colaboraciones y sinergias multisectoriales e interinstitucionales	• Sargassum Hub (Estados Unidos): desarrollo de micrositios para México. • SargCoop (Francia): inventario de sistemas de teledetección y webinarios a nivel regional. • Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semanart): fortalecimiento del Sistema de Monitoreo de Sargazo Recolectado. • Secretaría de Marina/Semanart: reporte y matriz de acciones interinstitucionales. • Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio): fortalecimiento del sistema satelital de alerta temprana de sargazo.

Tabla 1.
Acciones implementadas, avances y logros en cada una de las líneas estratégicas de la agenda del Conahcyt para la atención del fenómeno del sargazo.
Fuente: Dirección de Estrategia Tecnológica, Conahcyt.
Nota: se puede consultar información adicional sobre los proyectos impulsados por el Conahcyt en: https://energia.conahcyt.mx/sargazo/



puedan ayudar, en el corto y mediano plazo, para establecer nuevos marcos regulatorios y normativos, en conjunción con dependencias de gobierno como la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

La agenda del Conahcyt para la atención del sargazo se construyó e implementó en el marco del modelo mexicano de innovación soberana para el bienestar (formado por una pentahélice), que incorpora los cinco ejes que componen al ecosistema de humanidades, ciencias, tecnologías e innovación del país: academia, gobierno, iniciativa privada, sociedad y ambiente. De este modo, el abordaje de cada línea estratégica deberá seguir esta perspectiva multisectorial para lograr un manejo efectivo e integral del sargazo; así, se lograrán resultados para disminuir los riesgos socioambientales asociados a este fenómeno y así convertir un problema en una oportunidad para beneficio no sólo del estado de Quintana Roo, sino de todo el país.

Referencias

Conahcyt. (2019). *Agenda de ciencia, tecnología e innovación para la atención, adaptación y mitigación del arribo de sargazo pelágico a México.* https://conahcyt.mx/sargazo/images/Agenda/2020/Agenda_Conacyt_Sargazo-2020_.pdf

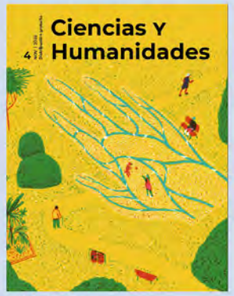
El Economista. (2019, 25 de junio). Gobierno de Peña Nieto destinó más de 800 millones de pesos para combatir el sargazo. https://www.eleconomista.com.mx/politica/Gobierno-de-Pena-Nieto-destino-mas-de-800-millones-de-pesos-para-combatir-el-sargazo-20190625-0048.html

Rodríguez-Martínez, R. E., Torres-Conde, E. G. y Jordán-Dahlgren, E. (2023). Pelagic *Sargassum* cleanup cost in Mexico. *Ocean & Coastal Management, 237*, 106542. https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2023.106542

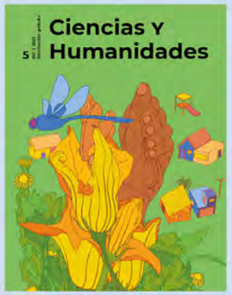
Núm. 1
Pronaces Agua
Julio 2021

Núm. 2 | Especial
Ciencia de frontera
Octubre 2022

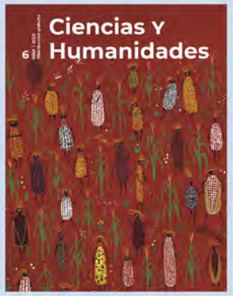
Núm. 3
Nuestros mares y océanos: el golfo de México
Octubre 2022



Núm. 4
Pronaces Salud I: Transformación de la investigación en Salud
Noviembre 2022

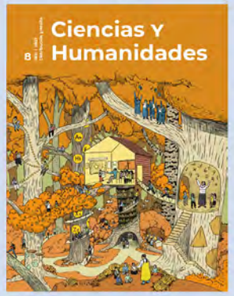


Núm. 5
Pronaces Salud II: Rumbo a la investigación con incidencia
Diciembre 2022



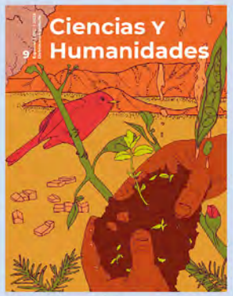
Núm. 6
Soberanía Alimentaria
Marzo 2023

Núm. 7
Transición energética y cambio climático
Junio 2023



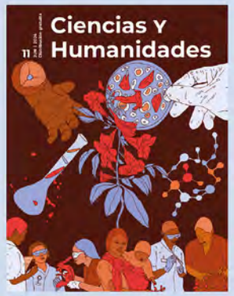
Núm. 8
Hacia una reforma educativa integral
Septiembre 2023

Núm. 9
Memoria histórica
Diciembre 2023



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

Núm. 10
Sistemas socioecológicos
Marzo 2024

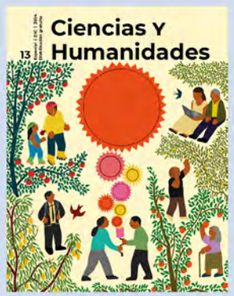


Núm. 11
Ciencia de frontera I
Junio 2024

Núm. 12
Seguridad humana
2024

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

Núm. 13
Ciencia de frontera II
2024



Núm. 13 | Especial
Innovación soberana para el bienestar
2024

«La innovación es creatividad con propósito y, para el primer gobierno de la Cuarta Transformación, se trata de innovación soberana para el bienestar del pueblo de México.»

María Elena Álvarez-Buylla Roces

GOBIERNO DE MÉXICO

CONAHCYT
CONSEJO NACIONAL DE HUMANIDADES CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS