

ciencia

Revista de la Academia Mexicana de Ciencias

Nuevas tecnologías, industria 4.0 y sociedad

Industria 4.0: ¿una nueva
revolución tecnológica?

Inteligencia artificial y ciencia de datos
en la nueva Revolución Industrial

Retos de la transformación
digital para las pymes

Desde la UAM
Nuevos materiales para la
generación, almacenamiento
y ahorro de energía

Sextorsión: una nueva
modalidad de corrupción



CONSEJO DIRECTIVO
julio 2020 - julio 2023

Presidenta

Estela Susana Lizano Soberón

Vicepresidente

José Antonio Seade Kuri

Tesorero

Dante Jaime Morán Zenteno

Secretarios

María del Jesús Rosales Hoz

Pedro Salazar Ugarte

Presidentes de las Secciones Regionales de la AMC

Sección Centro-Occidente: María Patricia Arias Rozas

Sección Centro-Sur: María del Carmen Cisneros Gudiño

Sección Noreste: Oliverio Santiago Rodríguez Fernández

Sección Noroeste: Alfredo Ortega Rubio

Sección Sur-Sureste: Soledad María Teresa Hernández Sotomayor

ciencia

Revista de la Academia Mexicana de Ciencias
abril-junio 2023 volumen 74 número 2

Desde el Comité Editorial	3
<i>Alonso Fernández Guasti</i>	

Nuevas tecnologías, industria 4.0 y sociedad

Presentación	6
<i>Gabriela Dutrénit</i>	
Industria 4.0: ¿una nueva revolución tecnológica?	8
<i>Maribel García Barrientos y Alexandre Oliveira Vera-Cruz</i>	
Una nueva narrativa sobre la industria 4.0 desde las ciencias sociales	14
<i>Mónica Casalet y Federico Stezano</i>	
Inteligencia artificial y ciencia de datos en la nueva Revolución Industrial	20
<i>Adolfo Guzmán Arenas</i>	
La banda 5G y su potencial para la industria 4.0	28
<i>Claudia Schatan</i>	
Retos de la transformación digital para las pymes	36
<i>Adriana Martínez Martínez</i>	
Capacidades dinámicas y revolución digital en la manufactura mexicana	42
<i>José Luis Sampedro H. y Salvador Tapia</i>	
Digitalización y automatización: ¿trabajo precario o empleos creativos?	50
<i>Alfredo Hualde Alfaro</i>	
La industria 4.0 y los cambios en la política industrial	56
<i>José Luis Solleiro</i>	

Novedades científicas

Una breve historia de la Cuenca de México	63
<i>Rodrigo Martínez-Abarca</i>	
Los husos de sueño. ¿Actividad cerebral que influye en la memoria?	72
<i>Zeidy Muñoz Torres</i>	

Desde la UAM

Nuevos materiales para la generación, almacenamiento y ahorro de energía	78
<i>José Antonio Colín Luna y Mario A. de Leo Winkler, coordinadores</i>	

De actualidad

Sextorsión: una nueva modalidad de corrupción	86
<i>Luis Eduardo Ramírez Sirgo y Verónica Mireya Moreno Rodríguez</i>	

Noticias de la AMC

92



Portada: Shutterstock.



Separador: Ana Viniegra.

ciencia, revista de la Academia Mexicana de Ciencias, volumen 74, número 2, correspondiente a abril-junio de 2023, es una publicación electrónica trimestral, editada y distribuida por la Academia Mexicana de Ciencias, A. C., con domicilio en Casa Tlalpan, km 23.5 de la Carretera Federal México-Cuernavaca, Av. Cipreses S/N, Col. San Andrés Totoltepec, Alcaldía Tlalpan, C. P. 14400, Ciudad de México, tel.: 55 5849 4905, www.revistaciencia.amc.edu.mx, rciencia@unam.mx.

Editor responsable legal: Francisco Salvador Mora Gallegos. Número de Certificado de Reserva de Derechos al Uso Exclusivo del Título: 04-2001-072510183000-102, expedido el 25 de julio de 2001; ISSN 2954-5285, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Fecha de última modificación: 24 de marzo de 2023. Certificado de Licitud de Título y Contenido 17371, expedido por la Comisión Calificadora de Publicaciones y Revistas Ilustradas de la Secretaría de Gobernación.

El contenido de los artículos es responsabilidad exclusiva de sus autores y no refleja de manera alguna el punto de vista de la Academia Mexicana de Ciencias. Queda prohibida la reproducción total o parcial del contenido por cualquier medio sin la autorización expresa de la Academia Mexicana de Ciencias.

ciencia

Revista de la Academia Mexicana de Ciencias
abril-junio 2023 volumen 74 número 2

Director fundador

Ignacio Bolívar Urrutia (1850-1944)

Director

Alonso Fernández Guasti

Comité editorial

Raúl Antonio Aguilar Roblero
Dalila Aldana Aranda
Raymundo Cea Olivares
Gabriela Dutrénit Bielous
Gerardo Gamba Ayala
Adolfo Guzmán Arenas
Juan Pedro Laclette San Román
Miguel Ángel Pérez de la Mora
Carlos Prieto de Castro
Sergio Sánchez Esquivel
Alicia Ziccardi Contigiani

Editora

Rosanela Álvarez

Social Media

José Eduardo González Reyes

Diseño y formación

Intidrinero, S.A. de C.V.

Ilustradora

Ana Viniegra, pp. 37, 43, 50-51, 57, 62, 87
Pixabay: pp. 4, 9, 10, 11, 13, 15, 16-17, 18, 20, 21, 22, 23, 24, 26, 27, 29, 30, 31, 32, 33, 35, 39, 40, 41, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 60, 75, 76, 79, 81, 82
Shutterstock: pp. 25, 31, 34, 89

Red

Walter Galván Tejada

Academia Mexicana de Ciencias, A.C.

Casa Tlalpan, km 23.5 de la Carretera Federal México-Cuernavaca, Av. Cipreses S/N,
Col. San Andrés Totoltepec, Del. Tlalpan, C.P. 14400, Ciudad de México
tel.: 55 5849 4905

www.revistaciencia.amc.edu.mx



@CienciaAMC



Este número de la revista *Ciencia* ha sido posible gracias al patrocinio de la



Casa abierta al tiempo
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

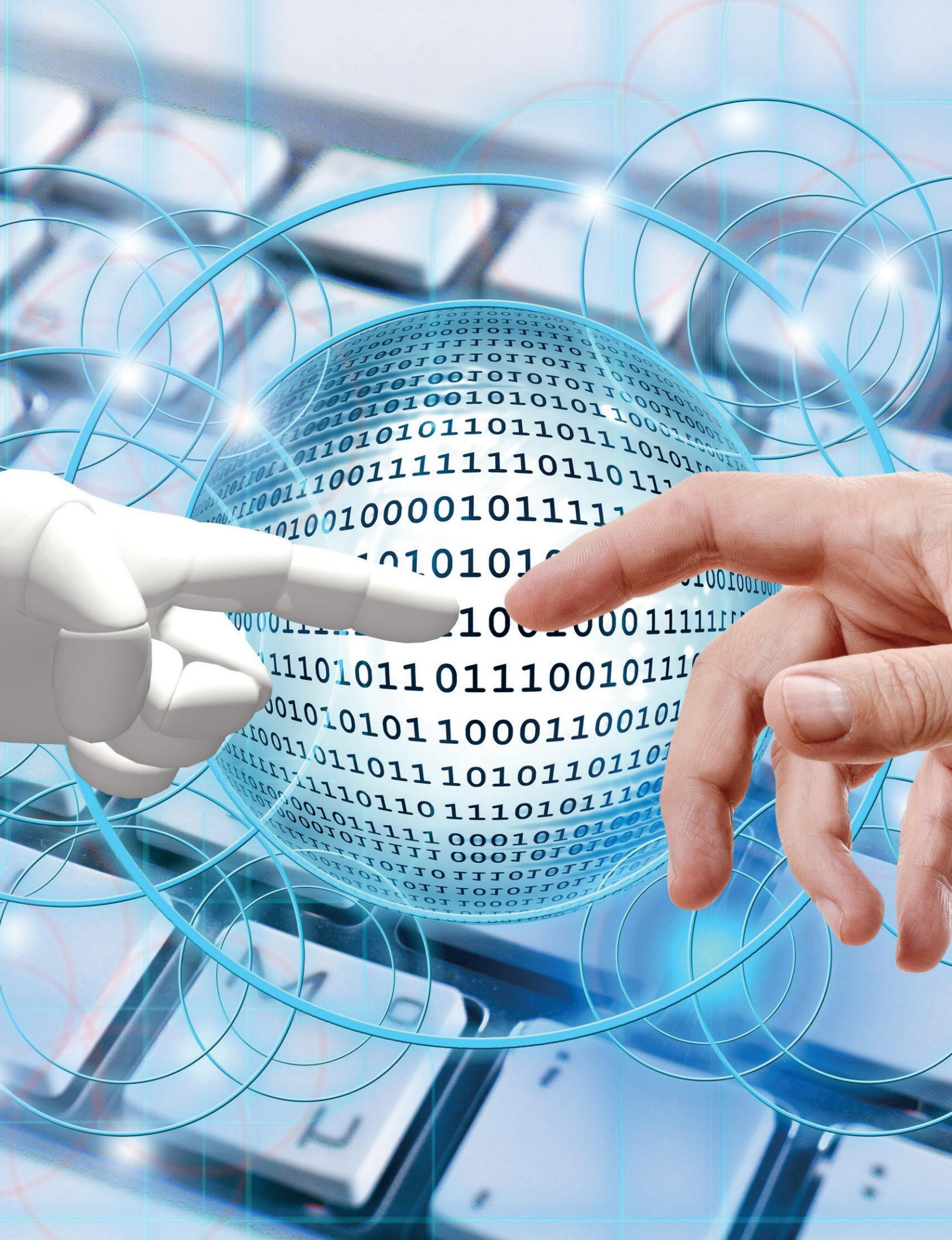
Desde el Comité Editorial



Estimados lectores:

Les doy la bienvenida a este nuevo número de la revista *Ciencia*, cuya sección temática analiza la relación entre nuevas tecnologías, industria 4.0 y sociedad. La primera Revolución Industrial dio inicio con la invención de la máquina de vapor, lo que ocasionó que se mecanizaran tareas simples. Un siglo más tarde tuvo lugar una segunda revolución tecnológica impulsada por la generación de energía eléctrica y la producción en masa. La tercera revolución sucedió en los años setenta del siglo XX con la automatización de los procesos industriales, gracias a los avances en la computación. Ahora, en el siglo XXI, estamos viviendo la Cuarta Revolución Industrial. Las tecnologías que se asocian a la industria 4.0 son: robótica, internet de las cosas, manufactura aditiva, grandes bases de datos (*big data*), computación en la nube e inteligencia artificial. En este número van a encontrar respuestas a éstas y otras preguntas: ¿qué quieren decir estos conceptos?, ¿qué caracteriza a esta revolución tecnológica de sus precedentes?, ¿cuál es el impacto social de la cuarta revolución industrial?

En el actual escenario de crisis económica mundial y disputa de liderazgos globales entre los países industrializados, son inciertos los caminos futuros de incorporación productiva de las tecnologías. La Cuarta Revolución Industrial afecta a todos los países, empresas y mercados; pero no todos éstos cuentan con las infraestructuras y el contexto social para insertarse de la mejor manera en este cambio. Para México, estos procesos presentan una oportunidad y desafíos para la mejora de nichos tecnológicos, investigación en esta área y generación de nuevos talentos. A nivel gubernamental, nuestro país ha avanzado con un ritmo paulatino en su proceso de digitalización, al ir automatizando diversas operaciones y promoviendo el intercambio de datos entre las dependencias. La mayor innovación se ha dado en las tecnologías avanzadas en las industrias de exportación, como la automotriz y la aeroespacial, o bien en algunos sectores de servicios, como el financiero. No obstante, es necesario que reflexionemos acerca de los retos que enfrentan las pequeñas y medianas empresas (pymes) para adoptar una estrategia de transición hacia la Cuarta Revolución Industrial; la gran mayoría enfrentan obsolescencia tecnológica. En este nuevo entorno es importante que las empresas mexicanas formen a su personal con nuevas capacidades tecnológicas y desarrollen una estructura organizacional funcional, ya que estos elementos son cruciales para enfrentar con éxito los cambios que genera esta revolución.



Los grandes avances recientes en varias ramas de la ingeniería eléctrica y la computación, además de influir en la industria, lo hacen en la medicina. Por ejemplo, la ciencia de datos y analítica predictiva permiten predecir las propiedades terapéuticas y los efectos secundarios de nuevas sustancias (análisis *in silico*), antes de probarlas en el laboratorio (*in vitro*) y en sujetos vivos (*in vivo*). Este análisis es muy valioso, ya que sirve para prevenir interacciones entre drogas o para detectar qué medicamentos son mejores para cada paciente. Asimismo, el avance de la industria 4.0 requiere de una digitalización y conectividad cada vez más rápida. Las innovaciones que tienen la capacidad de aumentar la productividad en tiempo real y proteger la enorme cantidad de información que se genera en este proceso dependen de redes de última generación, como las redes celulares 5G. Con esto, se pueden reducir mucho los accidentes en el trabajo, pues se abren posibilidades de mejorar el mantenimiento de los equipos de las fábricas, ya que es posible hacer una evaluación en tiempo real del equipo y una predictiva sobre su funcionamiento futuro.

Todo esto nos lleva a preguntar: ¿las máquinas van a sustituirnos?, ¿qué pasará cuando las tecnologías computarizadas tengan libre albedrío y sean más inteligentes que nosotros? Nos inquieta que estos dispositivos informáticos, creados mediante la inteligencia artificial y la robótica, lleguen a reemplazarnos, dominarnos o esclavizarnos... Ésas son preguntas de ciencia ficción; sin embargo, ya estamos enfrentando un problema: ¿qué sucede con los empleos? Con el creciente uso de nuevos dispositivos y desarrollos tecnológicos, los contenidos de los puestos de trabajo y las características del empleo se están modificando. ¿El desarrollo de estas tecnologías está promoviendo la precarización del trabajo o éste se está haciendo más creativo? ¿Hasta qué punto las tecnologías ligadas a la inteligencia artificial podrán llevar a cabo “funciones humanas cognitivas” en los procesos de trabajo? En esta sección temática encontrarán algunas respuestas a estas preguntas.

Además, presentamos un par de Novedades Científicas. La primera habla de la historia de la Cuenca de México. En esta región han ocurrido diversos procesos geológicos, climáticos y sociales que han

modelado el paisaje a lo largo de millones de años; no obstante, la actividad humana ha causado la mayor alteración del ambiente. ¿Cómo responderá la Cuenca de México a los constantes efectos que hemos provocado en fechas recientes, como el cambio climático? Por otra parte, la segunda Novedad Científica explora cómo los husos de sueño influyen en la memoria. Mientras dormimos, nuestro cerebro cumple muchas funciones y se ha estudiado cómo la expresión de un patrón específico de actividad eléctrica cerebral (conocido como huso de sueño) previene los despertares y genera mecanismos de comunicación entre ciertas zonas del cerebro que favorecen la consolidación de la memoria y el aprendizaje.

Más adelante, el artículo de la sección Desde la UAM presenta una serie de nuevos materiales para la generación, almacenamiento y ahorro de energía. En la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM) se investigan de manera activa nuevas tecnologías para desarrollar una sociedad más sostenible mediante la innovación en materiales y procesos que devienen en ahorros y avances para la generación o el almacenamiento de energía. En esta aportación encontramos temas tan relevantes como: “Nuevos materiales para reducir el consumo de energía eléctrica”, “Producción de hidrógeno a partir de agua” o “Materiales para baterías de iones de litio en la transición energética”.

Por último, la sección De Actualidad revisa una nueva modalidad de corrupción: la sextorsión, que involucra actos y favores sexuales o de connotación sexual solicitados por servidores públicos o personas con autoridad como condición para proporcionar un bien o un servicio. Este nuevo tipo de extorsión no necesariamente implica relaciones sexuales, sino que puede incluir la amenaza de difusión indebida de imágenes y videos de índole sexual. Desafortunadamente, una de cada cinco personas (en su mayoría mujeres) ha experimentado o conoce a alguien que ha sufrido una extorsión de este tipo.

Les invitamos a leer todos estos interesantes artículos y esperamos que disfruten este número.

ALONSO FERNÁNDEZ GUSTI
Director

Gabriela Dutrénit

Presentación

Nuevas tecnologías, industria 4.0 y sociedad

Estamos viviendo cambios tecnológicos acelerados que afectan a la producción y los servicios. Este proceso se caracteriza por una rápida dinámica de innovación, la convergencia de múltiples tecnologías en lo que se denomina sistemas ciberfísicos y la evolución de las plantas productivas hacia fábricas inteligentes. Las nuevas tecnologías incluyen: *software*, internet de las cosas, *big data*, sensores inteligentes, inteligencia artificial, robots, *clouding* e impresión 3D; éstas, en combinación, permiten tener sistemas inteligentes y autónomos que utilizan algoritmos basados en computadoras para monitorear y controlar cosas físicas, como maquinaria, robots y vehículos. Así, en las plantas productivas se puede generar información en tiempo real que sirve de apoyo a la toma de decisiones.

Sin embargo, como en todas las revoluciones industriales, las transformaciones no se dan sólo en el ámbito tecnológico, sino que tienen fuertes impactos en la sociedad, de manera particular en las formas de relacionarnos, adquirir información y tomar decisiones, así como en las ocupaciones, habilidades y el tipo de formación que nos prepara para este nuevo contexto. Como todo proceso en marcha, aún hay diferencias en el uso de los conceptos. Por ejemplo, ha emergido el término de industria 4.0, asociado a cuando toda la cadena de suministro es “inteligente” –desde la fabricación, hasta el almacenamiento y la logística–; en otras palabras, se refiere a cuando la producción está interconectada con la planificación de recursos empresariales (ERP, por sus siglas en inglés).

¿Dónde está México? En términos de la creación, uso e implementación de tecnologías 4.0 (ONUFI, 2020), se ubica entre las economías involucradas

activamente en la importación de las nuevas tecnologías, pues se compran grandes volúmenes en los mercados internacionales, sobre todo por nuestra participación en las cadenas globales de valor (véase el artículo “Industria 4.0: ¿una nueva revolución tecnológica?” en este número). En 2021 México fue el noveno importador de robots industriales en el mundo, con 5 400 unidades importadas, e incluso se comenzaron a producir y exportar algunas unidades. No obstante, se mantiene un gran atraso en el uso de la *big data* generada por la introducción de la industria 4.0 y los robots.

En general, en la mayoría de los países coexisten empresas e industrias de todas las revoluciones tecnológicas, y hay una fuerte heterogeneidad entre industrias, entre empresas grandes, pequeñas y medianas, e incluso entre plantas en una misma empresa o grupo. Sin duda, la adopción de nuevas tecnologías implica una innovación, tanto de los procesos, a partir de la adquisición de equipos y *software*, como también de los productos en las empresas que los adoptan. Se requieren entonces nuevas habilidades para la implementación y creación de estas tecnologías, mediante la continua capacitación para el desarrollo del personal en dichas empresas.

Estamos en un proceso de cambio que tendrá grandes impactos en la industria, los servicios y la sociedad. Sin duda, la política pública, en especial de ciencia, tecnología e innovación, industrial, laboral y de educación, debería contribuir a este proceso de cambio, para que México se posicione mejor y aproveche algunas oportunidades que se le abren. Por ello, en este número temático hemos convocado a un grupo de especialistas que estudian estos procesos

de cambio desde las ciencias sociales, lo que permite reflexionar en torno a los múltiples efectos de las nuevas tecnologías en la producción y en la sociedad.

El artículo de Maribel García Barrientos y Alexandre Oliveira Vera-Cruz nos introduce en el tema, pues caracteriza a la industria 4.0 y sus tecnologías, discute los argumentos existentes sobre si estamos o no en una Cuarta Revolución Industrial y describe algunas aplicaciones en el sector industrial. Por otra parte, Mónica Casalet y Federico Stezano posicionan el tema de la introducción de la industria 4.0 en el marco de la disputa de liderazgos tecnológicos globales entre los países industrializados. Así, analizan algunos rasgos comunes que se han observado en los procesos nacionales de digitalización: 1) la articulación nacional de las políticas y su vinculación con una visión de desarrollo económico; 2) un énfasis en la digitalización productiva desde el impulso a las capacidades, y 3) una orientación de políticas y programas hacia nuevas formas organizacionales público-privadas que resaltan el papel de la formación de trabajadores y empresas para la adopción de las tecnologías digitales avanzadas. En este marco, reflexionan acerca de las oportunidades y los desafíos para México.

Las nuevas tecnologías permiten incidir en diferentes ámbitos de nuestra vida. Adolfo Guzmán Arenas se centra en algunas innovaciones específicas asociadas al uso de la inteligencia artificial y la ciencia de datos en diferentes sectores de actividad, como la agricultura, la salud, el comercio y las ciudades. Como ejemplos están la colocación de sensores y actuadores en los campos de cultivo para su mejor irrigación, fertilización y cuidado, o bien el uso de la ciencia de datos y la analítica predictiva para predecir propiedades terapéuticas y efectos secundarios de nuevas sustancias (análisis *in silico*), antes de probarlas en el laboratorio (*in vitro*) y en sujetos vivos (*in vivo*), entre otras aplicaciones. También reflexiona en qué medida los robots nos van a reemplazar.

Claudia Schatan relaciona las potencialidades de la industria 4.0 con la existencia de redes celulares de última generación, hoy 5G. En su artículo, argumenta que el avance de la industria 4.0 requiere de una digitalización y conectividad cada vez más ágil y sofisticada, debido a que se necesita procesar en tiempo real y

proteger una enorme cantidad de información que se genera en este proceso, lo cual demanda inversiones nacionales en infraestructura de telecomunicaciones.

La introducción de la industria 4.0 en el sector productivo ha sido desigual. Entre las causas de la heterogeneidad se encuentra el tamaño de las empresas y el sector en el que se desenvuelven. El artículo de Adriana Martínez Martínez se enfoca en los beneficios y retos de implementar una estrategia de transformación digital para construir ventajas competitivas en las pequeñas y medianas empresas (pymes). Entre otros retos, destaca: la necesidad de nuevos perfiles laborales de especialistas con multihabilidades, el reentrenamiento de los trabajadores actuales y la construcción de una infraestructura en red.

A partir de estudios de caso, José Luis Sampedro H. y Salvador Tapia presentan evidencia de cómo dos empresas han construido capacidades dinámicas para diseñar, desarrollar e implementar soluciones digitales en los procesos de manufactura, destinadas a avanzar en la introducción de tecnologías de la industria 4.0. Destacan cómo las empresas tienen diferentes capacidades y estrategias, una más reactiva y la otra más activa, pero ambas a partir de esfuerzos importantes para adaptarse a entornos de rápido cambio tecnológico y lograr mejores ventajas competitivas.

En el mundo ya hay evidencia del impacto de las nuevas tecnologías y de la introducción de la industria 4.0 sobre los niveles de empleo, las ocupaciones y las habilidades requeridas; pero en México, la evidencia existente es aún limitada. El artículo de Alfredo Hualde Alfaro reflexiona acerca de los cambios en el trabajo y el empleo inducidos por la digitalización y la automatización, así como sobre las formas de regulación de los trabajos que son posibles. Por último, José Luis Solleiro analiza el tema de la política industrial requerida para impulsar la transformación digital. Describe algunas experiencias internacionales para inducir una transformación estructural, con incentivos para la adopción de las nuevas tecnologías, la formación y capacitación de recursos humanos y el impulso al gobierno electrónico. También presenta una reflexión sobre el avance de la digitalización en México y los retos que supone para una política industrial que impulse estos procesos.

Industria 4.0: ¿una nueva revolución tecnológica?

Estamos viviendo grandes avances en tecnologías que han posibilitado cambios para los procesos de producción y organización a escala global. En este artículo caracterizamos a la industria 4.0 como parte de una nueva fase de hiperconectividad en el mundo, analizamos los argumentos en torno a si estamos presenciando una nueva revolución tecnológica y describimos algunas aplicaciones en el sector industrial.

Introducción

Las economías en el mundo se han ido digitalizando en últimas fechas. Esto ha sido posible gracias a los avances que hay en tecnologías tales como robótica, inteligencia artificial, grandes bases de datos (*big data*), internet de las cosas, impresión 3D, aprendizaje automático (*machine learning*), entre otras. Con ello se ha impulsado una nueva era de automatización a partir de la generación de nuevos productos y nuevas formas de organización, así como la destrucción y la creación de empleos.

En el ámbito industrial y de servicios, el aumento de la digitalización y la **hiperconectividad**, promovido por estas tecnologías habilitadoras, da sustento a la industria 4.0 y está dando paso a nuevos procesos de producción, mediante la automatización de tareas que son altamente rutinarias. Asimismo, se ha posibilitado el análisis de datos y la toma de decisiones en tiempo real, lo que contribuye a la creación de nuevos modelos de negocio, la emergencia de nuevos actores y el desarrollo de nuevas formas de interacción y cooperación entre empresas. Dichos procesos están avanzando de una manera acelerada en las **cadena**s globales de **valor** de la industria automotriz, la industria aeroespacial, la industria electrónica, la industria de los plásticos, entre otras, lo cual incluye a subsidiarias ubicadas en diferentes países. No obstante, los procesos de adopción de estas tecnologías avanzan a diferentes ritmos en los distintos sectores y regiones del mundo.

El objetivo de este artículo es caracterizar a la industria 4.0 como parte de una nueva fase de hiperconectividad a escala mundial, analizar los argumentos en torno a si estamos viviendo una nueva revolución tecnológica y describir algunas aplicaciones observadas en el sector industrial.

Hiperconectividad

Alto grado de comunicación, sincronización y coordinación entre distintos dispositivos y medios para conectarse en cualquier momento y lugar.

Cadenas globales de valor

Conjunto de actividades realizadas en diferentes economías que agregan un valor global en la producción de un bien o servicio (ONU, 2020).



Grandes revoluciones tecnológicas

De acuerdo con Carlota Pérez (2010), académica de las Universidades de Cambridge y Sussex, en el Reino Unido, y la Tecnológica de Tallin, en Estonia, las innovaciones individuales se agrupan y conectan entre sí para generar sistemas tecnológicos, los cuales, a su vez, se interconectan y dan paso a las revoluciones tecnológicas. Según la autora, a lo largo de la historia hemos vivido cuatro revoluciones tecnológicas y actualmente se está gestando la quinta.

La mejor conocida Revolución Industrial dio inicio con la máquina de vapor, en el siglo XVIII, en Inglaterra. Entonces se mecanizaron tareas simples y se construyeron líneas de ferrocarril que facilitaron la extensión territorial de la adopción de nuevas tecnologías. Un siglo más tarde tuvo lugar una segunda revolución tecnológica impulsada y acompañada por la generación de energía eléctrica, la producción en masa y la introducción de la línea de montaje o ensamble (Pérez, 2003).

La tercera revolución tecnológica comenzó en los años setenta del siglo XX con la automatización de los procesos industriales, gracias a los avances en la computación basados en la microelectrónica y las tecnologías de la información y la comunicación (TIC). Para inicios del siglo XXI, la también llamada Cuarta Revolución Industrial se relaciona con la informatización y digitalización de la producción, así como con la generación, integración y análisis

de una gran cantidad de datos a lo largo del proceso productivo y del ciclo de vida de los productos, facilitados fundamentalmente por el uso de internet (Basco y Beliz, 2018).

Industria 4.0 y Cuarta Revolución Industrial

El concepto de la industria 4.0 se basa en el aumento de la convergencia entre diferentes ámbitos tecnológicos emergentes (tecnologías de producción digital, nanotecnologías, biotecnologías y nuevos materiales) y su complementariedad en la producción. Las expresiones que se utilizan habitualmente para referirse a la adopción de estas tecnologías en la producción manufacturera son: fabricación avanzada, fábrica inteligente o I4.0 (ONUDI, 2020). Las tecnologías habilitadoras o que se asocian a la industria 4.0 son: robótica, internet de las cosas, manufactura aditiva, grandes bases de datos (*big data*), computación en la nube e inteligencia artificial.

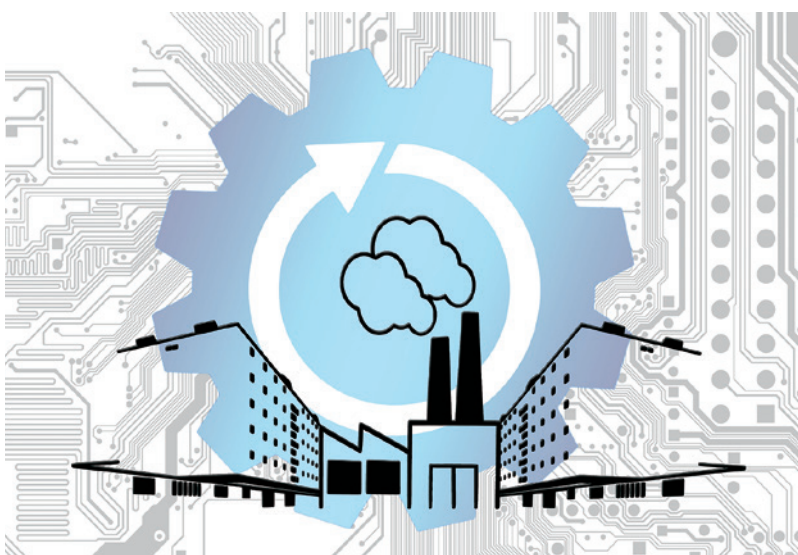
Una definición

El nombre de industria 4.0 surgió en Alemania en la Feria de Hannover en 2011 y fue introducido por un grupo de especialistas para generar un programa que mejorase la productividad de la industria manufacturera. Una de las definiciones propuestas está dada por la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI, 2020):

el aumento de la convergencia entre diferentes ámbitos tecnológicos emergentes, como: tecnologías de producción digital, nanotecnologías, biotecnologías y nuevos materiales y su complementariedad en la producción.

La industria 4.0 representa un cambio asociado al impulso que generan las tecnologías habilitadoras, a la hiperconectividad de todas estas tecnologías, y a la cantidad de datos que se pueden obtener y utilizar. Esto puede originar una transformación importante en el sector productivo.

A fin de cuentas, todavía está en discusión si la industria 4.0 es la cuarta revolución tecnológica en la historia o si solamente es una extensión de las TIC. La magnitud y profundidad de estos cambios llevan



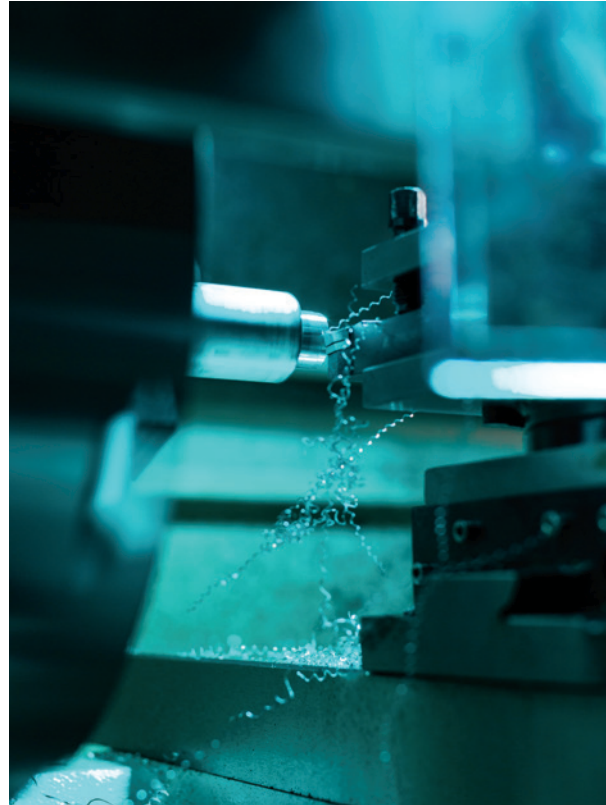
a plantear que estamos ante una nueva Revolución Industrial. Pero tampoco hay un acuerdo para nombrar a la industria 4.0 y las tecnologías asociadas: tecnologías exponenciales, tecnologías habilitadoras o tecnologías que sustentan a la industria 4.0. No obstante, más allá de esta discusión en torno a un fenómeno nuevo, actualmente estamos observando sus consecuencias en el sector industrial y de servicios en muchos países.

Una revisión de las revoluciones desde las tecnologías de producción

Desde la irrupción del nombre de industria 4.0, las revoluciones tecnológicas anteriores fueron conceptualmente asociadas a fases previas en la evolución del sector industrial, lo cual dio lugar a otros términos: industria 1.0, industria 2.0, industria 3.0. y –actualmente– industria 4.0. (Basco y Beliz, 2018). De acuerdo con la ONUDI, estos conceptos se asocian a la manufactura por su grado de complejidad y por su uso en la producción. Como ejemplo, en el Cuadro 1 se observa la categorización de las industrias 1.0, 2.0, 3.0 y 4.0, que se asocian a cada una de las revoluciones tecnológicas mencionadas líneas arriba, en relación con los pilares o componentes que les dieron lugar.

¿Dónde está la industria?

De acuerdo con la ONUDI (2020), las economías en desarrollo han avanzado poco en el uso y crea-



ción de tecnologías 4.0, lo cual está generando más desigualdades en el mundo. El Cuadro 2 muestra la división en tres bloques, su descripción y los criterios que se tomaron en cuenta.

Como se observa, son unas 50 economías de los bloques 1 y 2 –con sus principales industrias y empresas– las que participan activamente en la creación, implementación y uso de estas tecnologías. En

Cuadro 1. Evolución de la industria asociada a cada revolución tecnológica y sus principales tecnologías

Industria	1.0	2.0	3.0	4.0
Tecnologías dominantes	Vapor y agua; mecanización de tareas individuales.	Energía eléctrica; automatización de máquinas.	Electrónica y tecnologías de la información; automatización flexible.	<i>Software</i> ; internet de las cosas; <i>big data</i> ; sensores y actuadores; inteligencia artificial; robots; impresión 3D; fabricación inteligente.
Manufactura	Producción analógica y rígida; las tecnologías se utilizan de forma limitada y con equipos aislados.	Producción en serie: Toyotismo y Fordismo; producción esbelta; las tecnologías utilizadas se empiezan a conectar con algunas áreas de la producción.	Producción integrada; empieza a generarse una interconexión entre las tecnologías asociadas a la industria en el proceso de producción.	Producción inteligente, totalmente integrada; se genera información en tiempo real que sirve de apoyo a la toma de decisiones.

Fuente: elaborada a partir de ONUDI (2020).

Cuadro 2. Participación de las economías en la creación, uso e implementación de tecnologías 4.0

Bloques	Descripción	Criterios
1. Economías punteras (10): Estados Unidos de América, Japón, Alemania, China, Taiwán, Francia, Suiza, el Reino Unido, la República de Corea y los Países Bajos.	Hay 10 principales economías activamente participando en la creación y uso de nuevas tecnologías.	Tienen más de 100 solicitudes de familias de patentes.
2. Economías de segundo nivel en términos de producción y uso (40): a) Innovadoras (p. ej. Israel, Italia, Suecia). b) Exportadoras (p. ej. Australia, Canadá). c) Importadoras (p. ej. México, Tailandia, Turquía).	Como innovadoras , están activamente en procesos de creación de patentes de nuevas tecnologías. Como exportadoras , son economías involucradas activamente en la exportación de estas tecnologías y venden grandes volúmenes a los mercados internacionales. Como importadoras , son economías involucradas activamente en la importación de las nuevas tecnologías.	Tienen 20 o más solicitudes de familias de patentes. Relativamente especializadas en la exportación de bienes relacionados a estas tecnologías. Relativamente especializadas en la importación, que compran grandes volúmenes en los mercados internacionales.
3. Países de industrialización tardía en términos de producción y uso (29): d) Innovadoras. e) Exportadoras. f) Importadoras.	Como innovadoras , son economías con alguna actividad de creación de patentes relacionadas con estas tecnologías. Como exportadoras , son economías con alguna actividad de exportación relacionadas con nuevas tecnologías. Como importadoras , son economías con alguna actividad de importación relacionada con estas tecnologías.	Economías con al menos alguna solicitud de patente. Especialización relativa en la exportación de bienes asociados a estas tecnologías y venden dentro de los mercados internacionales. Especialización relativa en cuanto a la compra de nuevas tecnologías.

Fuente: ONUDI (2020).

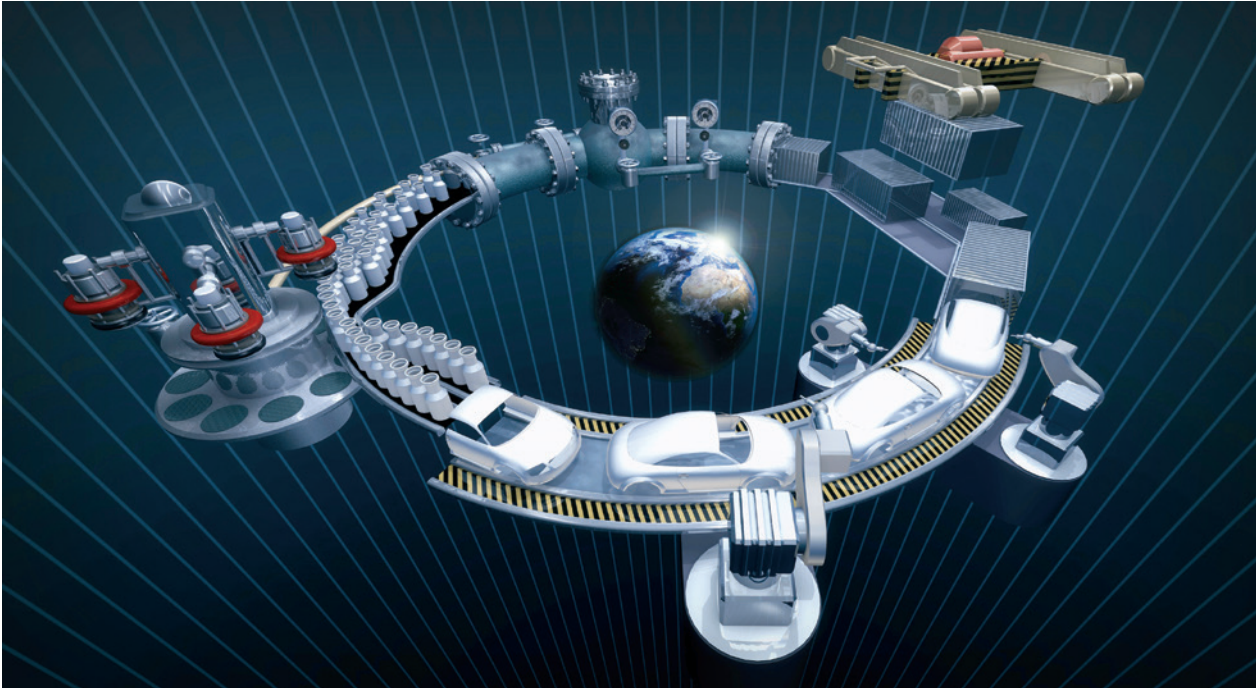
dichos países cada vez más se están adoptando las tecnologías 4.0; por ejemplo, el uso de robots ha crecido en sectores como los servicios, la industria química, la informática, la electrónica y en industrias proveedoras del sector automotriz. Sin embargo, las empresas se enfrentan a muchas barreras para poder adquirir las nuevas tecnologías y usarlas con éxito, sobre todo por lo costosas que son. En los hechos, en la mayoría de los países, el sector tiene industrias y empresas que usan tecnologías pertenecientes a diferentes revoluciones tecnológicas; o sea, que se clasifican como industria 1.0, 2.0, 3.0 y 4.0.

Sin embargo, la industria 4.0 ofrece y enfrenta grandes desafíos para los países en desarrollo, sobre todo en términos de la adopción efectiva y modernización de sus sistemas de producción heredados del pasado. Un ejemplo es el de las economías latinoamericanas que se han caracterizado por una volatilidad

en las tasas de crecimiento del producto interno bruto (PIB), la falta de incentivos a la innovación, los altos costos para la introducción de nuevas tecnologías; todo esto sumado a una fuerte inestabilidad en términos políticos en toda la región (Dutrénit y cols., 2021), lo cual afecta aún más la adopción efectiva de estas nuevas tecnologías 4.0.

■ **Conclusión**

■ La incorporación de las tecnologías que se asocian con la industria 4.0 está formando parte de las grandes tendencias globales de digitalización. Su importancia va en aumento en todos los ámbitos de la vida y de la economía; debido a la conversión analógica-digital de los datos, todos los actores que intervienen en el proceso pueden beneficiarse, en cualquier momento y lugar, de toda la información disponible



en las cadenas productivas. Sobre esta base, es posible optimizar los procesos de producción y distribución, al tiempo que se generan nuevos mercados y campos de negocio. La magnitud y profundidad de estos cambios llevan a plantear que estamos ante una nueva revolución tecnológica.

No obstante, el proceso de adopción de las tecnologías 4.0 es desigual entre las industrias y los países: se está generando una nueva fuente de polarización entre los países avanzados, las economías emergentes y los países en desarrollo. En México se está avanzando sobre todo como resultado de la pertenencia de muchas empresas a cadenas globales de valor, pero se requieren políticas públicas para estimular una adopción más amplia en el sector industrial y de servicios, al tiempo que se atiendan los criterios que consideren la sostenibilidad social y ambiental.

Maribel García Barrientos

Universidad Autónoma Metropolitana.
maribelgb.eco29@gmail.com

Alexandre Oliveira Vera-Cruz

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco.
jaoveracruz@gmail.com

Lecturas recomendadas

- Basco, A. I. y G. Beliz (2018), *Industria 4.0: Fabricando el futuro*, Buenos Aires, BID.
- Dutrénit, G., J. M. Natera, M. Puchet y A. O. Vera-Cruz (2021), “Evolutionary and Interacting Spheres that Condition the Technological Capabilities Accumulation in Latin America”, en J.-D. Lee *et al.* (eds.), *Challenges of Technology and Economic Catch-Up in Emerging Economies*, Oxford, Oxford University Press.
- ONUDI (2020), *Informe sobre el Desarrollo Industrial 2020. La industrialización en la era digital. Resumen*, Viena, ONUDI.
- Pérez, C. (2003), “Revoluciones tecnológicas, cambios de paradigma y de marco socioinstitucional”, en J. Aboites y G. Dutrénit (coords.), *Innovación, aprendizaje y creación de capacidades tecnológicas*, México, UAM/Porrúa.
- Pérez, C. (2010), “Technological revolutions and techno-economic paradigms”, *Cambridge Journal of Economics*, 34(1):185-202. [Traducción al español disponible en: http://132.248.45.5/academia/inae/images/ProgramasyLecturas/lecturas/inae_ii/Revolucionestecnologicasparadigmastecnoeconomicos.pdf, consultado en enero de 2023.]



Una nueva narrativa sobre la industria 4.0 desde las ciencias sociales

En el actual escenario de crisis económica y disputa de liderazgos tecnológicos globales entre los países industrializados, los caminos futuros de incorporación productiva de las tecnologías digitales son inciertos. Para México, estos procesos presentan una oportunidad y desafíos para mejorar nichos tecnológicos de inserción productiva, esfuerzos de investigación y generación de nuevos talentos.

Industria 4.0 y nuevas tecnologías digitales

La tecnología de fabricación digital aún no es de uso masivo. De manera paulatina, su aplicación y asimilación ha provocado cambios en la producción de las grandes empresas y, en especial, de las pequeñas y medianas empresas (pymes) proveedoras, ya que se abren nuevos espacios para el intercambio comercial y el productivo, así como para el desarrollo de las y los emprendedores. En este contexto, se combina el fortalecimiento de la actividad industrial con la revolución digital al satisfacer las necesidades heterogéneas de los clientes y captar las oportunidades del mercado.

La industria 4.0 se desarrolla mediante procesos flexibles para gestionar información compleja sobre los productos, la producción y la logística, a partir del manejo de estándares. La modularidad de los procesos conlleva a la sustitución del conocimiento, antes tácito, por el desarrollo de estándares patentados para el intercambio de la información, los cuales facilitan la interacción entre unidades de la producción que pueden estar ubicadas en diferentes lugares del mundo. El impulso de la digitalización profundiza las tendencias contradictorias en la geografía de la producción al integrar estructuras existentes que dependen de una variedad de factores, como la tecnología, los productos y el sector.

La transformación digital potencialmente afecta a todos los países, empresas y mercados; pero no todos innovan de la misma manera ni cuentan con infraestructuras y consensos sociales para generar confianza con el fin de que las personas y las organizaciones gestionen los riesgos de seguridad y privacidad digital. La expansión de la industrialización digital dejó claro que su desarrollo no se trató sólo de avances técnicos, sino que involucró una acción coordinada entre las políticas



gubernamentales y los mercados. Así, todas las experiencias nacionales en la aplicación de las tecnologías digitales han permitido el acceso y la evaluación de las condiciones favorables para su uso, tanto en lo que se refiere a la infraestructura de comunicación, de servicios y de datos, como con respecto a las nuevas regulaciones y equilibrios en el empleo y las mejoras de las capacidades técnicas.

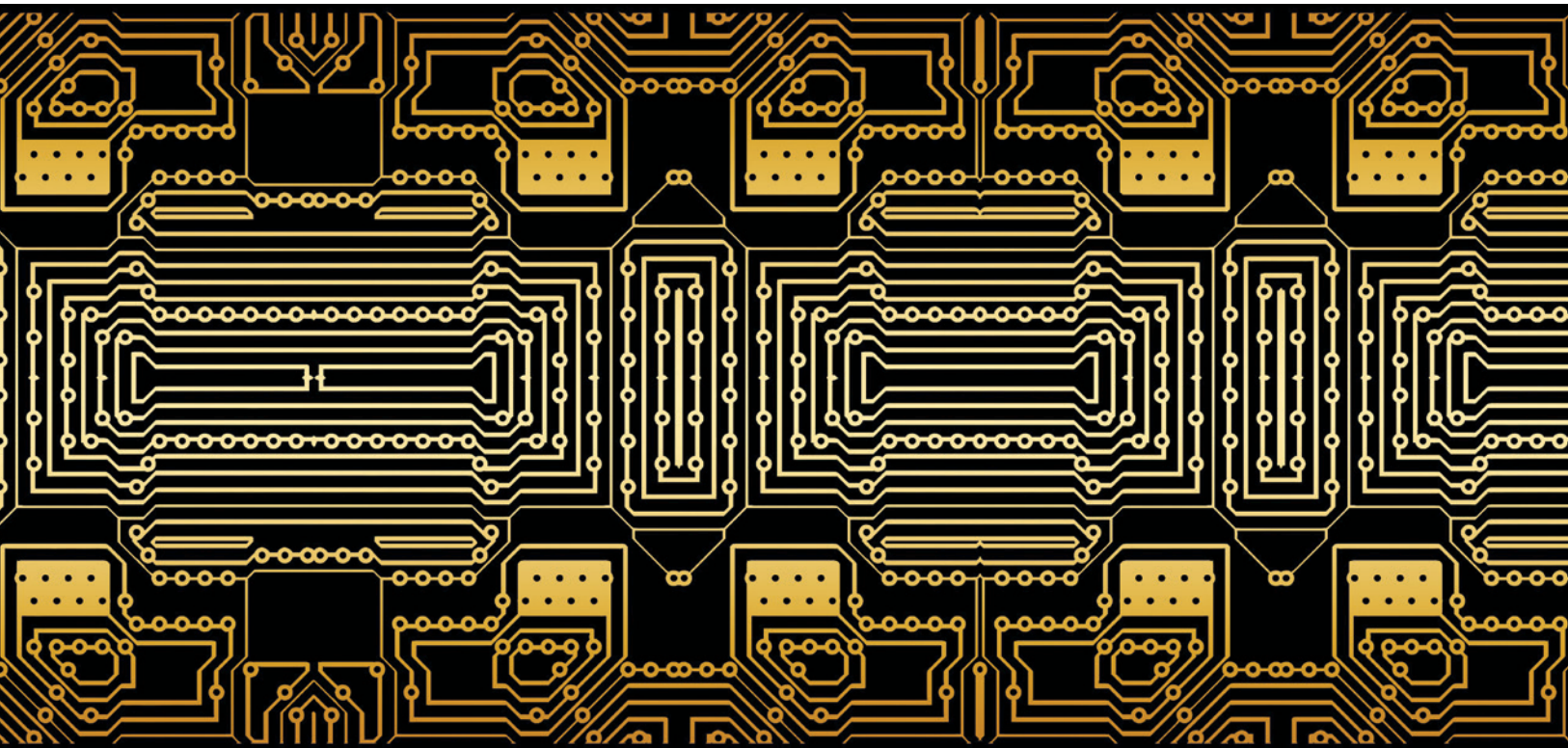
De igual forma, los países han afrontado retos en el ámbito de la seguridad, fiabilidad e integración de la información. Éstos son los “cuellos de botella” para el diseño y la integración productiva que plantea la industria 4.0 en la actualidad. Por lo tanto, es un tema central en las investigaciones, las cuales han subrayado la importancia de las aplicaciones y sus efectos, así como la influencia de la estandarización de los procesos para asegurar una visión estratégica de la industria 4.0.

El desarrollo de este modelo industrial ha estado determinado por la intensa coordinación interinstitucional sustentada en una comunicación cercana entre las entidades y actores tecnológicos, sociales y productivos. Asimismo, los países han articula-

do arreglos institucionales formales e híbridos para orientar las estrategias durante la transición de lo analógico a lo digital; para ello, han creado instituciones y plataformas con múltiples actores. Estas últimas fomentaron el intercambio de la información y la expansión del uso de las tecnologías avanzadas basadas en las colaboraciones institucionales con la finalidad de reducir los obstáculos y evitar los conflictos en la aplicación.

En México, desde hace dos décadas se perfila la preocupación académica y de las agendas de políticas de ciencia, tecnología e innovación sobre el futuro de las tecnologías avanzadas en las industrias de exportación, como la automotriz y la aeroespacial. En este marco, se ha gestado una red de intercambios entre productores de equipo original, cámaras empresariales y centros tecnológicos, con el fin de sistematizar los logros obtenidos en los programas de despegue del modelo de la industria 4.0 en las empresas, en las políticas y en la formación de capacidades.

Las experiencias nacionales de industrialización 4.0 han analizado tres aspectos: los procesos orga-



nizacionales de las empresas (eficiencia de procesos, esquemas de gestión, negocios y procesos de toma de decisión), los aspectos técnicos de desempeño productivo y la valoración de las capacidades técnicas, así como de las potenciales acciones de gobernanza. Con independencia de las particularidades nacionales, estos procesos han tenido tres elementos en común: 1) la articulación nacional de las políticas y su vinculación con una visión de desarrollo económico; 2) un énfasis en la digitalización productiva desde el impulso a las capacidades; 3) una orientación de políticas y programas hacia nuevas formas organizacionales público-privadas que resaltan el papel de la formación de trabajadores y empresas para la adopción de las tecnologías digitales avanzadas.

 **Reorganización de estrategias por el liderazgo tecnológico**

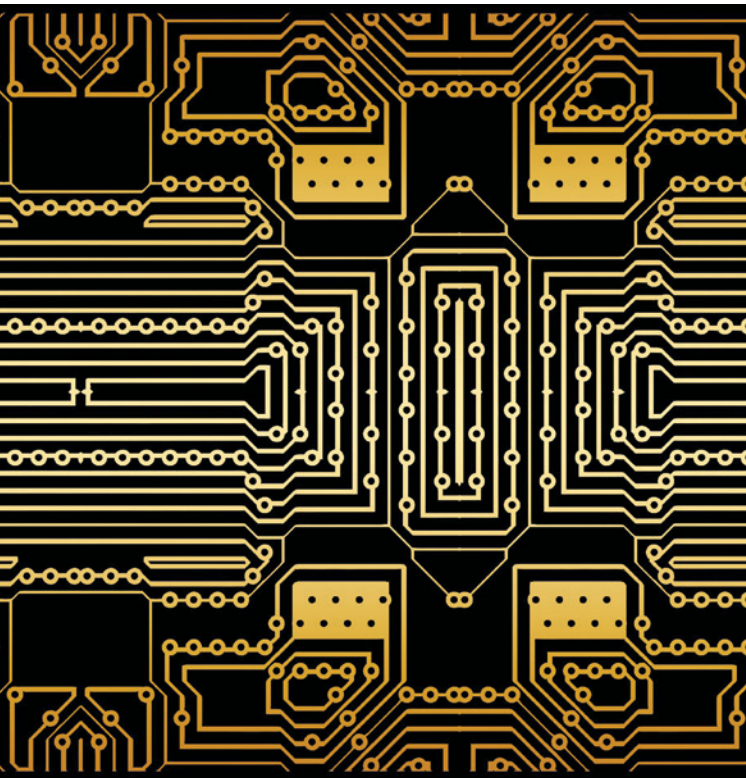
La digitalización ha permitido el desarrollo de estrategias y una nueva cultura para el crecimiento desde la exploración de los futuros digitales posibles. Entre estos aspectos se incluyen desafíos como: 1) la

incursión de nuevas oportunidades de negocios; 2) la mitigación de amenazas relacionadas con opciones de inversión o de ingreso en campos innovadores; 3) la formación de recursos humanos. La crisis por la pandemia de covid-19 acentuó las contradicciones de la sociedad contemporánea ante los riesgos enfrentados. Las nuevas condiciones económicas y la profundización de las desigualdades afectaron las formas de gobernanza, las estrategias productivas y las alianzas políticas hasta entonces prevalecientes.

En este escenario, las estrategias de industrialización digital enfrentan incertidumbres de carácter geopolítico. Con la democracia debilitada por la pandemia y, también, por el surgimiento de grupos con una preocupante proclividad a presentar comportamientos autoritarios, la fragmentación de la sociedad ha dado origen a actores y relatos divergentes, a veces difíciles de congeniar con una negociación basada en acuerdos sociales hacia una narrativa de futuro entre Estados, empresas, grupos tecnológicos, medios de información y ciudadanía. El entorno internacional muestra una disputa por la concentración de las esferas geotecnológicas que definen a las actuales sociedades y economías digitalizadas.

La Unión Europea enfrenta desafíos importantes, como superar la dependencia energética de Rusia y consolidar la unidad entre los Estados miembros ante los problemas de seguridad y defensa. No obstante, la región ha liderado en el ámbito de la regulación de normas por medio de la Ley de Mercados Digitales (DMA) y la Ley de Servicios Digitales (DSA). Estas iniciativas de la sociedad civil buscan limitar el poder de mercado de las grandes empresas tecnológicas estadounidenses al regular el contenido de sus plataformas y garantizar el acceso al mercado de las pymes europeas.

En tanto, la Unión Europea y los Estados Unidos de América consolidaron una relación trasatlántica con la creación del Consejo de Comercio y Tecnología (TTC). Los objetivos de ambos coinciden en la importancia de controlar las exportaciones tecnológicas que suponen un riesgo para la seguridad nacional. Dicho acuerdo prioriza la protección a las tecnologías avanzadas frente a los riesgos derivados de su dependencia de las materias primas y de





la infraestructura de conectividad (red 5G, infraestructura en la nube y cables submarinos).

Reflexiones finales

En este contexto dominado por incertidumbres geopolíticas y reordenaciones de escenarios políticos, la tecnología adquiere un papel central en las relaciones de poder e influencia entre países. El control tecnológico acentúa las asimetrías entre los dueños de la tecnología y quienes pretenden obtenerla; los países industrializados compiten para generar redes de infraestructura digital en naciones emergentes. Entre estos casos están la Ruta de la Seda, impulsada por China, el Plan Global Gateway, a cargo de la Unión Europea, y proyectos promovidos por Estados Unidos de América, como el Marco Económico del Indo-Pacífico para la Prosperidad (IPEF), el Diálogo de Seguridad Cuadrilateral (QUAD; junto a Japón, Australia e India) y la alianza militar AUKUS (junto al Reino Unido y Australia).

Las iniciativas de cooperación internacional recientes buscan construir alianzas entre países en sec-

tores estratégicos, sobre todo en el digital, climático y de tecnologías avanzadas. Los sectores estratégicos (inteligencia artificial, computación cuántica) son un factor crítico de confrontación por el liderazgo tecnológico entre Estados Unidos de América y China, en tanto que para la Unión Europea el reto central es definir nuevas normas de estandarización y regulación de las tecnologías avanzadas.

Las tendencias actuales recuperan las tecnologías de vanguardia a escala nacional, sin que esto signifique un abandono de la globalización. La situación de crisis y desabastecimiento actual aumenta los desafíos de gestión de precios, componentes y proveedores. La Ley CHIPS for America, aplicada por el gobierno estadounidense ante la escasez de semiconductores, es un ejemplo en tal sentido: una estrategia de política pública de diversificación de la cadena de suministro y relocalización para proteger la economía interna nacional.

Los desafíos para la incorporación productiva de las nuevas tecnologías digitales dependen del tipo de estructura productiva y del perfil de especialización nacional. En México, esta configuración productiva

está marcada por el dinamismo del Tratado entre México, Estados Unidos de América y Canadá (T-MEC, antes TLCAN), el cual aumentó la relevancia del comercio internacional en el PIB mexicano (con gran concentración de las exportaciones en el mercado estadounidense) y contribuyó al aumento de la composición tecnológica de las exportaciones y del peso de la manufactura en el total del PIB, con avances escasos en materia de innovación, productividad y generación de empleo de calidad.

El mercado abierto y los incentivos a la exportación a partir del T-MEC han contribuido al crecimiento de las industrias automotriz, aeroespacial y de tecnologías de la información. Estas industrias de exportación también se han beneficiado con los servicios técnicos y organizacionales nacionales, así como con el apoyo de los gobiernos estatales en clústeres productivos donde se localizan dichos sectores. Pese a la fragmentación del sistema de innovación, tienen el potencial de apropiarse de las ventajas del internet industrial (uso de datos, computación en la nube, informática móvil y *big data*), así como también de los medios para producir estas tecnologías.

Los ejemplos de uso de tecnologías 4.0 por empresas en México se sitúan en estos tres sectores de alto nivel tecnológico, dominados por firmas ensambladoras y proveedores de primer nivel globales. Esto muestra que el desarrollo de la industria 4.0 puede apoyar el cambio industrial, tanto creando bienes y servicios digitales como agregando valor al incorporar lo digital a bienes físicos y plataformas de producción, intercambio y consumo.

En México, la estrategia más prometedora no es el desarrollo de nuevas tecnologías, sino la combinación de las existentes bajo nuevos principios. El reto es llenar vacíos creados por la falta de infraestructura, la limitada capacitación de la fuerza de trabajo para enfrentar nuevos retos digitales y las inconsistencias institucionales que han inhibido los procesos de aprendizaje; esta situación exige establecer programas e incentivos que sobrevivan a las administraciones sexenales. En un entorno de producción cambiante, el papel del Estado y sus políticas de desarrollo industrial deben priorizar áreas de investiga-

ción tecnológica, pero también diseñar instituciones e iniciativas que apliquen los resultados de la investigación científica y el desarrollo tecnológico en los sistemas industriales.

Mónica Casalet

Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales-México.
casalet@flacso.edu.mx

Federico Stezano

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco.
fstezano@gmail.com

Referencias

- Bär, K., Z. N. L. Herbert-Hansen y W. Khalid (2018), "Considering Industry 4.0 aspects in the supply chain for an SME", *Production Engineering*, 12(6):747-758. Disponible en: <<https://doi.org/10.1007/s11740-018-0851-y>>, consultado en enero de 2023.
- Casalet, M. y F. Stezano (2021), "The progress of digitalization in Mexico: effects on the institutional structure", *International Journal of Business Innovation and Research*, 24(3):339-363. Disponible en: <<https://doi.org/10.1504/ijbir.2020.10024956>>, consultado en enero de 2023.
- Flores, G. y M. Sánchez (2020), "The Political Economy of NAFTA/USMCA", en G. Ondetti *et al.* (eds.), *Oxford Research Encyclopedia of Latin American Politics*, Nueva York, Oxford University Press.
- Ricart, R. J. y J. I. Torreblanca (2022), "El Consejo de Comercio y Tecnología (TTC) entre EE. UU. y la UE: Estado actual, problemas y retos para la relación transatlántica", *EsadeEcPol-Center for Economic Policy*. Disponible en: <<https://www.esade.edu/ecpol/es/publicaciones/el-consejo-de-comercio-y-tecnologia-ttc-entre-ee-uu-y-la-ue-estado-actual-problemas-y-retos-para-la-relacion-transatlantica/>>, consultado en enero de 2023.
- Ulas, D. (2019), "Digital Transformation Process and SMEs", *Procedia Computer Science*, 158:662-671. Disponible en: <<https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.09.101>>, consultado en enero de 2023.
- Warner, K. S. R. y M. Wäger (2019), "Building dynamic capabilities for digital transformation: An ongoing process of strategic renewal", *Long Range Planning*, 52(3):326-349. Disponible en: <<https://doi.org/10.1016/j.lrp.2018.12.001>>, consultado en enero de 2023.

Inteligencia artificial y ciencia de datos en la nueva Revolución Industrial

Los grandes avances recientes en varias ramas de la ingeniería, sobre todo de la ingeniería eléctrica y la computación, influyen de manera vigorosa en la industria, la medicina y la sociedad en el marco de la Cuarta Revolución Industrial. Aquí se analizan los efectos de dos de esas ramas: la inteligencia artificial y la ciencia de datos, con algunas innovaciones relevantes para el contexto nacional.

Introducción

Los recientes avances de la inteligencia artificial y la ciencia de datos, dos de las ramas más dinámicas de la computación (véase el Recuadro 1), inciden en la competitividad de la industria y dan origen a la llamada Cuarta Revolución Industrial, también conocida como industria 4.0.

El economista y empresario alemán Klaus Schwab (2017), fundador del Foro Económico Mundial de Davos, definió el concepto:

la Cuarta Revolución Industrial genera un mundo en el que los sistemas de fabricación virtuales y físicos cooperan entre sí de una manera flexible a nivel global. Sin embargo, no consiste sólo en sistemas inteligentes y conectados. Su alcance es más amplio y va desde la secuenciación genética hasta la nanotecnología, y de las energías renovables a la computación cuántica. Es la fusión de

estas tecnologías y su interacción a través de los dominios físicos, digitales y biológicos lo que hace que la Cuarta Revolución Industrial sea diferente a las anteriores [...] El elemento

clave de la Cuarta Revolución Industrial son las fábricas inteligentes, cuya principal característica es una mayor adaptabilidad a las necesidades de la producción y una mejora en la eficiencia de los recursos. Esta Cuarta Revolución Industrial se centra en los sistemas ciberfísicos, la robótica, el internet de las cosas, la conexión entre dispositivos y la coordinación cooperativa de las unidades de producción de la economía.





Recuadro 1. Tecnologías innovadoras recientes

El Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE, por sus siglas en inglés) publicó en 2014 un informe¹ acerca de las tecnologías innovadoras que tendrían un impacto en la industria para cuando llegara el año 2022. La computación tiene una influencia importante entre las innovaciones que originan la Cuarta Revolución Industrial:

1. Temas transversales de seguridad. Compromiso con la seguridad y la privacidad, a raíz de situaciones provocadas por: *a)* el crecimiento de grandes repositorios de datos, *b)* la posibilidad de analizarlos (ciencia de datos), *c)* la capacidad de recolectarlos, y *d)* la habilidad de agentes malevolentes para explotarlos de maneras ilícitas.

2. Movimiento abierto de propiedad intelectual. *Software* abierto o libre, con estándares abiertos y publicaciones técnicas libres (DSpace, Wikipedia, etc.).

3. Sostenibilidad. Estrategias para mantener y preservar los recursos de la computación, para asegurar su uso continuo.

4. Cursos abiertos masivos en línea. Medios para popularizar el conocimiento y apoyar a las personas autodidactas.

5. Computación cuántica. Cálculo mediante fenómenos de la mecánica cuántica.

6. Nanotecnología. Manipulación de la materia a una escala casi atómica para crear nuevas estructuras, materiales y aparatos.

7. Circuitos integrados en 3D. Desarrollo de chips con dos o más capas de componentes electrónicos activos, a partir del uso de grafeno o nanotubos.

8. Multinúcleos. Llamados en inglés *multicore*, son un solo circuito integrado que contiene un procesador con varias unidades centrales de procesamiento.

9. Fotónica. El uso de la luz para emisión, transmisión, modulación, procesamiento, conmutación, amplificación y detección de señales.

10. Memoria universal. Memoria no volátil (NVM) para reemplazar la memoria dinámica de acceso aleatorio (DRAM), combinando acceso aleatorio rápido con no volatilidad.

11. Redes e interconectividad. Uso de la comunicación entre diversos componentes o nodos (memoria, procesadores, dispositivos móviles, servidores, impresoras, etc.).

12. Redes definidas por *software*. Separar la función de un dispositivo de su implementación.

13. Computación de alto rendimiento. Uso de supercomputadoras, grandes memorias y arreglos de computadoras para resolver problemas de cómputo complejos.

14. Computación en la nube. Prestación de servicios informáticos según se requieran, bajo demanda, por internet.

15. Internet de las cosas. Red de objetos físicos ("cosas") que llevan incorporados sensores, *software* y otras tecnologías con el fin de intercambiar datos con otros dispositivos.

16. Interfaces de usuario naturales. Computadoras que podrían interactuar con los seres humanos de forma natural mediante el habla, los gestos, la inteligencia y su interfaz.

17. Impresión 3D. Fabricación por adición para obtener un objeto tridimensional mediante la superposición de capas sucesivas de material.

18. Ciencia de datos y analítica predictiva. Análisis de grandes conjuntos de datos² para extraer conclusiones útiles, hallar tendencias, desviaciones, anomalías, situaciones interesantes, comportamientos típicos y hacer predicciones dentro de un mar de datos.

19. Aprendizaje automático y sistemas inteligentes. Creación de sistemas de cómputo que aprenden a partir de los datos. La inteligencia artificial estudia los sistemas inteligentes, que perciben su entorno y llevan a cabo acciones que maximizan las posibilidades de lograr sus objetivos.

20. Visión por computadora y reconocimiento de patrones. Análisis de imágenes y video, a veces en tiempo real.

21. Ciencias de la vida. Métodos biológicos modernos, técnicas y tecnologías de apoyo con objetivos de mejorar la salud humana y animal para abordar las amenazas ambientales.

22. Biología computacional y bioinformática. Métodos y herramientas de *software* para comprender datos biológicos, en particular, con conjuntos de datos grandes y complejos.

23. Robótica para atención médica. Uso de robots en medicina para entrega autónoma de suministros en hospitales, telemedicina, cirugía robótica, apoyo en rehabilitación, etcétera.

¹ Véase <<https://tinyurl.com/IEEE-CS-2022-report>>.

² Véase <<https://tinyurl.com/CdeDatos>>.

Innovaciones en inteligencia artificial y ciencia de datos

Es común que una nueva tecnología requiera de ajustes para cada aplicación específica. En el sector productivo nacional, varias de estas tecnologías ya

empiezan a usarse: cursos abiertos masivos en línea, multinúcleos, computación en la nube, impresión 3D, visión por computadora y reconocimiento de patrones, entre otros ejemplos. Aquí describiré cómo influyen en la Cuarta Revolución Industrial y en

otras áreas de nuestra vida dos de ellas: la inteligencia artificial y la ciencia de datos. Con audacia, la sociedad mexicana puede aprovechar algunas innovaciones relevantes.

En el sector primario de la agricultura, con el internet de las cosas, actualmente se colocan **sensores y actuadores** en los campos de cultivo para su mejor irrigación, fertilización y cuidado. Asimismo, en las fábricas e instalaciones industriales, los datos recolectados por medio de estos sensores y actuadores, junto con el análisis de la inteligencia artificial y la ciencia de datos, permiten optimizar o mejorar en mucho el funcionamiento de los procesos. Lo mismo aplica para el transporte, la iluminación, la calefacción, entre otras. Con esto se logra una producción de satisfactores más rápida, más barata, menos contaminante y con flexibilidad en la producción.

En cuanto a la generación de energía y electricidad, la inteligencia artificial hace posible la integración de la energía solar, eólica, hídrica y fósil, para su consumo y almacenamiento, en una red reconfigurable de potencia (Lee, 2020). Además, las redes definidas por *software*, el internet de las cosas y la

ciencia de datos y analítica predictiva son tecnologías aprovechables por el Centro Nacional de Control de Energía mexicano.

Con respecto a sectores específicos, la industria de la construcción se vale de la **fabricación aditiva** y la impresión 3D para producir hasta casas, puentes¹ y otras edificaciones. En tanto, la industria textil y de la moda aprovecha la ciencia de datos y la nanotecnología para identificar fácilmente los aisladores topológicos en etiquetas electromecánicas que ofrecen protección contra falsificaciones de marcas prestigeadas; funciona de esta manera: cada etiqueta tiene defectos únicos que provocan distintas frecuencias de resonancia, un barredor espectral transforma esas frecuencias en una especie de huella digital de escala nanométrica (la millonésima parte de un milímetro) y, así, cada objeto tiene adherida una etiqueta única, físicamente irreproducible.

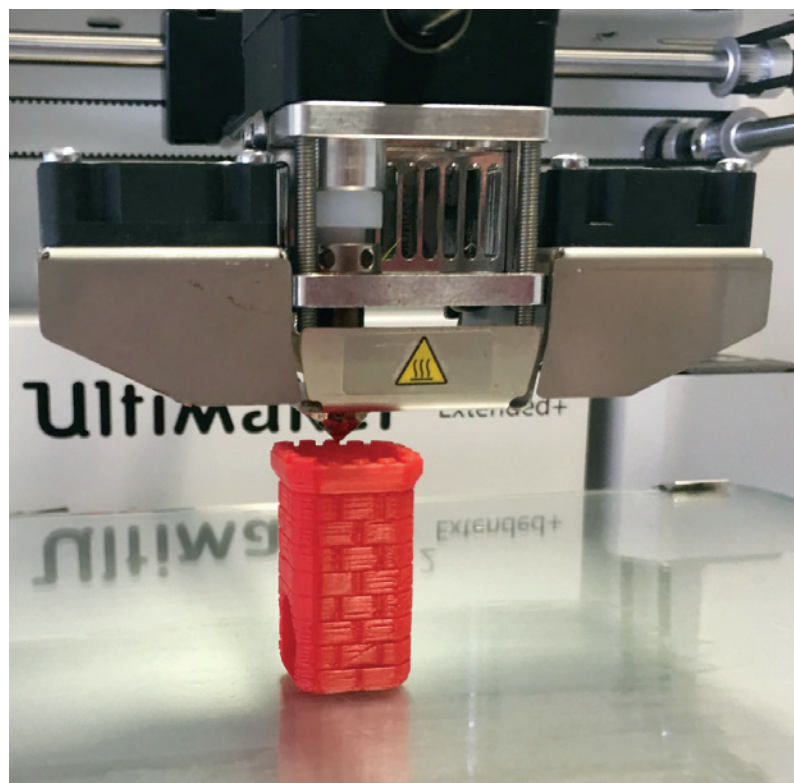
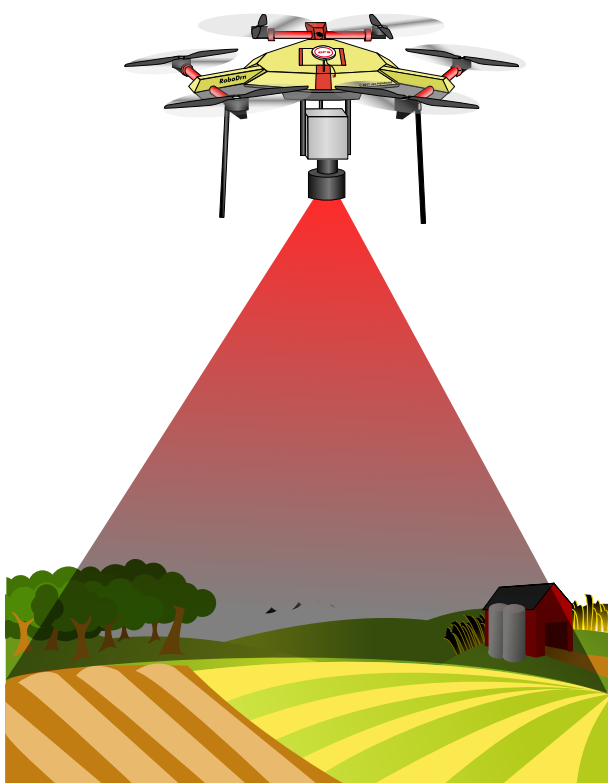
Por otra parte, en la industria militar, la inteligencia artificial ha impulsado la creación de drones y armas autónomas² que se disparan cuando sus

Fabricación aditiva

Método de manufactura para producir artículos al momento con un modelo digital y sin necesidad de moldes.

Sensores y actuadores

Dispositivos que detectan y envían señales para controlar un sistema.



¹ Véase <<https://tinyurl.com/PuenteImpreso>>.

² Véase <<https://tinyurl.com/ComiteCruzRoja>>.



sensores detectan la presencia de un “blanco” predefinido. Asimismo, en el gobierno, con la ciencia de datos se pueden detectar anomalías en el manejo de los fondos públicos y apoyos gubernamentales (Morales, 2021). Además, tanto las instituciones como las empresas pueden implementar la ciencia de datos y tecnologías de visión por computadora mediante la instalación de cámaras de seguridad en los inmuebles para vigilar de manera autónoma los movimientos de personas u objetos y detectar patrones anómalos en el comportamiento de la instalación. Con ello, también pueden tener un mejor conocimiento de las aptitudes y acciones de sus empleados, y contrastarlas con las necesidades y problemas más comunes de la organización.

Fenotipado

Análisis de rasgos determinados por la composición genómica (genotipo) y los factores ambientales.

Salud y medicina

En el ámbito médico, la ciencia de datos y analítica predictiva es capaz de predecir propiedades terapéuticas y efectos secundarios de nuevas sustancias (análisis *in silico*), antes de probarlas en el laboratorio (*in vitro*) y en sujetos vivos (*in vivo*); por ejemplo, sirve para prevenir interacciones entre drogas o detectar qué tipos de medicamentos son mejores para cada tipo de paciente, como en el caso de la diabetes

tipo 2 (Gutiérrez, 2020). En conjunto con la biología computacional y la bioinformática, la ciencia de datos se usa para mantener y unificar la plataforma Therapeutics Data Commons, que permite acceder y evaluar sistemáticamente el aprendizaje automático en varias terapias; esto incluye 66 conjuntos de datos apropiados para su análisis con inteligencia artificial, y abarca el descubrimiento y desarrollo de medicamentos seguros y eficaces.

Por otro lado, las innovaciones pueden emplearse para la búsqueda de patrones en cadenas de ADN con la intención de detectar lugares de interés biológico, por ejemplo, motivos (*motifs*, en inglés) o factores de transcripción que se repiten con cierta frecuencia y señalan la presencia de algunos genes o mutaciones. Asimismo, para el **fenotipado** digital, el uso de los sensores del teléfono celular (posición según el GPS, acelerómetro, iluminación, llamadas telefónicas, uso de redes sociales, bloqueo) permite detectar problemas mentales (depresión, ansiedad, stress, esquizofrenia) en pacientes.

En última instancia, las innovaciones de la Cuarta Revolución Industrial pueden ser de gran ayuda para la epidemiología, mediante el conocimiento de las dolencias de cada individuo y de las enfermedades o problemas más comunes en una región, para

implementar acciones preventivas, seguros colectivos y estrategias de detección temprana de síntomas y signos de una posible pandemia.

Comercio de productos y servicios

El análisis de grandes conjuntos de datos conduce a un mejor conocimiento de los clientes y de lo que consumen. ¿Qué opiniones tienen sobre productos y servicios específicos? Con esta información se puede desarrollar mercadotecnia dirigida, para sólo darle al cliente lo que le gusta. La ciencia de datos nos permite conocer a fondo la fidelidad y la experiencia de cada cliente: dónde compra, qué busca, qué ve, qué le gusta... para así diseñar ofertas instantáneas (cupones que se activan en el celular cuando la persona está a punto de comprar un producto de la competencia) o publicidad personalizada para atraer y retenerlos. Al analizar grandes conjuntos de datos recolectados, la ciencia de datos, apoyada por la inteligencia artificial, ayuda a impulsar la venta de productos o servicios que se adaptan conforme cambian sus usuarios (o clientes).

Esto puede ser idóneo si se trata del comercio en general, pero resulta indeseable en el ámbito de la información, pues, por ejemplo, un medio sólo le presenta a la persona las noticias que le gusta ver. Muchas empresas conectan virtualmente a compradores con vendedores, con lo cual manejan sustanciales recursos e información; así, la ciencia de datos y la inteligencia artificial ayudaron a crear este tipo de plataformas (Uber, Airbnb, Trivago, Sin Delantal, Mercado Libre), pero existen controversias en cuanto al uso de la información que recaban. Además, se ha potencializado la extracción de información de páginas web: “ordeñar” internet para detectar patrones de interés, extraer conceptos de lo más buscado o analizar textos de la prensa digital, entre otros ejemplos.

Tecnologías en las ciudades

La Cuarta Revolución Industrial beneficiará a los grandes conglomerados urbanos, principalmente para resolver temas de seguridad y contaminación.

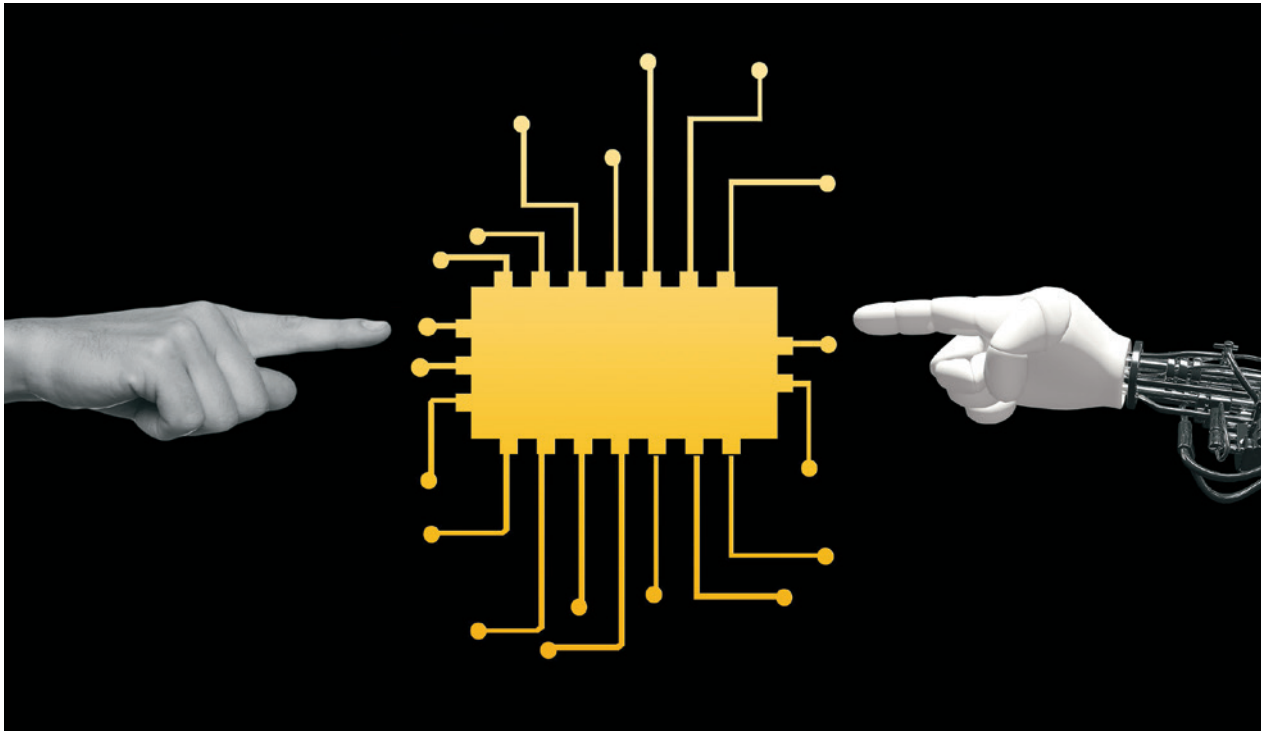


Las redes de cámaras ya instaladas en la vía pública (en la Ciudad de México hay cerca de diez mil), edificios de gobierno y comerciales, serán usadas con la inteligencia artificial, ciencia de datos y visión por computadora para reconocer y detectar acontecimientos anómalos y, con ellas, dar seguimiento a personas y vehículos (Olivares, 2023). Asimismo, la ciencia de datos permite analizar la distribución de los delitos en una ciudad y diseñar rutas seguras³ o menos riesgosas.

De la misma manera, pueden revisarse los recorridos de bicicletas públicas (EcoBici en la Ciudad

³ Véase <<https://tinyurl.com/RutaSegura>>.





de México) y patinetas de alquiler, para buscar optimizar el uso⁴ y la redistribución (reabasto) de este tipo de transporte no contaminante. Adicionalmente, con respecto a la gestión de residuos urbanos, la inteligencia artificial puede guiar sistemas electromecánicos para separar los productos y materiales reciclables, y así reducir el desperdicio y la contaminación.

■ **Más innovaciones**

■ En otros ámbitos, las innovaciones que dieron paso a la Cuarta Revolución Industrial también son útiles para la aplicación del conocimiento en beneficio de nuevos avances gracias a la inteligencia artificial y la ciencia de datos; desde el uso de chips ópticos para hacer cálculos en redes neuronales que aceleran los análisis requeridos en computación óptica, hasta la instalación y funcionamiento de observatorios autónomos o telescopios robóticos para llevar a cabo investigaciones y colaboraciones académicas internacionales en el campo de la astronomía. Adicio-

nalmente, se han desarrollado dispositivos con interfaces de usuario naturales, aprendizaje automático y sistemas inteligentes para la traducción en tiempo real; así, mediante unos audífonos conectados al teléfono móvil, dos personas pueden conversar aunque hablen idiomas diferentes.

■ **¿Nos van a reemplazar los robots?**

■ A muchas personas nos preocupa el avance acelerado e inevitable de la inteligencia artificial. ¿Qué pasará cuando las máquinas computarizadas tengan libre albedrío y sean más inteligentes que nosotros? Nos inquieta que estos dispositivos, que los informáticos creamos mediante la inteligencia artificial y la robótica, lleguen a reemplazarnos, dominarnos o esclavizarnos; que escapen de nuestro control.

No obstante, lo mismo puede suceder con la crianza de animales feroces, muy inteligentes o con mucha fuerza, así como con la creación de armas autónomas o virus modificados. Incluso con la introducción de animales y plantas en hábitats novedosos para esas especies, donde no tienen depredadores naturales, la preocupación es real. Una manera de

⁴ Véase <<https://tinyurl.com/EcoBiciCdMx>>.

evitarlo es colocar controles y mecanismos para limitar su expansión y ámbito de acción. Aunque, claro, se pueden salir de control, como sucedió con la introducción de conejos en Australia, la filtración de abejas africanas en Sudamérica o la liberación del pitón de Birmania en Florida.⁵

Conclusión

“Es la fusión de estas tecnologías y su interacción a través de los dominios físicos, digitales y biológicos

⁵ Véanse: <https://tinyurl.com/ConejoAus>; <https://tinyurl.com/Africanizacion>, https://es.wikipedia.org/wiki/Abeja_africanizada; <https://tinyurl.com/PitonFlorida>.

lo que hace que la Cuarta Revolución Industrial sea diferente a las anteriores” (Schwab, 2017). La industria mexicana, mediante una mezcla de precaución, audacia y riesgo, empieza a aprovechar los avances en inteligencia artificial, ciencia de datos y otras tecnologías. No obstante, hay obstáculos: “Porque la rutina funciona. Porque la desidia resulta incólume o simplemente porque la inercia es canija” (Candiani, 2022).

Adolfo Guzmán Arenas

Laboratorio de Ciencia de Datos y Tecnología de Software, Centro de Investigación en Computación, Instituto Politécnico Nacional. aguzman@ieee.org

Lecturas recomendadas

Candiani, M. (2022), “¿Cómo estimular el accionamiento continuo de ‘nuevas formas?’”, *El Financiero*, 29 de agosto.

Gutiérrez, A. (2020), *Aplicación de la minería de datos para buscar los atributos que inciden en el nivel glicémico de pacientes con Diabetes Mellitus tipo 2* (tesis de maestría), Instituto Politécnico Nacional. Disponible en: <https://tinyurl.com/AlejGutz>, consultado en enero de 2023.

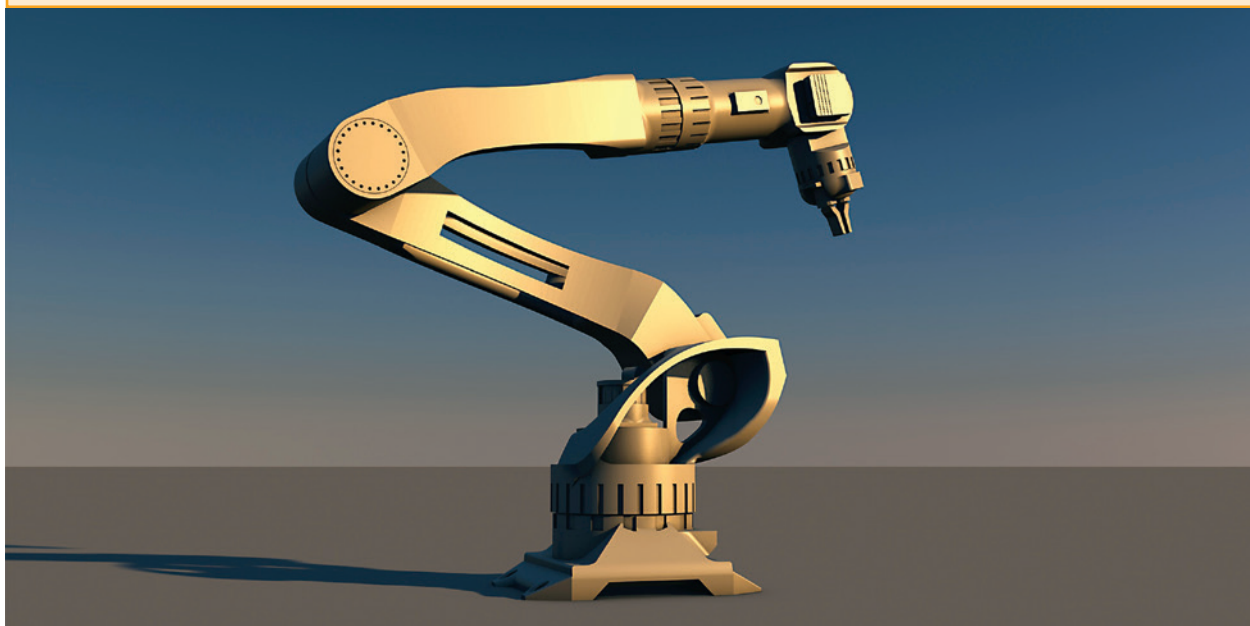
Lee, P. T. (2020), “The software-defined power grid is here”, *IEEE Spectrum*, julio: en línea.

MECALUX (2021), *Fabricación aditiva: la impresión 3D digitaliza la manufactura*. Disponible en: <https://tinyurl.com/FabAditiva>, consultado en enero de 2023.

Morales, A. (2021), *Minería de datos para la detección de anomalías en apoyos gubernamentales* (tesis de maestría), Instituto Politécnico Nacional. Disponible en: <https://tinyurl.com/ApoyoAnomal>, consultado en enero de 2023.

Olivares, C. (2023), *Seguimiento de personas en multicámaras* (tesis de maestría), Instituto Politécnico Nacional. Disponible en: <https://tinyurl.com/SeguimVariasCameras>, consultado en enero de 2023.

Schwab, K. (2017), *La Cuarta Revolución Industrial*, México, Penguin Random House.



La banda 5G y su potencial para la industria 4.0

El avance de la industria 4.0 requiere de una digitalización y conectividad cada vez más ágil y sofisticada. Las innovaciones potencialmente aplicables, que tienen la capacidad de aumentar la productividad de las empresas en tiempo real y proteger la enorme cantidad de información que se genera en este proceso, dependen de redes de última generación, como redes celulares 5G, para incrementar la eficiencia.

Introducción

La innovación tecnológica ha tenido un avance acelerado en los últimos años en prácticamente todos los ámbitos económicos y sociales. En la industria, las posibilidades que provee la nueva tecnología son enormes, entre ellas: la factibilidad de producir bienes más acordes con las necesidades específicas de los consumidores; una mayor eficiencia y productividad; una mejor integración de la cadena de valor; así como la reducción de costos por diversas vías.

El objetivo de este artículo es analizar hasta qué punto la introducción de las redes 5G es fundamental para implementar plenamente la industria 4.0 y cómo en ausencia de estas redes no es posible intercambiar información en tiempo real, lo que impide generar una visión también simultánea del funcionamiento de una empresa y la intervención oportuna para que opere óptimamente. En la primera parte del artículo nos centramos en la tecnología que es esencial en la industria 4.0, con sus formas más avanzadas; en la segunda parte, exploramos en qué sentido las tecnologías de la información y la comunicación (TIC), específicamente las redes 5G, son indispensables para hacer posible la aplicación de las innovaciones que ayudan al funcionamiento óptimo de la industria 4.0.

La industria 4.0

Actualmente estamos viviendo la Cuarta Revolución Industrial, que ha dado lugar a tecnologías tan novedosas como la inteligencia artificial (IA), la robótica, la ciencia de datos y el internet de las cosas (IoT, por sus siglas en inglés),





entre otras. Los sistemas productivos en medio de esta gran transformación están en camino a ser cada vez más “inteligentes” y conectados. Como resultado, se experimentan grandes avances en cuestión de la productividad.

Hoy las empresas utilizan sensores, *software* embebido y robótica, por medio de los cuales obtienen una gran cantidad de información, misma que analizan con ayuda de la ciencia de datos y la inteligencia artificial, lo cual les permite tomar las mejores decisiones respecto de todas las etapas del proceso productivo. Estas innovaciones digitales dentro de la

empresa llevan a una “mayor automatización, mantenimiento predictivo, auto-optimización de procesos y, sobre todo, un nuevo nivel de eficiencia y respuesta a los clientes que no era posible antes” (IBM, s. f.). La introducción de las tecnologías de la industria 4.0 en un proceso productivo afecta de manera transversal en prácticamente todos los aspectos.

Las tecnologías que mayormente impulsan a la industria 4.0 son:

- *Internet de las cosas*: es esencial en la industria inteligente, pues por medio de sensores instalados en las diversas máquinas, éstas pueden estar conectadas entre sí y tienen la capacidad de recabar y analizar información útil para proveer una respuesta en forma casi instantánea a problemas que lleguen a surgir.
- *Inteligencia artificial y aprendizaje automático*: permite a las empresas aprovechar toda la información captada, tanto en la planta productiva como en toda la cadena de elaboración y distribución, para evaluar la efectividad de sus operaciones y mejorarlas. Con estos instrumentos es posible predecir el resultado de la operación de la empresa y se pueden automatizar más los procesos.
- *Computación en la nube*: contar con plataformas en la nube ayuda a las empresas a tener acceso a la información, procesos y aplicaciones más recientes, así como procesar sus propios datos, sin tener que contar con una infraestructura.
- *Computación de borde (edge computing)*: se refiere a la computación que se hace cerca del lugar donde se genera la información. Esto reduce la latencia (retardo en la transmisión de información dentro de una red), con lo que es posible que haya una respuesta casi en tiempo real para resolver un problema, por ejemplo, de seguridad.
- *Ciberseguridad*: cuanto más interconectada está una empresa en su interior, y sobre todo con el mundo externo, más rutas se abren para los ataques cibernéticos, lo que puede causar muchas pérdidas; por lo tanto, se requieren más y mejores programas de protección virtual para hacer frente a dichos ataques y evadirlos.



- **Gemelo digital:** es una representación virtual de un producto físico o de un proceso. Por medio de sensores colocados en un objeto o proceso (que puede llegar a ser una fábrica entera), se transmiten datos en tiempo real y se pueden reproducir en forma digital todas sus características. A dicho modelo virtual se le pueden aplicar diversos cambios que sólo se llevarán a cabo en la realidad una vez que se haya probado su éxito en la esfera virtual. Este procedimiento ayuda a evitar defectos en toda la cadena de valor y mejorar sus características sin tener que manipular los elementos en el mundo físico, hasta saber cuáles modificaciones dan los mejores resultados.¹



Las redes 5G y la industria 4.0

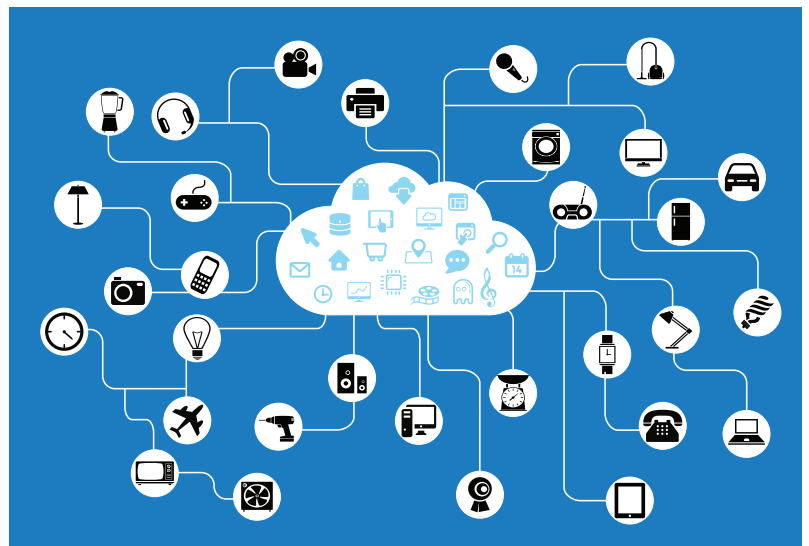
La mayor parte de los avances que impulsan y hacen posible el funcionamiento de la industria 4.0 están estrechamente ligados a las TIC. La conectividad es esencial en esta revolución tecnológica y su potencial aumenta de forma notoria con la aparición de la red de quinta generación de la tecnología celular (5G), que brinda mayores velocidades de conexión, menor latencia (o el tiempo que transcurre entre una solicitud de información a internet y su respuesta, que puede llegar a ser de un milisegundo) y mejor soporte para más usuarios que las redes que le preceden. De hecho, las redes 4G, incluso sus versiones más avanzadas (LTE y Wi-Fi, que hoy son usadas ampliamente), resultan insuficientes para que la industria 4.0 pueda operar por completo.

Cabe notar que la conexión a internet se puede hacer por las redes 5G y las anteriores generaciones del sistema de datos móviles para este tipo de conexiones; es decir, 4G, 3G y 2G (comparativamente más lentos), o bien por Wi-Fi, que es una tecnología de red inalámbrica, la cual permite que varios dispositivos se conecten a internet de manera simultánea y puedan interactuar entre sí, lo que se conoce como gemelos digitales. Sin embargo, hay una diferencia en la seguridad que proveen el Wi-Fi y la red 4G, pues los datos en este último caso están cifrados y,

¹ Véase <<https://nexusintegra.io/es/digital-twin-todo-lo-que-necesitas-saber/>>.

por lo tanto, bastante protegidos, mientras que el sistema Wi-Fi utiliza una conexión web HTTP que no está cifrada y puede estar expuesta a ser hackeada. Por ello, es usual que se cifre la red Wi-Fi con una clave compartida por todos los usuarios que se conectan a ella.

Hasta el momento, la tecnología que se usa para posibilitar la conectividad de las personas con las máquinas y entre los equipos en las empresas 4.0 es principalmente el Wi-Fi, pero tiene desventajas porque provee conexiones bastante inestables, su radio de operación es limitado, su latencia es





elevada y, como usa bandas de frecuencia sin licencia, suele tener interferencia con otras redes. En paralelo a la red 5G se ha estado desarrollando el Wi-Fi 6, una versión más avanzada del Wi-Fi que también mejora sustancialmente la capacidad de la red. Sin embargo, a diferencia de la red 5G, que puede ser configurada para responder a las necesidades específicas de la empresa respecto a la cobertura, la capacidad y otros requisitos, el Wi-Fi 6 seguirá operando en un ambiente en que puede no requerirse un permiso de acceso, lo que lo hace más inseguro y lo expone a más interferencia.

Sin duda, la industria inteligente necesita redes más potentes que 4G (o sus antecesoras) y que Wi-Fi. Las redes 5G son capaces de aumentar de forma sustancial la velocidad de conexión (es decir, el ancho de banda, que puede llegar a ser 100 veces mayor que el de la red 4G); además, reducen la latencia, son más seguras (la información se encripta de maneras más sofisticadas) y elevan enormemente el número de dispositivos que se pueden conectar a internet, lo que permite usar mucho más ampliamente el internet de las cosas y las demás tecnologías que dan origen a la industria 4.0. Así, las redes 5G facilitan la respuesta casi inmediata a los problemas que

puedan surgir en una empresa, pero también dan pie a que se usen tecnologías nuevas que no podrían operar en la realidad sin esta transmisión de información con una banda muy ancha y en un tiempo ínfimo.

 **Redes 5G para la solución más eficiente de problemas en los procesos productivos**

■ Cualquier empresa puede experimentar grandes mejoras en su productividad y en las condiciones de trabajo al introducir las tecnologías del internet de las cosas e implementar una red 5G. Entre los beneficios, se pueden evitar accidentes de trabajo, hacer un monitoreo en tiempo real, llevar el rastreo preciso de las cadenas de valor y operar de manera simultánea varias redes virtuales.

En primer lugar, sabemos que uno de los problemas más importantes que se enfrentan en el mundo de la producción física son los accidentes de trabajo. La Organización Internacional del Trabajo (OIT, 2022) calcula que 317 millones de personas son víctimas de accidentes laborales en todo el mundo, cada año; en México, esa cifra es cercana a 400 000, de acuerdo con el Instituto Mexicano del Seguro Social (Hernández, 2022). A estos accidentes con-

tribuyen, entre otros, defectos en los equipos, maquinarias, herramientas de trabajo e instalaciones, así como un mantenimiento deficiente. Con las redes 5G, los accidentes en el trabajo se pueden reducir de manera significativa, pues se abren muchas posibilidades de mejorar el mantenimiento de las fábricas, ya que es posible hacer una evaluación en tiempo real del equipo y también predictiva sobre su funcionamiento futuro.² Lo anterior previene al menos parte de los accidentes mencionados.

En segundo término, el monitoreo en tiempo real de la planta productiva, es decir, la colección de información de los equipos para hacer un mantenimiento predictivo, usando algoritmos de aprendizaje automático, ayuda a evitar la interrupción de los procesos de fabricación, reduce o elimina la producción de bienes defectuosos, disminuye los costos en reparaciones y puede alargar la vida de las máquinas, lo cual mejora considerablemente la eficiencia en la empresa.

Un tercer aspecto es que las redes 5G no sólo agilizarán y afinarán el funcionamiento de la industria 4.0 dentro de la planta, sino que también facilitarán enormemente el buen funcionamiento de la proveeduría y, luego, la distribución de los productos dentro de las cadenas de valor, que aún hoy en su gran mayoría son controladas no digital sino manualmente para rastrear los insumos y productos. Las redes 5G ayudarán a hacer este rastreo de cargamentos de insumos o productos terminados en forma mucho más rápida, además de permitir predecir en qué etapas podría darse una insuficiencia, lo que da oportunidad de buscar soluciones y evitar así la interrupción en la cadena.

Un cuarto punto, muy relevante, es que la tecnología 5G da mucho más flexibilidad que la 4G, pues una red física puede utilizarse para operar varias redes virtuales. Así, un operador puede emplear varios segmentos de la red, según su conveniencia; al hacerlo, entre otras cosas, refuerza la seguridad de sus comunicaciones. Gracias a esta nueva alternativa, las empresas pueden crear sus propias redes 5G privadas (para lo cual tienen que comprar el espectro necesario al gobierno; véase el Recuadro 1). Una

² Véase <<https://www.wm5g.org.uk/news/how-the-industry-is-manufacturing-a-5g-future/>>.

Recuadro 1. Las redes 5G en México

El despliegue de las redes 5G ha tenido un avance lento en México; a mediados de 2022 ocupábamos el octavo lugar en América Latina en la introducción de redes 5G.¹ AT&T y Telcel anunciaron la operación de redes 5G en el país a finales de 2021 y a principios de 2022, respectivamente. A mediados de este último año, había redes 5G de las dos empresas mencionadas, disponibles en alrededor de 50 ciudades de México.

Para apoyar la introducción de redes 5G, el regulador –Instituto Federal de Telecomunicaciones (IFT)– ha estado planeando desde 2021 subastar el espectro 5G (licitación IFT-12), pero lo ha postergado hasta principios de 2023; para ello, se está considerando ofrecer bloques de espectro en 600 MHz, 800 MHz, 850 MHz, 1.5 GHz y 3.5 GHz. Aun cuando se lleve a cabo esta licitación, no es seguro que sea exitosa, pues podría ocurrir, como sucedió con la anterior licitación (IFT-10 en 2021), que no haya más que una limitada adquisición del nuevo espectro por parte de las empresas debido, principalmente, al alto precio (60% más caro que el promedio mundial).

A lo anterior hay que agregar que las empresas que actualmente ofrecen redes 5G hacen uso de partes de frecuencias reordenadas en las bandas ya existentes de 3.4 GHz y 2.5 GHz, que no proveen el ancho de banda que necesitan las nuevas redes 5G para operar con su máximo potencial (Bamericas, 2022). Es indispensable tener una mayor infraestructura en telecomunicaciones en México que ayude al despliegue de la red 5G en formato *stand alone* (SA), que es el que ofrece la velocidad de descarga máxima (requiere una infraestructura completamente nueva), en lugar de *non-stand alone* (NSA), que funciona sobre la infraestructura de la red 4G LTE y ofrece velocidades inferiores.



¹ Véase <<https://es.statista.com/estadisticas/1188829/despliegues-tecnologia-5g-america-latina-por-pais/>>.

Recuadro 2. Realidad virtual y realidad aumentada en el sector automotriz

La tecnología de realidad inmersiva está revolucionando la forma de operar de la industria automotriz. La realidad virtual permite simular el espacio de trabajo en forma virtual en 360° con los equipos y todo lo necesario para que una persona se pueda desenvolver en este plano imaginario. Esta tecnología es de gran ayuda en diferentes aspectos y etapas de la producción de esta industria, incluido el entrenamiento del personal sin exponerles a posibles accidentes.

La realidad virtual también constituye un apoyo en la etapa de diseño de los nuevos automóviles, pues permite trabajar con objetos imaginarios de tres dimensiones (3D) con los que se puede interactuar como si fueran reales. Así, los ingenieros y diseñadores pueden concebir un automóvil y sus partes para poner a prueba muchas de sus características antes de fabricarlo, lo que implica un ahorro en los costos de la etapa de diseño. Además, los diseñadores e ingenieros pueden trabajar de manera colaborativa en el mismo proyecto, interactuando en un espacio virtual común desde puntos geográficos lejanos.

Por su parte, la realidad aumentada —es decir, una combinación de realidad virtual y física— es sumamente útil para la industria automotriz en una serie de aplicaciones. Una muy importante es la compostura y el mantenimiento de la maquinaria que se usa en la producción de automóviles en una fábrica, o bien para el mantenimiento y la reparación de los vehículos en los talleres de servicio. En ambos casos, los técnicos o ingenieros pueden acceder de manera remota mediante un dispositivo sensorial, como lentes de realidad aumentada, para hacer diagnósticos y dirigir la reparación de la maquinaria física o los vehículos.



empresa puede adquirir una o más redes privadas 5G y configurarlas para que respondan a necesidades específicas; por ejemplo, para aplicaciones de vigilancia mediante video, lo que requiere de máxima velocidad (ancho de banda), mientras otra red puede dar soporte a los robots de la empresa, para lo cual la baja latencia es crítica.

La red 5G y la posibilidad de usar nuevas tecnologías en la industria

La adopción de las redes 5G facilita la aplicación de tecnologías de realidad aumentada (RA) y realidad virtual (RV) en la industria 4.0, y en muchos otros terrenos (véase el Recuadro 2).

La realidad aumentada consiste en un conjunto de tecnologías que ayudan a una persona a ver un aspecto del mundo real mediante un dispositivo tecnológico que agrega información gráfica a lo que se observa con la simple vista. Se combinan, por tanto, elementos físicos tangibles con elementos virtuales, con lo cual se crea una realidad aumentada en tiempo real.

En la industria 4.0, la realidad aumentada es de especial utilidad para brindar apoyo al personal. Un operario puede usar esta tecnología para dar seguimiento guiado al proceso productivo o incluso recibir instrucciones visuales al tiempo que realiza su trabajo, ya sea de mantenimiento, procesos de ensamblaje o control de calidad. Esta tecnología también ayuda a capacitar a los operadores de las empresas para llevar a cabo estas labores.

En contraste con la realidad aumentada, la realidad virtual es enteramente simulada y el usuario debe hacer una inmersión en esa creación imaginaria. De esta forma, es posible tener simulaciones de productos, procesos o fábricas completas para observar su funcionamiento. Ya sea como una reproducción virtual exacta de algo que ya existe (mencionado anteriormente como la creación de un gemelo digital), sobre lo cual se hacen simulaciones de cambios o se prueba su perfeccionamiento, o bien se pueden imaginar y crear nuevos productos o procesos, e incluso validar prototipos, para evitar errores al operar, una vez creados en la realidad.

Reflexión final

La industria 4.0 requiere de una reformulación general de la manera en que opera la producción de forma transversal, para lo cual es necesario mejorar la infraestructura de telecomunicaciones –en particular de las redes 5G– con el fin de que las nuevas tecnologías inteligentes puedan hacer del proceso productivo una actividad mucho más innovativa, fluida, rápida y precisa para responder a problemas en forma inmediata a lo largo de toda la cadena productiva. México necesitará hacer inversiones significativas en infraestructura, incluyendo antenas y torres, además de que las empresas de telecomunicaciones tendrán que adquirir y habilitar las redes necesarias para operar las redes 5G de manera que su industria pueda llegar a ser competitiva a escala internacional. A la par, se requiere un esfuerzo muy importante para preparar el capital humano, en todos los niveles, desde preprimaria hasta la universidad, para que las personas puedan familiarizarse y sepan operar esta tecnología.

Claudia Schatan

Consultora independiente.
claudiaschatan8@gmail.com



Lecturas recomendadas

Bnamericas (2022), “Redes 5G en Latinoamérica: su estado actual y lo que viene”, *Bnamericas*. Disponible en: <https://www.bnamericas.com/es/reportajes/redes-5g-en-latinoamerica-su-estado-actual-y-lo-que-viene>, consultado en enero de 2023.

Cuevas Ruiz, J. L. (2021), *Análisis del impacto de la tecnología 5G en la industria y la sociedad*, México, IFT. Disponible en: <https://centrodeestudios.ift.org.mx/admin/files/estudios/1643915430.pdf>, consultado en enero de 2023.

Hernández, G. (2022) “En México hay 400,000 accidentes de trabajo cada año, ¿se pueden prevenir?”, *El Economista*, 28 de abril. Disponible en: <https://www.economista.com.mx/capitalhumano/En-Mexico-hay-400000-accidentes-de-trabajo-cada-año-se-pueden-prevenir-20220427-0094.html>, consultado en enero de 2023.

IBM (s. f.), “How Industry 4.0 technologies are changing manufacturing”, *IBM*. Disponible en: <https://www.ibm.com/topics/industry-4-0>, consultado en enero de 2023.

Observatorio Nacional 5G (2020), *5G e Industria 4.0, Retos y oportunidades de la cuarta revolución industrial*, España, Observatorio Nacional 5G. Disponible en: https://digitalfuturesociety.com/app/uploads/sites/10/2020/09/INFORME-ON5G-Industria4.0_digital.pdf, consultado en enero de 2023.

OIT (2022), “Salud y seguridad en trabajo en América Latina y el Caribe”, *OIT*. Disponible en: <https://www.ilo.org/americas/temas/salud-y-seguridad-en-trabajo/lang-es/index.htm>, consultado en enero de 2023.



Adriana Martínez Martínez



Retos de la **transformación digital** para las pymes

La industria 4.0 ha representado una disrupción en la manera como trabajan las empresas. ¿Qué implica este cambio y cómo afecta su ventaja competitiva? En este artículo reflexionamos acerca de la transformación digital, sus beneficios y los retos que enfrentan las pequeñas y medianas empresas (pymes) para adoptar una estrategia de transición hacia la también llamada Cuarta Revolución Industrial.

Introducción

El advenimiento de la industria 4.0 ha representado una gran disrupción, ya que ha trastocado no sólo el mundo económico –que fue donde inició–, sino también el ámbito social, educativo y de la salud, entre otros. En lo económico, ha redefinido los pilares de la competitividad de las empresas: actualmente vivimos en una hipercompetitividad, en la que los mercados exigen productos y servicios personalizados en el menor tiempo y con la mayor eficacia.

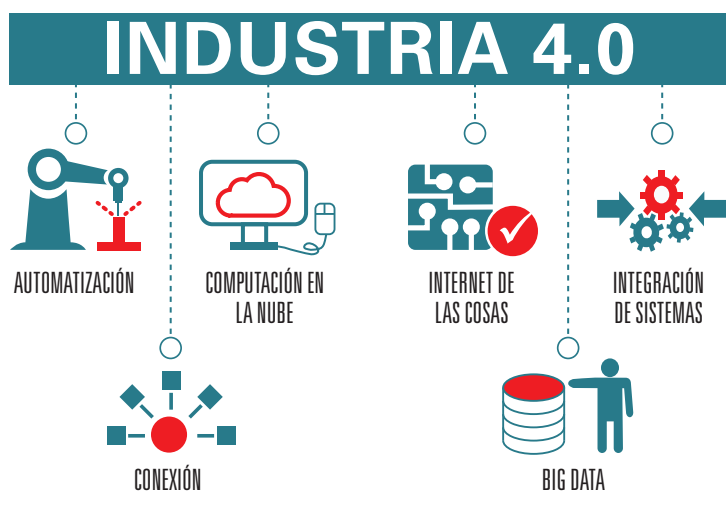
En este escenario, las pequeñas y medianas empresas (pymes) tratan de posicionarse y sobrevivir; para lograrlo, necesitan recursos financieros, tecnológicos y humanos, así como un cierto nivel de capacidades de absorción. Éstas definen la habilidad de una empresa para reconocer el valor de la nueva información, asimilarla y transformarla en conocimiento útil que le posibilite innovar; asimismo, podrá aprovechar el abanico de oportunidades que la digitalización abre para generar nuevos modelos de negocio, lo que abonará a la construcción de sus capacidades de innovación y, por ende, resultará en una mayor ventaja competitiva, dado que la digitalización de procesos y actividades puede impulsar una mayor eficiencia y productividad.

Sin embargo, antes de que las empresas se embarquen hacia una estrategia de transformación digital, deben hacer un análisis del costo-beneficio de adoptarla, así como un diagnóstico de cuáles son sus recursos y capacidades para lograrlo. La transformación digital implica cambios en los modelos de negocio, en los procesos de producción y distribución, y en la cultura organizacional. Además, debemos tomar en cuenta que no hay una única manera de hacerlo (*the one best way*), pues las tecnologías según las capacidades de absorción y el modelo de negocios que



Recuadro 1. ¿Qué es la industria 4.0?

Este término surgió en la Feria de Hannover, en Alemania, en el año 2011. Implica la unificación de los sistemas ciberfísicos con el mundo real y, por medio de las tecnologías como el internet de las cosas, la nube, el *big data* y análisis, posibilita que las máquinas y equipos de una empresa se comuniquen y permitan obtener información estratégica para tomar decisiones en tiempo real. Asimismo, los diversos actores de la cadena de valor pueden actuar y compartir información (integración de los sistemas horizontales –que abarcan desde la proveeduría hasta la distribución– y verticales –adaptados para procesos específicos–). Todo esto tiene como propósito incrementar la productividad y la eficiencia, reducir los costos y, por ende, tener una mayor competitividad (Martínez, 2020).



adopten las empresas dependerán del sector al que pertenezca, la capacitación de sus colaboradores, sus recursos y su tamaño.

En este artículo reflexionamos acerca de la transformación digital, sus beneficios y los retos que implica para que las pymes en México puedan adoptar una estrategia de transición hacia la industria 4.0 (véase el Recuadro 1).

■ Digitalización y transformación digital

■ De acuerdo con Raúl L. Katz (2018), profesor de la Universidad de Columbia, la digitalización ha pasado por tres olas de innovación tecnológica. Cada una descansa en tecnologías diferentes y con un impacto

importante en la estructura productiva (véase el Cuadro 1). La primera ola permitió la automatización de funciones y la descentralización de las cadenas productivas; la segunda, la definición de nuevos criterios para los procesos productivos; mientras que la tercera implicó una redefinición de la estructura organizacional y la emergencia de nuevos modelos de negocio.

En el marco de la industria 4.0, la digitalización va más allá de sólo implementar tecnologías digitales avanzadas. También se debe considerar cómo integrar las nuevas tecnologías con la infraestructura existente de la empresa. Por ello, se ha definido que:

La transformación digital bajo la industria 4.0 [...] es una estrategia de transformación del negocio que descansa sobre la institucionalización e integración de diversas combinaciones de información y tecnologías digitales modernas, tales como la inteligencia artificial, el análisis de datos, los gemelos digitales, los robots industriales y el *blockchain* (Ghobakhloo e Iranmanesh, 2021:1 537).

La transformación digital no sólo se lleva a cabo en el proceso productivo, también puede implementarse en otras áreas de la empresa. Por ejemplo, en mercadotecnia se pueden utilizar las redes sociodigitales, como Instagram o Facebook, para promocionar los productos y servicios; éstos también pueden colocarse en plataformas de comercio electrónico (*e-commerce*), tales como Amazon, eBay, Alibaba, Mercado Libre, etcétera. En el área de finanzas y contabilidad, es muy frecuente el uso de pasarelas de pago que facilitan la venta y facturación de los productos y servicios. En el área de recursos humanos y en la administración en general, las plataformas como Zoom, Teams, Meets, etcétera, permiten hacer videoconferencias, así como impartir cursos y talleres para capacitar al personal, lo cual reduce costos de transportación y viáticos, además de que promueve una comunicación más ágil.

■ Impulsores de la transformación digital

■ Como ya mencionamos, emprender una estrategia de transformación digital significa redefinir tanto los

Cuadro 1. Digitalización: periodos de innovación tecnológica, adopción e impacto

Innovación tecnológica	Desarrollo	Adopción	Impacto económico y social
1ª ola: computación, banda ancha, telecomunicaciones móviles	1950-1975	1960-2000	1990-2010
2ª ola: plataformas de internet, computación en la nube	1970-1990	1995-en proceso	2005-en proceso
3ª ola: internet de las cosas, robótica, inteligencia artificial, aprendizaje de máquinas, <i>blockchain</i>	1980-en proceso	2010-en proceso	2020-en proceso

Fuente: Katz (2018).

modelos de negocio como la manera en que las organizaciones funcionan (Ghobakhloo e Iranmanesh, 2021). Para que el proceso resulte exitoso, hay algunos impulsores fundamentales. Entre éstos podemos mencionar el liderazgo y el desarrollo de talento.

Con respecto al primero, se debe contar con el pleno convencimiento del director o directora de la empresa, así como de los mandos altos y medios, ya que implica un cambio de cultura organizacional (Muñoz y cols., 2019). En cuanto al segundo, se deben contratar perfiles específicos para algunos puestos, pero las empresas también deben pensar en reentrenar a sus trabajadores actuales.

Cabe señalar que los directivos requieren tener una visión estratégica para establecer la ruta que seguirá la empresa hacia la digitalización; deberán diseñar las fases por las que atravesarán, los objetivos estratégicos y las metas que cumplirán en cada etapa, así como los recursos que asignarán y las acciones que llevarán a cabo. Aunque cada empresa debe establecer las fases en las que dividirá su ruta hacia la transformación digital, en general se recomienda seguir tres:

- 1. Preparación y adopción:** las empresas deben hacer un inventario de sus recursos y capacidades para saber en dónde están actualmente y después identificar qué necesitan para alcanzar los objetivos estratégicos que se han planteado. Antes de comenzar con la digitalización, se debe trabajar en los protocolos de ciberseguridad para proteger la información que compartirán en la nube.
- 2. Implementación:** en esta fase, el internet industrial de las cosas (IIoT, por su nombre en inglés) desempeña un papel fundamental, pues permitirá

la interconexión de las máquinas y equipos de las empresas. Aquí se presenta un reto mayor: cuando las empresas poseen máquinas analógicas y digitales, deben desarrollar programas informáticos para que se puedan comunicar entre sí. En esta fase también estarán presentes tecnologías digitales como el *big data* y análisis, la realidad aumentada, la simulación, los robots colaborativos, la manufactura aditiva, los sistemas integrados horizontales y verticales, entre otras. La selección de éstas dependerá de los objetivos estratégicos y el alcance de la estrategia planteada por la empresa. Se pueden clasificar de acuerdo con su complejidad: consideradas de bajo nivel (sensores inteligentes, robots industriales y controladores de las máquinas) o de alto nivel (IIoT, sistemas de producción ciberfísicos y los gemelos digitales).

- 3. Institucionalización y sostenimiento:** una vez que la empresa ha implementado su estrategia de digitalización, debe establecer las pautas que le per-



mitan tener continuidad y sostenimiento. Esto se logra cuando las nuevas prácticas y el nuevo modelo de negocio permean la cultura corporativa.

■ **Beneficios de la digitalización**

■ Hay muchos aspectos positivos que las empresas deben considerar. Por ejemplo, la transformación digital conlleva la eliminación de operaciones repetitivas que provocan cargas de trabajo innecesarias. Asimismo, se desarrollan dispositivos digitales, tales como los vehículos autónomos guiados (AGV, por sus siglas en inglés), para llevar a cabo actividades que ponen en riesgo la seguridad de los trabajadores.

La diversificación de los puntos de venta (ya no sólo físicos, sino también virtuales) permite una mayor cobertura. En los diferentes canales, la obtención en tiempo real de información relevante para la toma de decisiones pertinentes y de manera óptima ayuda a eliminar “cuellos de botella”, por ejemplo, o saber si algún insumo se ha terminado y se debe adquirir; también permiten conocer la satisfacción del cliente de manera oportuna. Adicionalmente, pueden implementarse procesos de producción más flexibles que posibilitan la personalización de los productos y servicios. Además, con las tecnologías digitales se puede tener una mayor cercanía con los clientes de muchas maneras.

■ **Retos para atender**

■ Sin duda, la implementación de la industria 4.0 es compleja. A continuación, señalamos algunos retos que enfrentan las pymes en México:

1. **Nuevos perfiles laborales de especialistas con multihabilidades:** a) habilidades técnicas o “duras”: análisis de datos, inteligencia artificial, *machine learning*, administración de sistemas ciberfísicos, entre otros; b) socioemocionales o “blandas”: liderazgo, inteligencia emocional, colaboración humano-humano, creatividad y humano-máquina, identificación y solución de problemas, etcétera; c) metacognitivas: inteligencia ambiental, aprendizaje continuo y multidisciplina.
2. **Reentrenamiento de trabajadores actuales:** después de un análisis de las brechas entre las “viejas” y las “nuevas” generaciones, se deben establecer programas de entrenamiento que permitan a las primeras contar con las capacidades necesarias para manejar la nueva tecnología incorporada e interactuar con las nuevas generaciones. No es un proceso fácil y tiene su curva de aprendizaje, pero es muy importante.
3. **Infraestructura en red:** es necesario establecer una comunicación entre las máquinas análogas y digitales para poder extraer y compartir la información en tiempo real que ayude a tomar decisiones. Para ello se deberá desarrollar *software* a la medida según las necesidades de la empresa y establecer protocolos de ciberseguridad; la experiencia de empresas que han implementado estrategias de la industria 4.0 señala que el primer paso es contar con un sistema robusto que evite los *hacks* y, por ende, la pérdida de información crítica.
4. **Inversión en recursos:** no sólo tecnológicos, sino financieros y humanos, y que estos últimos estén calificados para hacer una implementación exitosa de la transformación digital.
5. **Obtención de conocimiento sobre el potencial de la industria 4.0:** los directivos de las empresas deben comprender ampliamente cuáles son los requerimientos y alcances, con una mentalidad enfocada en la innovación.



■ Conclusiones

■ La implementación de una estrategia de digitalización requiere, entre otras cosas, que se haga una inversión financiera para contar con la infraestructura tecnológica específica. Todo debe iniciar con protocolos de ciberseguridad para salvaguardar la información que la empresa compartirá en la nube. Pero un requisito fundamental es la incorporación y el desarrollo de talento humano con un perfil técnico especializado, así como con habilidades socioemocionales y metacognitivas clave.

Estos retos son dobles para las pymes, las cuales se han caracterizado por una escasez de recursos humanos calificados, la falta de estandarización de los procesos, el uso de *software* en algunos casos de forma ilegal, las débiles capacidades informáticas e informacionales, así como la insuficiencia de recursos financieros (cuyas fuentes suelen ser los proveedores o familiares). Por ello, se requiere una política de innovación que impulse la inserción de estas empresas para que transiten hacia la era de la digitalización de manera exitosa.

Es fundamental que se impulsen los ecosistemas de innovación locales para fomentar la interacción de actores que desarrollen capacidades endógenas para insertarse en esta era. En México hay algunos esfuerzos vigentes, como el “Valle de la Mentefactura” en Guanajuato y “Nuevo León 4.0”; también en Puebla y Querétaro se están implementando iniciativas. En este artículo no podemos abordar su análisis y alcance; sin embargo, es importante hacerlo, pues las brechas entre sectores, empresas y regiones es una realidad que se debe atender.

Adriana Martínez Martínez

Escuela Nacional de Estudios Superiores Unidad León, Universidad Nacional Autónoma de México.
adriana.martinez@enes.unam.mx



Referencias específicas

- Ghobakhloo, M. y M. Iranmanesh (2021), “Digital transformation success under Industry 4.0: a strategic guideline for manufacturing SMEs”, *Journal of Manufacturing Technology Management*, 32(8):1533-1556.
- Katz, R. L. (2018), *Capital humano para la transformación digital en América Latina*, Santiago, Naciones Unidas.
- Martínez, A. (2020), “Retos en la implementación de Industria 4.0: el caso de GKN Driveline”, en A. Martínez, M. L. Álvarez y A. García (coords.), *Industria 4.0 en México. Elementos diagnósticos y puesta en práctica en sectores y empresas*, México, UNAM/Plaza y Valdez, pp. 133-152.
- Muñoz, D., A. Morillas y M. Núñez (2019), “La cultura corporativa: claves de la palanca para la verdadera transformación digital”, *Prisma Social*, 25:439-463.

Capacidades dinámicas y revolución digital en la manufactura mexicana

En una economía cada vez más globalizada, basada en el conocimiento e impulsada por la digitalización, a partir de casos documentados en años recientes, reflexionamos cómo algunas empresas en México han construido capacidades dinámicas para diseñar, desarrollar e implementar soluciones digitales en los procesos de manufactura destinadas a atender diversos retos en el marco de las tecnologías de la industria 4.0.

Introducción

En el nuevo contexto de las tecnologías digitales y las tecnologías de la información y la comunicación (TIC), éstas van incidiendo con diferente velocidad y grado en los procesos productivos de las empresas. Para la mayoría, la evolución hacia un paradigma dominado por las tecnologías digitales requiere un rápido desarrollo de capacidades para identificar amenazas, adaptarse al mercado y transformarse en entornos cada vez más turbulentos. En México, el proceso de transformación digital inició en años recientes sobre todo en industrias de manufactura avanzada, como la automotriz y la aeroespacial, o bien de servicios como el sector financiero, entre otros.

El objetivo de este trabajo es explorar cómo algunas empresas en México han construido capacidades dinámicas para diseñar, desarrollar e implementar soluciones digitales en los procesos de manufactura, lo que les ha permitido adaptarse a entornos de rápido cambio tecnológico. Partimos de una exploración sobre las características generales del nuevo paradigma basado en la convergencia entre las TIC y las tecnologías digitales; posteriormente, definimos el concepto de capacidades dinámicas. Por último, exploramos dos estudios de caso documentados en años recientes y presentamos algunas reflexiones.

■ Algunas características del nuevo paradigma basado en tecnologías digitales

■ El entorno dinámico actual les presenta y exige muchos cambios a las empresas para que puedan competir en un mercado cada vez más globalizado. Este contexto



se caracteriza por la aparición de internet, las TIC y –más recientemente– la integración de sistemas ciberfísicos propios de la revolución tecnológica conocida como la Cuarta Revolución Industrial. En la economía actual, las TIC y la digitalización, así como el conocimiento y las capacidades tecnológicas, son recursos clave para crear valor para las empresas y lograr una ventaja competitiva.

Los gigantes tecnológicos globales, como Google, Amazon, Meta (Facebook), Apple y Microsoft, han marcado un parteaguas en la forma de crear y captar valor para satisfacer a una sociedad con necesidades diferentes a las del siglo XX. La difusión cada vez más amplia de las tecnologías digitales ha orillado a las empresas de todos los sectores a cambiar y adoptar estas nuevas tecnologías basadas en *software* y *hardware* cada vez más veloces, prácticas y accesibles.

La transformación digital se puede concebir como el cambio que hacen las empresas para integrar estas nuevas tecnologías digitales en sus procesos internos, con el objetivo de volver más eficientes sus operaciones, gestionar sus recursos y optimizar sus ventas. Esta transformación digital demanda el uso de tecnologías que exigen nuevas habilidades y nuevos conocimientos para manejarlas y administrarlas. De forma directa o indirecta, las empresas mexicanas han buscado capacitar y actualizar a sus recursos humanos en el uso de estas nuevas tecnologías, dado que la tecnología por sí sola no es funcional sin la capacidad para usarla, adaptarla y desarrollarla.

Capacidades dinámicas para el desarrollo de soluciones digitales

El impacto de la transformación digital se ha analizado desde diferentes perspectivas; por ejemplo, desde una visión clásica que se basa en recursos, o bien desde enfoques más modernos, como el basado en el conocimiento y el de las capacidades dinámicas. Esta última perspectiva trata de explicar cómo las empresas identifican, se adaptan y se transforman dentro de entornos dinámicos en la búsqueda por crear y mantener una ventaja competitiva.

El concepto de capacidades dinámicas surgió en la década de 1990 y fue acuñado por autores como David Teece y cols. (1997) para explicar el comportamiento de las empresas en un entorno turbulento y competitivo. Según estos autores, la capacidad dinámica es la habilidad de la empresa para integrar, construir y reconfigurar recursos o competencias internas y externas para abordar entornos comerciales que cambian rápidamente. Las capacidades dinámicas integran distintas capacidades que las empresas desarrollan y acumulan a lo largo del tiempo.

Conceptos como capacidades tecnológicas, capacidades de absorción y capacidades de aprendizaje (tecnológico y organizacional) han sido considerados como parte de las capacidades dinámicas; asimismo, también incluyen capacidades de detección, captura y transformación. Las empresas requieren capacidades tecnológicas que les ayuden a usar y explotar las nuevas tecnologías, por lo que necesitarán desarrollar capacidades de absorción para detectarlas e identificarlas, así como capacidades de aprendizaje que les permitirán transformarse y adaptarse en un nuevo entorno digital donde las TIC y las nuevas capacidades les posibilitarán generar una ventaja competitiva.

Capacidades de absorción

Wesley Cohen y Daniel Levinthal (1990) definieron que las capacidades de absorción de una organización son para “reconocer el valor de la información nueva y externa, asimilarla y aplicar el conocimiento adquirido a sus propios productos y servicios internos”. Considerando que es un proceso continuo de aprendizaje que le permite a la empresa interiorizar el



conocimiento externo, Peter Lane y Michael Lubatkin (1998) plantearon que esto transcurre mediante una diada conjunta entre un maestro y un aprendiz; a partir de ello, desde el enfoque de las capacidades de absorción, explicaron cómo las empresas identifican, asimilan, transforman y explotan el conocimiento externo para fines propios. Esta reconceptualización incluye elementos dinámicos en los procesos de creación del conocimiento y su utilización, lo que permite que la empresa desarrolle la habilidad de ganar y mantener una ventaja competitiva.

Por su parte, Shaker Zahra y Gerard George (2002) reconocen que las capacidades de absorción son un conjunto de rutinas organizacionales y procesos por los cuales la empresa adquiere, asimila, transforma y explota el conocimiento para producir una capacidad dinámica organizacional. La capacidad de adquisición es la capacidad de una empresa para identificar y adquirir conocimiento externo que es crítico para sus operaciones. La asimilación permite analizar, procesar, interpretar y comprender la información obtenida de fuentes externas. La capacidad de transformación denota la capacidad de una empresa para desarrollar y refinar las rutinas que facilitan la combinación del conocimiento existente y el conocimiento recién adquirido y asimilado. Por último, la capacidad de explotación se basa en las rutinas que les permiten a las empresas refinar, ampliar y aprovechar las competencias existentes o crear otras nuevas incorporando el conocimiento adquirido y transformado en sus operaciones.

Aprendizaje tecnológico

La capacidad de aprendizaje permite integrar el conocimiento de la empresa. Este concepto se ha definido en el ámbito de la empresa como un proceso en el que los recursos para generar o administrar el cambio técnico son incrementados o reforzados (Bell y Pavitt, 1993); es un proceso a través del cual se genera nuevo conocimiento y se renueva, se combina y se actualiza el existente (Moustaghfir y cols., 2013). Este aprendizaje es un mecanismo fundamental por el que la empresa logra experiencias que más tarde podrá usar para obtener nuevos resultados (Villavicencio y Arvanitis, 1994).




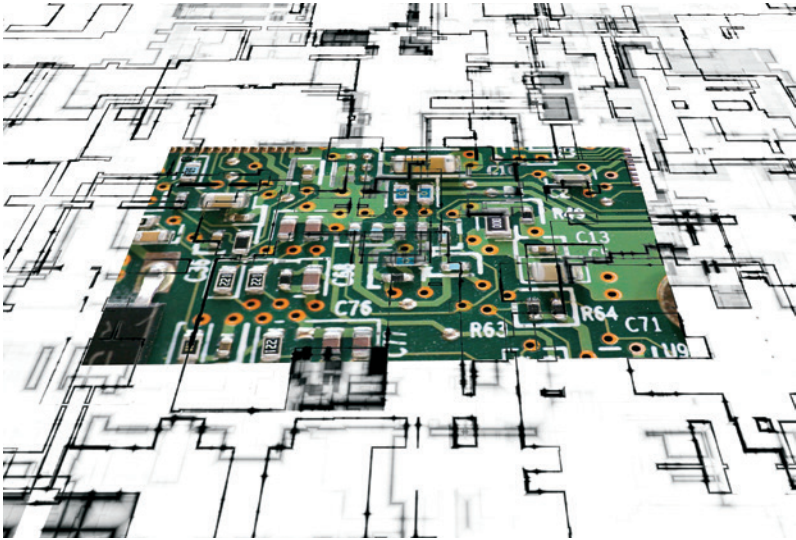
No obstante, el aprendizaje tecnológico no es automático; por el contrario, es gradual y acumulativo por naturaleza, constituye un proceso social y colectivo, es local y tiene una dimensión tácita (Bell y Pavitt, 1993). El aprendizaje tecnológico se genera mediante una gran variedad de fuentes formales e informales, tales como investigación y desarrollo (I+D), actividades de innovación asociadas con la adaptación y modificación incremental de tecnologías existentes, experiencias de producción, actividades de ingeniería asociadas a proyectos de expansión de capacidades instaladas, interacción con proveedores de equipo, etcétera (Vera-Cruz, 2002).

Capacidades tecnológicas

Las capacidades tecnológicas se refieren a los conocimientos y habilidades incorporados en las personas y en las organizaciones. Son una capacidad dinámica que permite a las empresas absorber, adaptar y mejorar el conocimiento existente (Vera-Cruz, 2002). Esto también implica conocimientos y habilidades para adquirir, usar, absorber, adaptar, mejorar y generar nuevas tecnologías (Bell y Pavitt, 1995; Lall, 1995).

Dos estudios de caso

 En la Maestría en Economía, Gestión y Políticas de Innovación de la Universidad Autónoma Metropo-



litana, Unidad Xochimilco, Iván Sánchez Martínez (2018) y Salvador Tapia Gutiérrez (2020) analizaron las capacidades tecnológicas, las capacidades de absorción y los procesos de aprendizaje de dos empresas manufactureras mexicanas que desarrollaron soluciones digitales. La primera empresa (llamada ELEC en adelante) pertenece al sector electrónico; entre sus actividades, diseña, desarrolla y provee nuevas soluciones personalizadas e integrales de automatización para la mejora de los procesos de producción de sus diferentes clientes en el sector manufacturero, brinda soluciones tecnológicas personalizadas, distribuye *software* especializado para la automatización, computadoras industriales y lectores de códigos de barra, además de otorgar asesoría, servicio técnico y consultoría. La segunda empresa (llamada CERV en adelante) pertenece al sector cervecero; ésta desarrolló conjuntamente con *startups* socias soluciones basadas en tecnologías 4.0 para hacer más eficientes sus propios procesos logísticos de entrada de materia prima, de salida del producto final, así como de distribución de producto.

La primera capacidad analizada es para adquirir nuevo conocimiento externo; en este caso, las soluciones con tecnología 4.0. En ambas empresas se encontró evidencia valiosa: en la primera desde una perspectiva de maestro y en la segunda desde la de aprendiz. La empresa ELEC utiliza el emprendimiento, la adquisición de licencias y la contratación de

personal con experiencia en estas nuevas tecnologías para adquirir nuevo conocimiento externo. Su estructura organizacional y los mecanismos de comunicación son esenciales para su capacidad de asimilar el conocimiento. La comunicación se centraliza en las esferas operativas, lo cual favorece el proceso de desarrollo de nuevos productos. Sin embargo, en el estudio se identificó que la comunicación horizontal con las otras unidades empresariales se reduce y esto genera problemas de comunicación y una colaboración forzada o por necesidad. También se resalta el liderazgo y la toma de decisión como factores importantes para que fluya la información de manera más flexible, lo cual facilita el desarrollo de nuevos productos.

Por su parte, la empresa CERV adquiere el nuevo conocimiento relacionado con las nuevas tecnologías 4.0 a partir de la organización de eventos tecnológicos y el constante financiamiento a *startups*. Cuenta con un área tecnológica específica, encargada de implementar la tecnología y trabajar con las demás áreas de la empresa para ayudarlas a ser más eficaces y eficientes. Cada una de esas áreas cuenta con personal específico, denominados “explorer” (exploradores), que se encarga de explorar y buscar soluciones entre las *startups* y el talento específico dentro de sus eventos para ayudar a resolver alguna necesidad específica con el uso de las nuevas tecnologías 4.0.

Una vez adquirido el conocimiento se requiere contar con mecanismos de aprendizaje que permitan transformar ese conocimiento externo en conocimiento de valor mediante su implementación y acorde a las necesidades. Estos mecanismos son parte de las capacidades de aprendizaje. La empresa ELEC, a pesar de contar con una estructura organizacional formalizada, no tiene una gestión del conocimiento adecuada y muchos de sus procesos se encuentran almacenados en repositorios típicos y tradicionales que dificultan su acceso y posterior uso. A pesar de que su personal está en un constante *aprender haciendo*, la continua evolución tecnológica y las necesidades del mercado hacen que la empresa contrate personal especializado con el fin de acortar su curva de aprendizaje.

En la empresa CERV se observó que la cultura organizacional es fundamental tanto para adquirir el conocimiento como para asimilarlo de mejor manera. Su estructura organizacional es robusta pero flexible y cuenta con rutinas compartidas entre las áreas, lo que permite una difusión del conocimiento. Por ejemplo, la estrategia de “línea punteada” permite al personal de un área participar en las actividades de otra área, lo cual genera una movilización continua del conocimiento entre diversas áreas. Asimismo, la empresa aplica políticas que alientan a los trabajadores a cambiar de puestos cada determinado tiempo, con el objetivo de que el personal reconozca la importancia de su labor, lo cual posibilita el intercambio de conocimientos. Del mismo modo, la empresa capacita constantemente a sus empleados acorde a sus capacidades operativas o estratégicas. Además, para la empresa es fundamental compartir la experiencia de su personal, por lo que organiza eventos periódicos que permiten el intercambio de ideas entre directores, gerentes y el personal operativo.

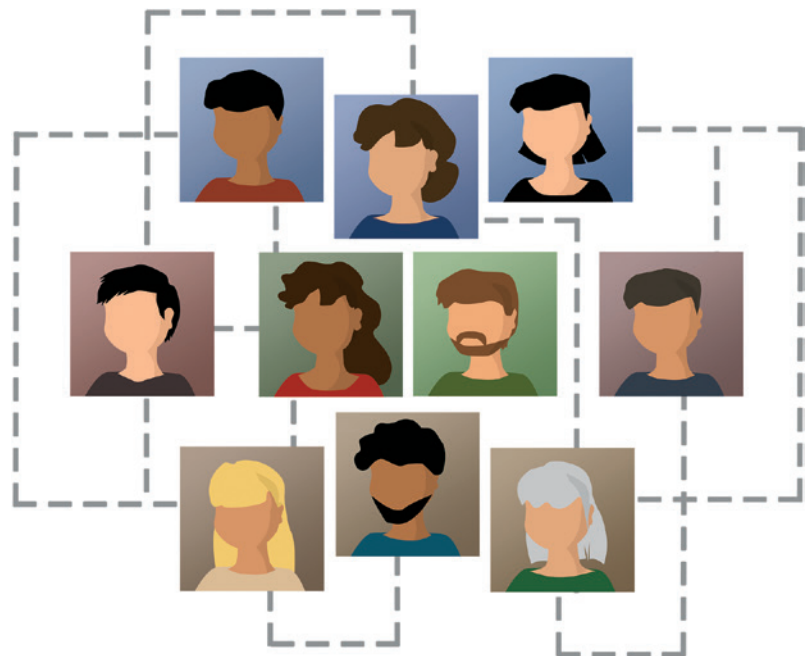
La capacidad tecnológica de ambas empresas se pudo observar en el uso final que cada una le dio al conocimiento adquirido, procesado e implementado. En la empresa ELEC se observó que no cuenta con un departamento de I+D o un área de innovación que se encargue de desarrollar y crear nuevos productos; no obstante, sí cuenta con actividades informales –aunque poco articuladas– encaminadas a dicha función. La empresa adquiere conocimiento externo, pero al no tener un sistema de gestión de la tecnología, se ve en la necesidad de contratar personal y generar alianzas de manera reactiva; es decir, conforme el mercado lo exige. Los factores más importantes que influyen en la informalidad de estas actividades son la falta de recursos financieros y humanos y el tiempo de desarrollo. El desarrollo de nuevos productos está impulsado en particular por un conjunto de incentivos externos, como subvenciones o incentivos económicos del gobierno.

En la empresa CERV se observó que sí cuenta con sistemas de gestión de conocimiento integrales para el desarrollo de nuevos proyectos tecnológicos. Por ejemplo, usa el sistema SAP, uno de los mejores para planificación de recursos empresariales (ERP)

del mercado, así como con el sistema Bells o el sistema PUCs. El sistema Bells permite la gestión de ideas para la innovación: cualquier usuario de la empresa puede aportar su idea y darle seguimiento. El sistema PUCs es un gran repositorio de proyectos tecnológicos de la empresa donde todos pueden hacer consultas y ponerse en contacto con los responsables de cada proyecto para retroalimentarse a partir de sus experiencias.

Desde su rol de aprendiz de nuevas tecnologías 4.0 y en colaboración con las *startups* expertas, la empresa CERV busca nuevas formas de explotar el conocimiento adquirido en otros proyectos. Asimismo, cuenta con un área específica de innovación en donde se lleva a cabo el diseño y la prueba del producto mínimo viable (MVP, por sus siglas en inglés) para innovar en productos o nuevos servicios, a partir de la experimentación y con metodologías ágiles. También se encontró que la empresa cuenta con un área especial de tecnología transversal que permite documentar e implementar en toda la organización cualquier tecnología realizada por alguna área, y los “explorer” son un elemento central en la implementación del nuevo conocimiento y en su reutilización.

Estos casos muestran la importancia de la construcción de capacidades dinámicas en un contexto de rápido cambio tecnológico marcado por la revolu-





Reflexiones finales

A pesar de las diferencias del sector al que pertenecen, en ambos casos la dinámica del entorno hace que las empresas enfrenten amenazas constantes de obsolescencia tecnológica para cubrir tanto las demandas de sus clientes como las necesidades tecnológicas propias. En este nuevo entorno es importante que las empresas construyan capacidades para reconocer nuevas oportunidades tecnológicas, mecanismos de aprendizaje tecnológico y una estructura organizacional funcional, así como capital relacional y procesos de innovación abierta, pues son cruciales para el desarrollo de las capacidades dinámicas y hacer frente a los cambios del entorno.

Ambas empresas han desarrollado capacidades dinámicas, aunque de manera diferente. Por ejemplo, si bien las dos cuentan con capacidades similares para adquirir nuevo conocimiento, sus capacidades tecnológicas difieren: mientras la primera empresa construye las soluciones para que otra empresa la explote, la segunda empresa –en su papel de aprendiz– intenta desarrollar sus capacidades para usar nuevas tecnologías en su beneficio. Se observa que la empresa ELEC no cuenta con un área específica para detectar y aprovechar las oportunidades del mercado y reutilizar el conocimiento adquirido; mientras que la empresa CERV cuenta con el personal, las rutinas y los medios tecnológicos para buscar con el mismo conocimiento soluciones alternativas.

Asimismo, cabe resaltar que el primer caso retrata una realidad más cercana a la mayoría de las

ción digital. La empresa ELEC ha aprovechado el conocimiento externo y lo ha complementado de manera efectiva con el conocimiento interno; si bien algunas de sus actividades de aprendizaje y de construcción de capacidades dinámicas aún son informales, esto no les ha restado competitividad, pues está posicionada como una empresa líder en su nicho de mercado y es de las pocas en México con capacidades para desarrollar soluciones digitales. Por su parte, la empresa CERV, aunque también se vale del conocimiento externo, tiene una estructura organizacional funcional y mayores recursos para desarrollar diversas actividades encaminadas a la construcción de sus capacidades dinámicas; para ello, cuenta con una estructura de incentivos para la mejora constante y capacitación de sus equipos de trabajo, así como robustos sistemas de gestión de la información y del conocimiento. Ambas empresas han construido sus capacidades dinámicas con estrategias diferentes; el tamaño de la empresa, la dotación de recursos y el nicho de mercado son algunos de los factores que inciden en sus trayectorias tecnológicas y de innovación.

empresas mexicanas, las cuales viven al día y tratan de aprovechar y ser reactivas a las necesidades de sus clientes. En tanto, el segundo caso muestra una empresa donde se pueden identificar de una mejor manera los mecanismos de aprendizaje, distinguir las rutinas formales y las estrategias empresariales para adoptar nuevas tecnologías 4.0, así como también identificar las plataformas digitales de las cuales hacen uso para acelerar su aprendizaje tecnológico y organizacional.

En el actual contexto digital, las empresas necesitan construir capacidades dinámicas para diseñar, desarrollar e implementar soluciones digitales, ya sea como empresas que ofrecen estas soluciones a sus clientes o como empresas usuarias que desarrollan con recursos propios esas soluciones digitales. En cualquier caso, esas capacidades les permitirán adaptarse a entornos de rápido cambio tecnológico y lograr mejores ventajas competitivas.

José Luis Sampedro H.

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Cuajimalpa.
jsampedro@cua.uam.mx

Salvador Tapia

Universidad Autónoma Metropolitana.
2211802196@alumnos.uam.mx



Referencias específicas

- Bell, M., y K. Pavitt (1993), "Technological Accumulation and Industrial Growth: Contrasts Between Developed and Developing Countries", *Industrial and Corporate Change*, 2(2):157-210. Disponible en: <doi.org/10.1093/icc/2.2.157>, consultado en enero de 2023.
- Cohen, W. y D. Levinthal (1990), "Measurement of potential absorption capacity in Colombia's innovative companies", *Espacios*, 38(26):1307-1321. Disponible en: <doi.org/10.2307/2393553>, consultado en enero de 2023.
- Lall, S. (1995), "Structural adjustment and African industry", *World Development*, 23(12):2019-2031. Disponible en: <doi.org/10.1016/0305-750X(95)00103-J>, consultado en enero de 2023.
- Lane, P. J. y M. Lubatkin (1998), "Relative absorptive capacity and interorganizational learning", *Strategic Management Journal*, 19(5):461-477. Disponible en: <doi.org/10.1002/(SICI)1097-0266(199805)19:5<461::AID-SMJ953>3.0.CO;2-L>, consultado en enero de 2023.
- Moustaghfir, K. y G. Schiuma (2013), "Knowledge, learning, and innovation: Research and perspectives", *Journal of Knowledge Management*, 17(4):495-510. Disponible en: <doi.org/10.1108/JKM-04-2013-0141>, consultado en enero de 2023.
- Sánchez, I. (2018), *Capacidad de absorción e innovación, una empresa mexicana proveedora de servicios de manufactura hacia la industria 4.0: el caso de Interlatin*, México, UAM-X.
- Tapia, S. (2020), *La capacidad de absorción en el desarrollo e integración de soluciones de tecnología 4.0: caso de estudio de una empresa manufacturera*, México, UAM-X.
- Teece, D. J., G. Pisano y A. Shuen (1997), "Dynamic capabilities and strategic management", *Strategic Management Journal*, 18(7):509-533. Disponible en: <doi.org/10.1002/(SICI)1097-0266(199708)18:7<509::AID-SMJ882>3.0.CO;2-Z>, consultado en enero de 2023.
- Vera-Cruz, A. O. (2002), "Apertura económica, exportaciones y procesos de aprendizaje: el caso de la Cervecería Cuauhtémoc-Moctezuma", *Análisis Económico*, XVII(35):203-232.
- Villavicencio, D. y R. Arvanitis (1994), "Transferencia de tecnología y aprendizaje tecnológico, reflexiones basadas en trabajos empíricos", *El Trimestre Económico*, 61(242-2):257-279.
- Zahra, S. A. y G. George (2002), "Absorptive capacity: A review, reconceptualization, and extension", *Academy of Management Review*, 27(2):185-203.

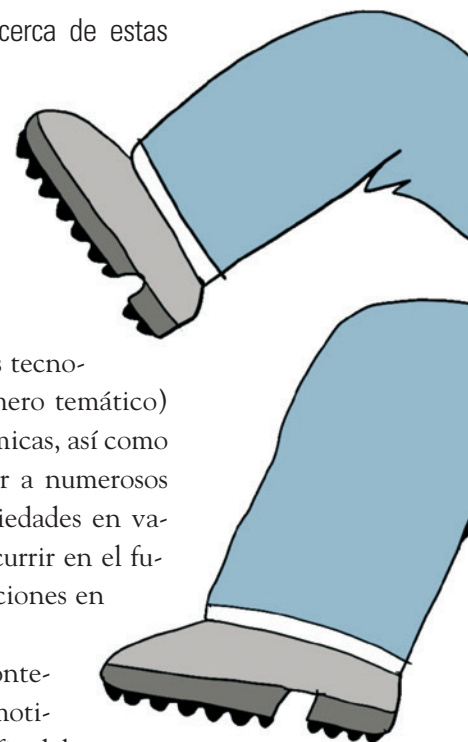
Digitalización y automatización: ¿trabajo precario o empleos creativos?

Con el creciente uso de nuevos dispositivos y desarrollos tecnológicos, los contenidos del trabajo y las características del empleo se están modificando de forma sustancial y seguirán cambiando. El objetivo de este artículo es reflexionar acerca de estas mutaciones y sobre las formas de regulación posibles. La pregunta principal es si con dichas tecnologías se precarizará más el trabajo o será más creativo.


¿Otra vez el fin del trabajo?

La proliferación de dispositivos electrónicos y otros desarrollos tecnológicos (que se describen en los demás artículos de este número temático) está influyendo de manera acelerada en las actividades económicas, así como en la vida laboral y cotidiana a escala global. Ello ha dado lugar a numerosos diagnósticos acerca de lo que ya está sucediendo en nuestras sociedades en varios ámbitos de la vida de las personas, además de lo que puede ocurrir en el futuro. El objetivo de este artículo es reflexionar acerca de las mutaciones en el trabajo y el empleo y sobre las formas de regulación posibles.

En este contexto, los cambios en los mercados laborales, los contenidos del trabajo mismo y las formas de regulación del empleo son motivo de controversia. En ciertos medios se pronostica nuevamente el fin del trabajo. En contraste, otras personas ven en las nuevas tecnologías la posibilidad de reducir o eliminar las tareas más rutinarias y expandir las actividades creativas. Por último, la postura que nos parece más acertada es la de quienes observan un panorama heterogéneo y con rasgos importantes de precarización (Berg, 2019). Ello se debe a que no se percibe una dirección única, una trayectoria lineal, pues la tecnología está condicionada por actores sociales con intereses y grados de poder desiguales y, a veces, contradictorios. De ahí el énfasis de varios autores en la necesidad de regular los trabajos y los empleos ligados a las nuevas tecnologías.



Pérdida, creación y transformación de empleos

 Un estudio publicado en 2013 por Carl Frey y Michael Osborne, académicos de la Universidad de Oxford, desató la polémica acerca del “poder destructor” de la automatización en los mercados laborales. Estos autores, con base en una revisión de 702 ocupaciones, calcularon que 47% de los puestos de trabajo en Estados Unidos de América podría automatizarse en un futuro. A la publicación menciona-

da le siguió otra de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) que redujo dicho cálculo a solamente 9% para los países afiliados a este organismo.

Una crítica clave al trabajo de Frey y Osborne enfatiza que los procesos de automatización y digitalización no destruyen ocupaciones, sino que, en todo caso, eliminan tareas específicas que son susceptibles de ser automatizadas. Las más “automatizables” son, primero, las tareas manuales rutinarias y, en segundo lugar, las tareas cognitivas rutinarias. Para estos tipos de tareas, el efecto de “destrucción” o sustitución por máquinas sería más intenso. En contraste, aunque los empleos no rutinarios –ya sean manuales o cognitivos– no quedan totalmente a salvo de la automatización, son los que, en principio, se verían menos afectados por las nuevas tecnologías (Hualde, 2020). De todos modos, uno de los temas más complejos y debatidos en este aspecto es la estimación de hasta qué punto las tecnologías ligadas a la inteligencia artificial podrían llevar a cabo “funciones humanas cognitivas” en los procesos de trabajo al automatizar tareas en ciertas profesiones, como la abogacía, la medicina o el periodismo (Doellgast y Wagner, 2022).

Ahora bien, incluso con la probable eliminación de tareas rutinarias en muchas ocupaciones, parte de los trabajadores asignados a dichas actividades podrían ser transferidos a otras más creativas, mediante procesos oportunos de capacitación. Esta perspectiva más optimista agrega otros dos elementos: en la manufactura, los robots o *cobots* (robots colaborativos)





tendrían una función de colaboración en las tareas más simples, mientras que los trabajadores se dedicarían a programar y organizar el trabajo de los robots; en el mismo sentido, la automatización contribuiría a la creación de nuevas tareas y ocupaciones. Un ejemplo es el de los trabajadores bancarios que hace unas décadas atendían a los clientes en ventanilla y, al ser sustituidos por los cajeros automáticos, pasaron a hacer tareas de administración o ventas (Berg, 2019). Más recientemente, los dispositivos móviles han “transferido” muchas de estas tareas incluso a los clientes.

La perspectiva de la precarización

Los diversos análisis sobre los cambios en los distintos segmentos del mercado laboral donde se utilizan

las tecnologías digitales –y, por ende, los algoritmos rigen muchas de sus dinámicas– tienden a resaltar los aspectos precarizadores del uso de dichas tecnologías en distintos países y contextos. Nos referiremos aquí únicamente al caso de las plataformas digitales, ya sea con trabajo físico localizado, como choferes y repartidores (Uber, Didi, entre otras), o bien dentro de las plataformas virtuales asociadas al denominado *crowdworking*; aunque la automatización y la digitalización también son notorias tanto en la manufactura como en el sector primario.

Con respecto a las plataformas digitales, el tema más debatido se refiere a la relación laboral con los trabajadores, pues las empresas de transporte y reparto no los reconocen como asalariados, sino que les hacen firmar contratos mercantiles que les privan de prestaciones sociales. Las empresas suelen argumentar que los medios de trabajo –motocicletas o automóviles– son propiedad de los trabajadores y que éstos deciden su horario y no tienen una jornada obligatoria; por lo tanto, dicen, no son empleados de las empresas respectivas. Sin embargo, en los últimos diez años, en muchas ciudades del mundo, los choferes y repartidores han planteado demandas que, en ocasiones, han obligado a las empresas a reconocer su responsabilidad de contratarlos como asalariados con prestaciones (Cherry, 2016). Para apoyar estas demandas se argumenta que las empresas tienen la facultad de seleccionar a los trabajadores, controlarlos de forma permanente, evaluarlos de manera indirecta mediante las calificaciones otorgadas por los clientes y, en su caso, despedirlos.¹ Esa relación de subordinación es lo que imprime el carácter de empleados a estos trabajadores. En el centro del debate se encuentra la función del “algoritmo” y su supuesta neutralidad; “negociar el algoritmo” es el objetivo de las demandas mencionadas y de asociaciones y sindicatos de trabajadores que han surgido en distintas partes del mundo (De Stefano, 2019).

Otro tipo de trabajos que muestran signos de precarización son los que se hacen en línea. Un caso extremo es cuando las tareas se fragmentan al

¹ Estas funciones derivan de al menos las siguientes capacidades de la inteligencia artificial: predictiva, colaborativa, asistencial, prescriptiva y afectiva (Cherry, 2016).

máximo en microtarefas, asignadas a colaboradores independientes, quienes conectados a internet desde cualquier parte del mundo editan cortometrajes, realizan selección de imágenes sencillas, crean un logo y se encargan de cuestiones similares. El pago es por tarea realizada y, evidentemente, se carece de remuneraciones fijas y de prestaciones. El requerimiento básico es dominar el inglés (Hualde, 2020).

El Cuadro 1 da una idea de la flexibilidad y la inestabilidad que presentan los esquemas laborales recién descritos.

 **La automatización en México**

■ En México se han hecho algunas investigaciones en el marco de los proyectos de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) acerca de los efectos de estos procesos en el mercado de trabajo y se han publicado las estimaciones en informes internacionales sobre el tema (Weller y cols., 2019; Bensusán y Florez, 2020). Estos estudios indican que los bajos salarios posiblemente están posponiendo la introducción de las nuevas tecnologías y que el cambio tecnológico no es un factor



importante en las variaciones observadas en las ocupaciones. Entre otras cosas, señalan que se siguen incrementando las ocupaciones manuales y que los trabajadores no manuales calificados no aumentaron significativamente entre 2013 y 2019; en contraste, siguen creciendo las ocupaciones rutinarias, como secretarías y capturistas, que teóricamente tendrían

Cuadro 1. Transformación de los sistemas de empleo

Características del empleo	Sistemas de empleo		
	Industrial	Digital	Trabajo colaborativo (crowdworking)
Capacitación	Específica de la empresa	General	Ninguna
Estructura de tareas	Empleos: definidos estrictamente	Proyectos: ampliamente definidos	Tareas: microdefinidas
Lugar de trabajo	Oficina del empleador	Variable, a menudo en la casa del trabajador	Variable, a menudo en línea, oficina, casa, etc.
Duración del trabajo	Empleados toda la vida	Semanas, meses, años	Horas, minutos, segundos
Toma de decisiones	Jerárquica, con supervisión y evaluación	Entre grupos de iguales	Por gestión automática
Seguridad	Del empleo	De empleabilidad (es decir, adquirir habilidades portátiles para trabajos futuros)	Poca a ninguna
Remuneración	Vinculada a la antigüedad	Basada en el mercado	Tarifa por pieza o pago sobre la marcha
Beneficios profesionales	Tenencia de por vida	Capacitación	Horario flexible
Promesas del empleador	Oportunidades de promoción	Formación de redes	Ser su propio mininegocio, librarse del trabajo asalariado
Relaciones laborales	Negociación colectiva y arbitraje de quejas	Resolución de conflictos, procedimientos para reclamos de equidad individual	Pocas o ninguna

Fuente: traducido y adaptado de Cherry (2016).

un mayor riesgo ante la automatización (Bensusán y Florez, 2020). En todo caso, los análisis en relación con estos temas toman en cuenta la fuerte heterogeneidad del mercado de trabajo en México con sectores que ya utilizan tecnologías automatizadas (industria automotriz y de *software*) hasta sectores con baja productividad, tareas manuales y escaso uso de la tecnología. Muchas de estas actividades forman parte de la economía informal, en la que se encuentran más de la mitad de la población ocupada.

Sin embargo, la automatización y digitalización no se explican únicamente por lo que ocurre en México. La estrecha interdependencia con la economía de Estados Unidos de América implica analizar cuáles de los procesos de automatización que se están

dando en aquel país podrían significar una reducción de las inversiones y menos empleos de las firmas estadounidenses en México. De acuerdo con los estudios, la introducción de las tecnologías en otras empresas del mismo país o en otros países puede destruir empleos en empresas que dejan de ser competitivas debido a su rezago tecnológico (Weller y cols., 2019). En el mismo sentido, la reestructuración de cadenas globales de valor puede eliminar empleos en países en vías de desarrollo por la reubicación de segmentos de estas cadenas en países desarrollados. No obstante, todos los pronósticos están condicionados por un conjunto de factores económicos y políticos inciertos, así como por las políticas de regulación que pueden modificar las predicciones basadas únicamente en las características tecnológicas de las ocupaciones o tareas.

Regulaciones necesarias: una síntesis

Las protestas de los conductores y repartidores de plataformas digitales, los intentos de regulación de sus condiciones de trabajo y las asociaciones a veces virtuales de estos trabajadores, muestran que hay una significativa inconformidad con las condiciones laborales que pretenden imponer las empresas mediante dichas plataformas. De ahí que varios autores hayan llamado la atención sobre las medidas para regular los trabajos asociados a la economía digital: la adopción de un ingreso básico universal, la reducción de la jornada de trabajo y la participación en los diseños tecnológicos son algunas de las propuestas planteadas (Berg, 2019). Cada una implica distintos niveles de participación y una eventual coordinación de actores como el Estado, las empresas o los sindicatos. Se trata de una problemática compleja que va más allá de las dinámicas del mercado o de la tecnología en sí misma; en buena medida, depende de arreglos institucionales que responden a distintas formas de capitalismo (Doellgast y Wagner, 2022).

En México, la introducción de nuevas tecnologías se explica más por las inversiones de las grandes empresas, sobre todo extranjeras, que por las acciones coordinadas entre los distintos actores o por las





políticas públicas para fomentar el uso de diversas tecnologías. Los intentos de regular situaciones específicas, como el acceso de los repartidores a los beneficios del Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), representan una iniciativa interesante pero insuficiente para encarar un panorama de cambios sumamente complejo. Desde un punto de vista general, las características de los sindicatos (jerárquicos,

poco democráticos) y de la cultura de negociación, muy limitada a temas salariales, conforman un contexto muy poco favorable para una introducción pactada de dichas tecnologías.

Alfredo Hualde Alfaro

El Colegio de la Frontera Norte.
ahualde@colef.mx

Referencias específicas

- Bensusán, G. y N. Florez (2020), *Cambio tecnológico, mercado de trabajo y ocupaciones emergentes en México*, Santiago, CEPAL.
- Berg, J. (2019), “Protecting Workers in the Digital Age: Technology, Outsourcing, and the Growing Precariousness of Work”, *Comparative Labor Law & Policy Journal*, 41(1): en línea.
- Cherry, M. (2016), “Beyond Misclassification: The Digital Transformation of Work”, *Comparative Labor Law and Policy Journal*, 37(3):544-577.
- De Stefano, V. (2019), “Negotiating the Algorithm: Automation, Artificial Intelligence, and Labor Protection”, *Comparative Labor Law & Policy Journal*, 41(1): en línea.
- Doellgast, V. e I. Wagner (2022), “Collective regulation and the future of work in the digital economy: Insights from comparative employment relations”, *Journal of Industrial Relations*, 64(3):438-460.
- Hualde, A. (2020), “Economía digital, trabajo y empleo: un modelo para armar”, en A. Martínez, M. L. Álvarez y A. García (coords.), *Industria 4.0 en México. Elementos diagnósticos y puesta en práctica en sectores y empresas*, México, UNAM/Plaza y Valdez.
- Weller, J., S. Gontero y S. Campbell (2019), *Cambio tecnológico y empleo: una perspectiva latinoamericana. Riesgos de la sustitución tecnológica del trabajo humano y desafíos de la generación de nuevos puestos de trabajo*, Santiago, CEPAL.



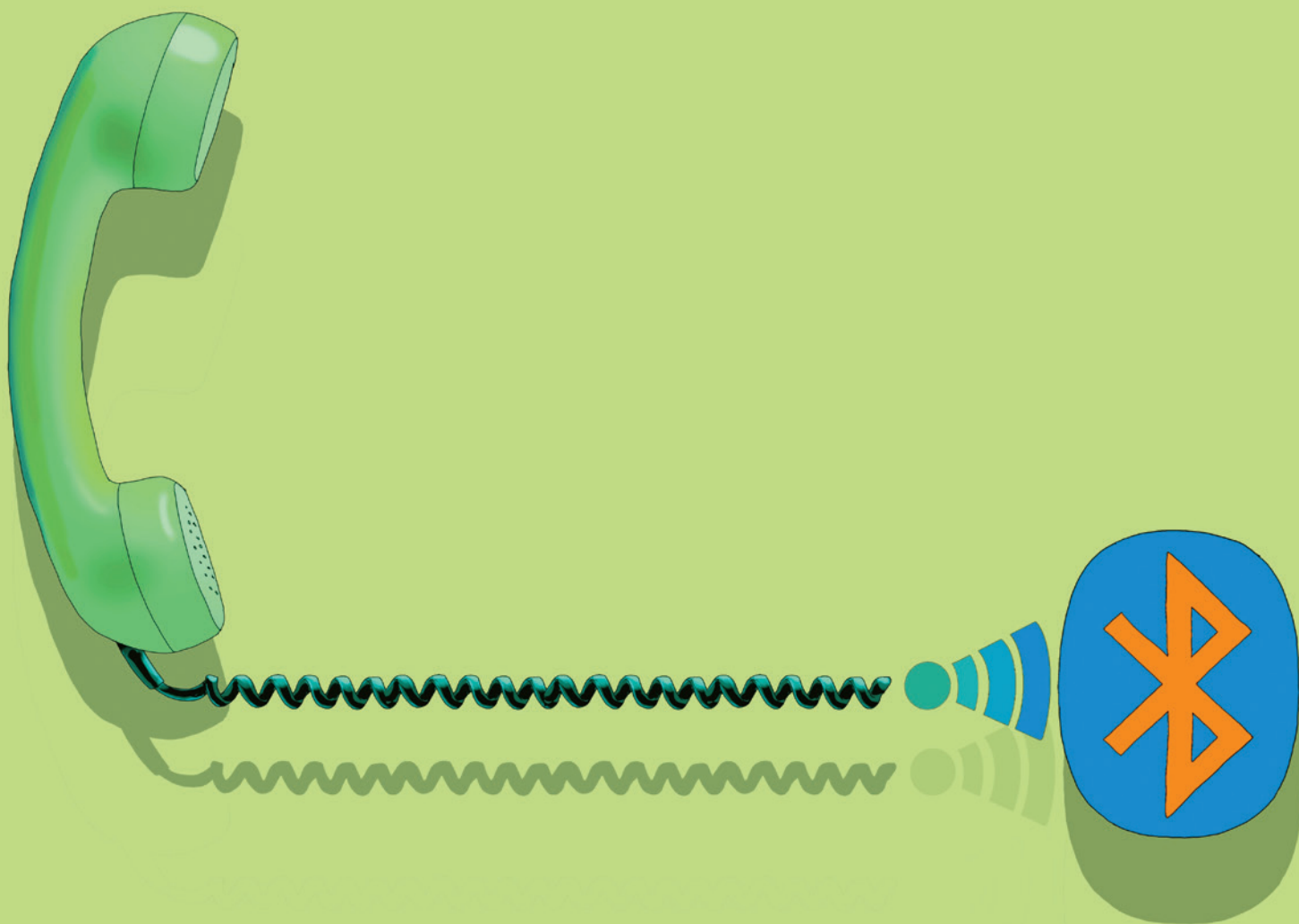
La industria 4.0 y los cambios en la política industrial

La innovación en el contexto de la industria 4.0 se ha acelerado y exige cambios en la política industrial. La intervención del Estado mexicano en el desarrollo industrial ha reducido la cantidad y calidad de sus instrumentos de política, por lo que es importante revisar la estrategia actual, así como hacer propuestas para recuperar el dinamismo, las cuales constituyen el aporte de este artículo.

Introducción

Nos encontramos en medio de una transformación de la manera como se fabrican los productos, la cual deriva de la digitalización de los procesos de manufactura. Es tan amplio el alcance de este fenómeno que ha sido llamado industria 4.0, aludiendo a que está ligado a una Cuarta Revolución Industrial. Vale la pena recordar que la Primera Revolución Industrial comprendió la mecanización de muchas actividades, gracias a las primeras máquinas propulsadas por vapor; la Segunda Revolución Industrial vino con el uso de la electricidad, el acero y nuevos medios de transporte, como el ferrocarril, para, paulatinamente, llevar a la producción en masa; más adelante, la Tercera Revolución Industrial se presentó con la automatización de muchos procesos y la adopción de computadoras para el manejo de la información y el control de las actividades agrícolas, manufactureras y de servicios.

La industria 4.0 está revolucionando la producción y distribución de bienes y servicios, al tiempo que se va construyendo sobre los avances de la Tercera Revolución Industrial, debido a la interconexión entre productos, máquinas, procesos y consumidores, mediante el uso intensivo de tecnologías como internet de las cosas, inteligencia artificial, computación en la nube, sensores, robots autónomos y otros servicios digitales usados para procesar grandes cantidades de datos. Algunas personas aún tienen dudas sobre la penetración y las perspectivas de la industria 4.0, pero es importante tener claro que son innegables sus manifestaciones en diversas actividades económicas, en las comunicaciones, en la distribución global



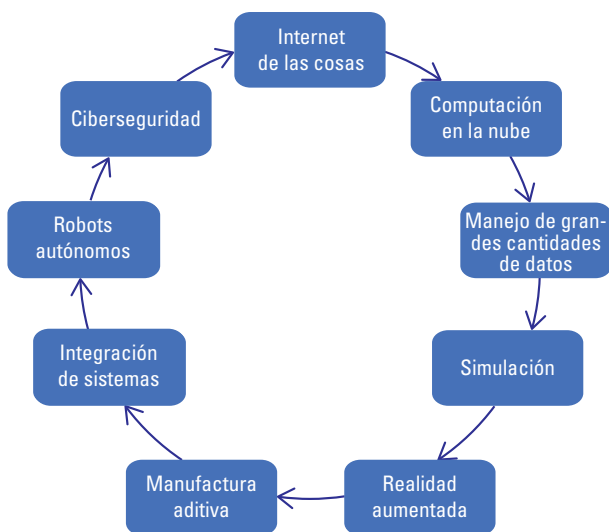


Figura 1. Pilares de la industria 4.0. Fuente: elaboración propia con base en Alcácer y Cruz (2019).

de productos y en la prestación de servicios. El uso extendido de internet y los objetos “inteligentes” (máquinas y productos) conlleva la combinación de elementos del mundo físico y del mundo virtual mediante las tecnologías modernas de información y comunicación. Esta combinación lleva a los llamados sistemas ciberfísicos, con los pilares ilustrados en la Figura 1 (Alcácer y Cruz, 2019):

1. *Internet de las cosas*: una combinación de tecnologías que permite la interconexión entre objetos, sin necesidad de la intervención humana.
2. *Computación en la nube*: el uso de servicios de almacenamiento y procesamiento de información en la llamada “nube” representa un salto en la capacidad para que los sistemas interactúen, se compartan datos y se mejore el desempeño.
3. *Manejo de grandes volúmenes de datos (big data)*: nuevas técnicas que facilitan el procesamiento y análisis de datos.
4. *Simulación*: desarrollo de modelos para entender la dinámica de negocios, procesos gubernamentales y prestación de servicios, usando datos reales, pero simulando mediante lo que ahora se llama “gemelos digitales”.
5. *Realidad aumentada*: sistemas que posibilitan la interacción entre ambientes virtuales y el mundo

físico, para que ambos se entremezclen por medio de dispositivos tecnológicos.

6. *Manufactura aditiva*: una tecnología que permite la fabricación rápida de prototipos de productos mediante la impresión tridimensional con diferentes materiales.
7. *Integración horizontal y vertical de sistemas*: en las empresas, la integración horizontal consiste en establecer condiciones para la interconexión y coordinación entre proveedores, fábricas y clientes; la integración vertical involucra sistemas de tecnologías de la información a lo largo de diferentes niveles y unidades.
8. *Robots autónomos*: autómatas con inteligencia artificial que tienen gran capacidad de adaptación y flexibilidad.
9. *Ciberseguridad*: sistemas y procedimientos para garantizar la seguridad de la infraestructura en tecnologías de la información y de los datos.

Beneficios de la industria 4.0

El resultado de la introducción de las tecnologías propias de la industria 4.0 ha sido la fábrica inteligente, donde máquinas, dispositivos, sensores y personas se conectan y se comunican en tiempo real, lo que ocurre tanto dentro de la compañía como en sus relaciones con otras empresas. La disponibilidad de información útil y las herramientas para su análisis constituyen condiciones óptimas para tomar decisiones basadas en evidencias que se traducen en una mejor ejecución de tareas, la respuesta rápida ante problemas y otros beneficios para la innovación y la productividad.

No obstante, la transformación digital no sólo afecta al sector manufacturero, sino que también tiene impacto en la agricultura por el uso de sensores para optimizar el riego y la aplicación de fertilizantes y agroquímicos, además de drones para la supervisión y control de plagas. Asimismo, el comercio usa cada vez más plataformas digitales y los servicios financieros se han transformado, mientras que los servicios públicos también han cambiado por la implementación creciente de soluciones digitales.

Políticas públicas para la industria 4.0

Capitalizar los beneficios mencionados implica la intervención deliberada y planificada de diferentes actores. La Comisión de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo de las Naciones Unidas (2022) identificó las economías del mundo que están mejor preparadas para la industria 4.0, a partir de las capacidades de los empleados y la exportación de bienes de alta tecnología basados en trabajo altamente calificado. Los resultados del estudio evidencian la relevancia que tiene la inversión en educación y capacitación, como parte fundamental de una política de desarrollo productivo. México fue clasificado como país con buenas oportunidades por sus exportaciones de bienes de alta tecnología, pero con respecto a sus recursos humanos obtuvo una calificación por debajo del promedio; dicha situación representa un desafío de política que se aborda en la última sección de este artículo.

Para tener una respuesta estratégica ante el fenómeno de la industria 4.0, diversos países han diseñado políticas industriales para inducir una transformación estructural, con incentivos para la adopción de las nuevas tecnologías, la formación y capacitación de recursos humanos y el impulso al gobierno electrónico. Al respecto, el ejemplo de la iniciativa de digita-

lización de la industria europea muestra el objetivo de impulsar la industria 4.0 para recuperar empleos perdidos en la competencia con países que tienen menores costos laborales.

Un estudio sobre las políticas de distintos países europeos para impulsar la industria 4.0 (Teixeira y Tavares, 2022) clasificó las intervenciones públicas integradas en 25 planes nacionales implantados entre 2011 y 2021, y las organizó en las áreas ilustradas en la Figura 2, las cuales ofrecen una referencia útil para identificar los elementos de una política en esta materia. Cabe destacar que, para la ejecución de estos instrumentos de política, los países europeos han puesto particular atención en propiciar una gobernanza participativa que facilita la toma de decisiones, los acuerdos entre los sectores públicos y privados, así como el financiamiento conjunto de proyectos entre gobiernos y empresas.

La política de digitalización en México

Un análisis de las políticas digitales en México implementadas durante este siglo (Oropeza y Bernaluce, 2021) concluye que se ha priorizado el acceso a internet para la población del país; sin embargo, dicho objetivo se ha logrado apenas parcialmente

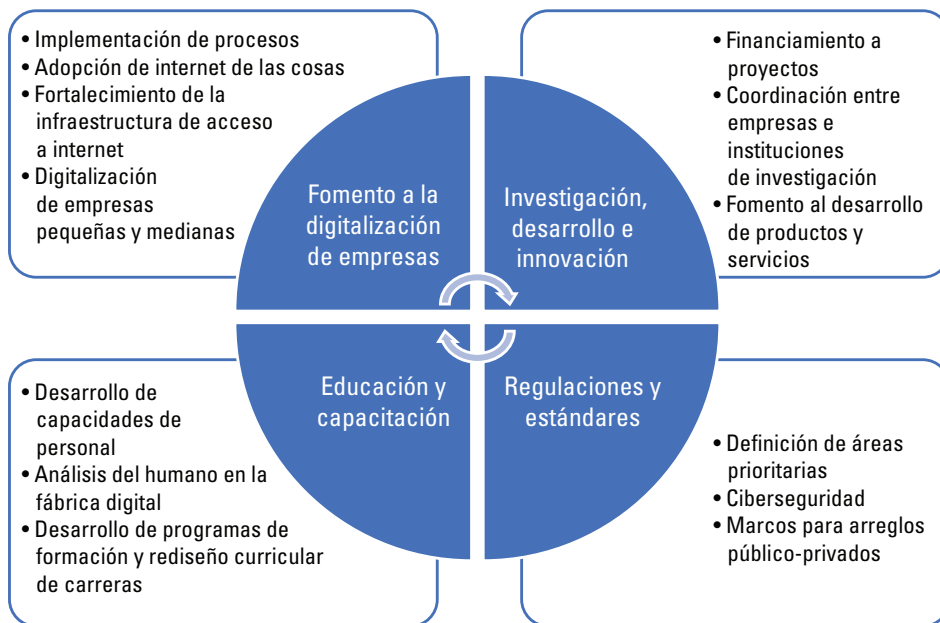


Figura 2. Políticas de digitalización en Europa. Fuente: elaboración propia a partir de Teixeira y Tavares (2022).

porque persisten problemas de infraestructura y conectividad, en gran parte debido a que las estrategias de las últimas cuatro administraciones federales han contado con presupuestos bajos y se ha carecido de continuidad en los instrumentos de fomento. A pesar de esto, México ha avanzado con un ritmo paulatino en su proceso de digitalización de las actividades gubernamentales, al ir automatizando diversas operaciones y promoviendo el intercambio de datos entre las dependencias.

En el caso de la industria, el uso de las tecnologías de la información se ha intensificado, aunque de forma heterogénea, pues las empresas grandes integradas a los mercados internacionales son las que tienen un mayor progreso. Por otro lado, la mayoría de las empresas pequeñas apenas ha adoptado el uso de computadoras, internet y algunas soluciones digitales. De esta forma, para 2017, México ocupó el lugar 87 en el Índice de Desarrollo de las Tecnologías de la Información y Comunicación elaborado por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU, 2017); en tanto, en el Índice de Madurez de Conectividad de 2020, se ubicó en el lugar 63 (Sutta y Lanvin, 2020).

Actualmente, el gobierno federal mantiene como prioridad de la Estrategia Digital Nacional 2021-2024 la cobertura de internet para todo el país. La Estrategia fue publicada en el *Diario Oficial de la Federación* el 6 de septiembre de 2021, a la mitad del sexenio, lo cual indica que se emitió con retraso. Su misión es:

promover e impulsar que las y los mexicanos gocen y se beneficien del acceso a las tecnologías de la infor-

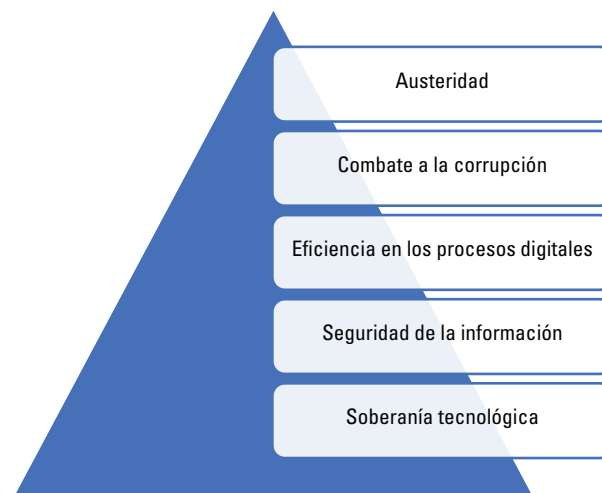


Figura 3. Principios de la Estrategia Digital Nacional. Fuente: elaboración propia con base en Gobierno de México (2021).

mación y comunicación; así como de los servicios de banda ancha e internet y su potencial transformador para el desarrollo social, cultural y económico.

Los principios que rigen la Estrategia Digital Nacional 2021-2024 se ilustran en la Figura 3. En línea con el principio de austeridad, no se contempla una asignación presupuestal para cumplir con sus objetivos, los cuales están orientados a fortalecer los sistemas de información gubernamentales, sin atender el impulso de la digitalización en las empresas ni la formación de capacidades para no sólo tener acceso a internet, sino para adoptar y generar soluciones avanzadas. Esto deja de lado la atención al tema de formación de capacidades digitales, pues, de acuerdo con el diagnóstico de la Unión Internacional de Telecomunicaciones para 2021, el porcentaje de individuos con capacidades avanzadas en tecnologías de la información fue de sólo 7% (ITU, 2021).

La Estrategia Digital Nacional 2021-2024 tampoco identifica a las industrias prioritarias para fomentar su digitalización, como ha sucedido en otros países. De hecho, apenas el 21 de septiembre de 2022,¹ la Secretaría de Economía publicó el docu-

¹ La titular de la Secretaría de Economía, encargada de este documento, fue sustituida un par de semanas después de su publicación, lo cual hace cuestionar seriamente su ejecución, pues ha quedado un vacío notable en cuanto a la estrategia de desarrollo industrial del país y su incorporación planificada al fenómeno de la industria 4.0.

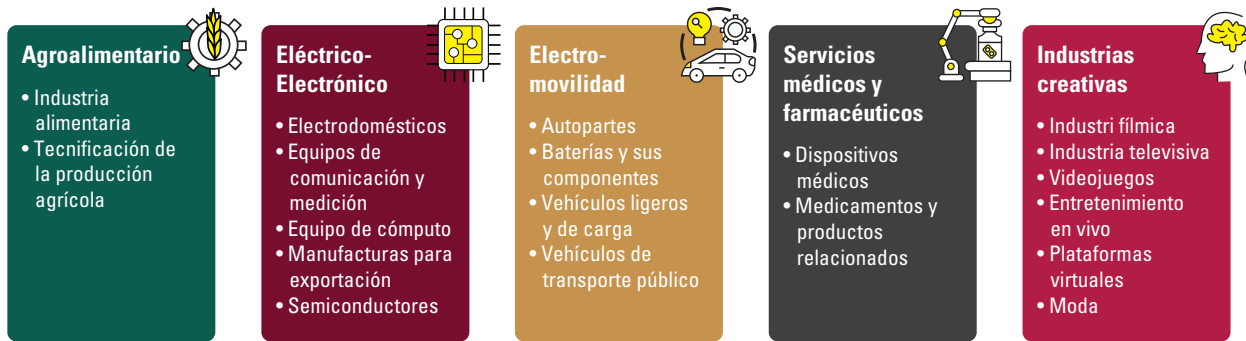


Figura 4. Los sectores estratégicos propuestos para la política industrial de México. Fuente: Secretaría de Economía (2022), *Rumbo a una política industrial*, México, Secretaría de Economía.

mento *Rumbo a una política industrial*, en el que propone cinco sectores estratégicos (véase la Figura 4) y cuatro acciones transversales:

1. Innovación y tendencias tecnológicas-científicas.
2. Formación de capital humano para las nuevas tendencias.
3. Promoción de contenido regional y encadenamiento para las micro, pequeñas y medianas empresas.
4. Industrias sostenibles y sustentables.

Reflexiones finales

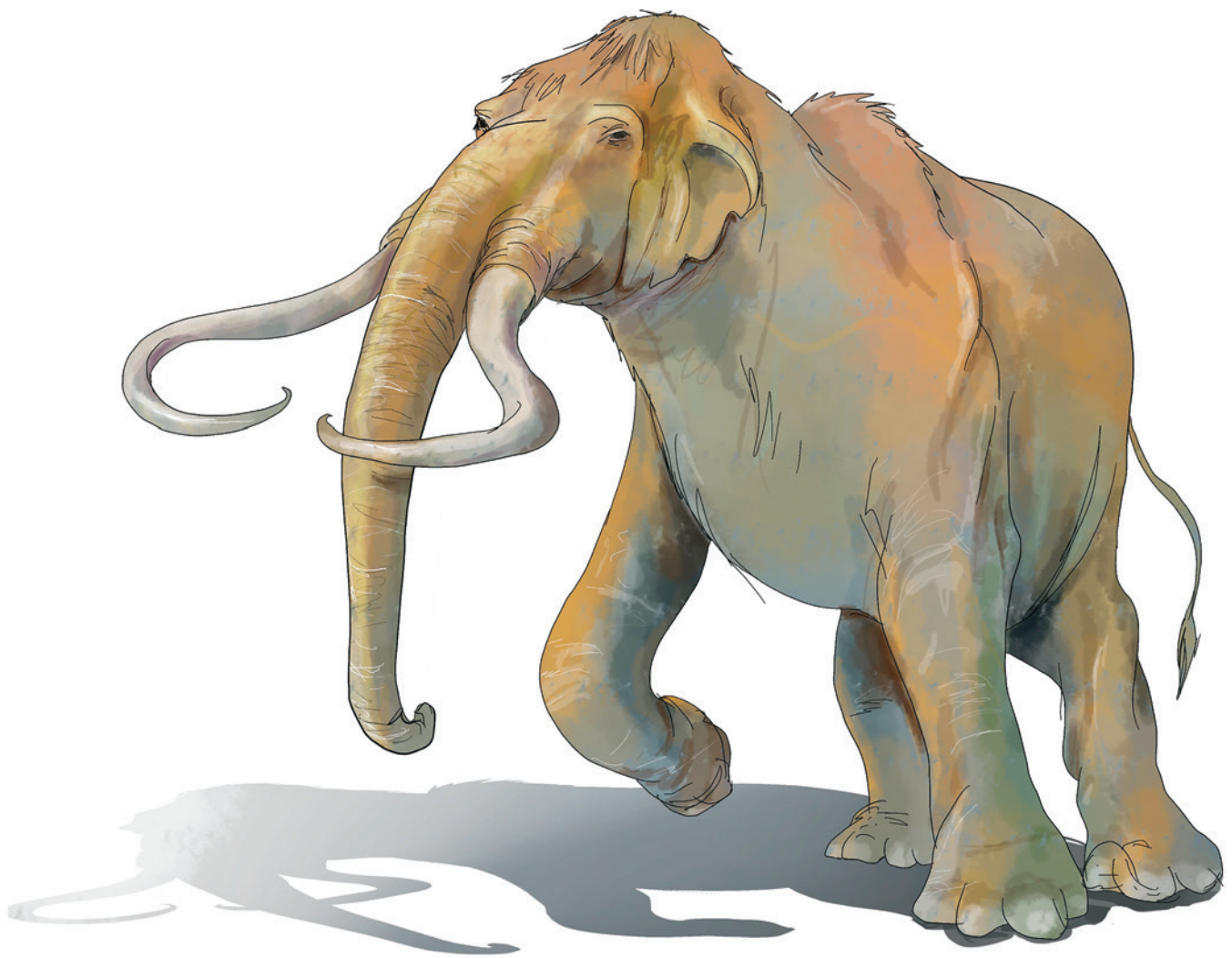
Este planteamiento de política industrial tiene un mejor sustento, pero llega tarde y carece de una base presupuestal. Como puede observarse, México tiene mucho que aprender sobre los pilares de las políticas industrial y de desarrollo digital. Ya es urgente que se adopte una postura estratégica para un fenómeno que tiene implicaciones económicas y de transformación social. Si México no toma decisiones pronto, habrá que resignarse a que la forma en que se adopte la digitalización de la economía del país sea dependiente y reactiva.

José Luis Solleiro

Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología, Universidad Nacional Autónoma de México.
solleiro@unam.mx

Referencias específicas

- Alcácer, V. y V. Cruz (2019), “Scanning the Industry 4.0: A Literature Review on Technologies for Manufacturing Systems”, *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 22(3):899-919. Disponible en: <doi.org/10.1016/j.jestch.2019.01.006>, consultado en enero de 2023.
- Comisión de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo de las Naciones Unidas (2022), *Industry 4.0 for inclusive development. Report of the Secretary-General*, Ginebra, UNCTAD.
- ITU (2017), *The ICT Development Index*. Disponible en: <www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Pages/IDI/default.aspx>, consultado el 10 de noviembre de 2022.
- ITU (2021), *Digital Trends Reports 2021*, Ginebra, International Telecommunications Union. Disponible en: <www.itu.int/en/ITU-D/Conferences/WTDC/WTDC21/Pages/RPM/Digital-Trends-Reports-2021.aspx>, consultado el 17 de noviembre de 2022.
- Oropeza, A. y J. Berasaluce (2021), *De la revolución industrial a la revolución digital*, México, IIJ-UNAM/IDIC.
- Sutta, S. y B. Lanvin (2020), “The Network Readiness Index. Accelerating Digital Transformation in a post-COVID Global Economy”, Washington, D. C., Portulans Institute. Disponible en: <https://networkreadinessindex.org/wp-content/uploads/2020/10/NRI-2020-Final-Report-October2020.pdf>, consultado el 10 de octubre de 2022.
- Teixeira, J. E. y A. T. Tavares (2022), “Industry 4.0 in the European Union: policies and national strategies”, *Technological Forecasting & Social Change*, 180:121664. Disponible en: <doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121664>, consultado en enero de 2023.



Novedades científicas

De actualidad

Desde la UAM

Noticias de la AMC

Rodrigo Martínez-Abarca

Una breve historia de la Cuenca de México

La Ciudad de México se ubica al sur de la Cuenca de México. En la región han ocurrido diversos procesos geológicos, climáticos y sociales que han modelado el paisaje a lo largo de millones de años. En este artículo contamos una breve historia geológica y del cambio en el paisaje de la Cuenca de México por causas naturales y antropogénicas, desde su origen hasta nuestros días.

Introducción

La Ciudad de México y su zona metropolitana son el hogar de más de 21 millones de personas. La metrópoli se ubica al sur de la Cuenca de México, una región volcánica que forma parte del Cinturón Volcánico Transmexicano (véase la Figura 1) y que tiene una amplia historia geológica, climática, ambiental y social que ha modificado el paisaje a lo largo del tiempo. En este artículo presentamos la compilación de una vasta cantidad de trabajos multidisciplinarios que, en conjunto, narran los cambios ocurridos en el paisaje de la Cuenca de México, desde sus épocas más remotas hasta la relación actual del humano con su medio natural.

La cuenca en cuestión es una depresión que ha funcionado como una trampa natural, en la que rocas y sedimentos han quedado resguardados a lo largo del tiempo. Dichos materiales, en conjunto con las rocas presentes en las inmediaciones de la cuenca, nos permiten conocer cómo era el pasado de la región hace miles o incluso millones de años. De igual modo, los registros arqueológicos encontrados y estudiados en décadas recientes han evidenciado la relación que los humanos tuvieron con los recursos naturales de la zona.

Evolución de la Cuenca de México

De un ambiente marino...

Los depósitos más antiguos de la Cuenca de México se localizan a 1 600 m de profundidad, según sabemos por las perforaciones que se han hecho; estos depósitos

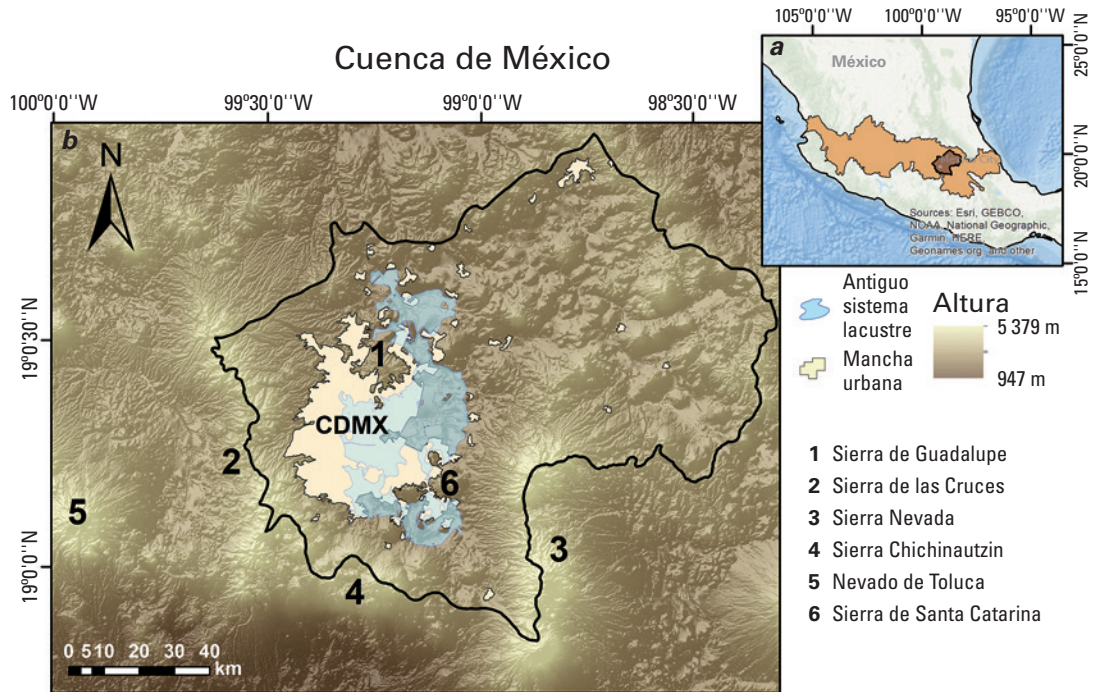


Figura 1. a) Ubicación de la Cuenca de México dentro del Cinturón Volcánico Transmexicano; b) modelo de elevaciones de la cuenca (delimitada en negro) y sus alrededores. Se muestran las diferentes manchas urbanas, incluida la Ciudad de México (CDMX) y el antiguo sistema lacustre. Fuente de los archivos shapefile: Inegi (2020).

también se han encontrado expuestos al norte del estado de Morelos (González-Torres y cols., 2015). Con una edad de entre 125 y 66 millones de años (Aptiano-Maastrichtiano, en términos de periodos geológicos), las rocas corresponden a calizas de origen marino con un alto contenido de fósiles de radiolarios y foraminíferos (protistas que habitan los océanos), dado que, durante este periodo, el terreno que conformaría posteriormente la Cuenca de México se encontraba por debajo de un mar somero, en medio de dos continentes llamados Laramidia y Appalachia (véase la Figura 2). El clima global era cálido; sin embargo, las condiciones áridas predominaban en esta región, lo que permitió la formación de rocas calizas.

... a un ambiente continental

El cierre de los continentes Laramidia y Appalachia hace 66 a 34 millones de años (Paleoceno-Eoceno) tuvo como resultado la formación de diferentes cadenas montañosas; entre ellas, tenemos la actual Sierra Madre Oriental. Además, en el centro de lo que hoy es México, se formaron varias cuencas debi-

do a la actividad volcánica y tectónica. Los registros geológicos de este periodo en la Cuenca de México incluyen conglomerados de grava, arena y arcilla, así como algunos depósitos de lava (Arce y cols., 2019);



Figura 2. Mapa paleogeográfico de Norteamérica hace 75 millones de años. La ubicación de lo que sería la Ciudad de México (CDMX) se indica con una estrella. Figura modificada de Gates y cols. (2012).

dichos materiales no se encuentran expuestos en las inmediaciones de la cuenca, pero se han observado en perforaciones hechas en Texcoco a más de 2 065 m de profundidad.

Lo anterior sugiere que, durante este periodo, el terreno quedó expuesto a la atmósfera y formaba parte del continente, en donde el clima y el vulcanismo comenzaron a ser los principales modeladores del paisaje. Posteriormente (34-23 millones de años), la porción sur de la región presentó vulcanismo, cuyo registro geológico quedó cubierto por rocas más recientes; sin embargo, algunas perforaciones en Mixhuca los han encontrado a más de 1 200 m de profundidad (González-Torres y cols., 2015).

El aumento de la actividad volcánica

En el transcurso de los últimos 23 millones de años, una intensa actividad volcánica tuvo como consecuencia cambios en la morfología de la región y el subsecuente cierre de la cuenca. El emplazamiento de lava, la caída de cenizas, así como el depósito de sedimentos en las zonas bajas de la región rellenaron a la cuenca y, de manera gradual, le proveyeron de su altitud actual. Durante el Mioceno (hace 23 a 5 millones de años), un incremento en la actividad volcánica dominó el norte y sur de la región, asociado con la subducción de la Placa de Cocos por debajo de la Placa Norteamericana.

Algunos depósitos volcánicos, como lava y flujos de escombros, se han encontrado en Malinalco,

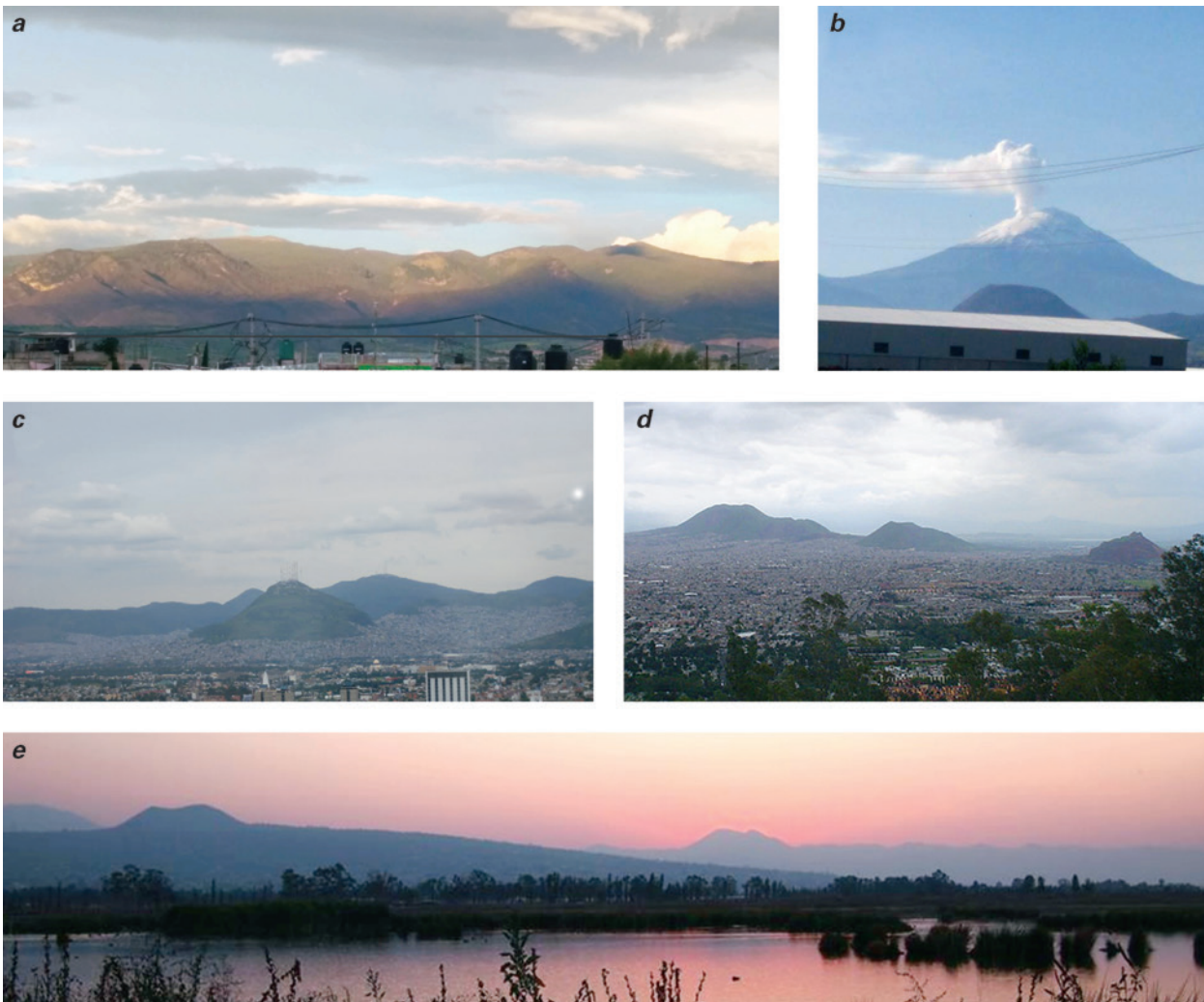


Figura 3. Principales orógenos de la Cuenca de México: a) porción norte de la Sierra Nevada; b) volcán Popocatepetl; c) Sierra de Guadalupe; d) Sierra de Santa Catarina; e) Sierra del Chichinautzin. Fuente: a)-d) autoría personal; e) cortesía de Ryan O'Grady (2016).

Chalma, Tepoztlán y Tlayacapan. Sin embargo, uno de los rasgos morfológicos más importantes de la cuenca es la Sierra de Guadalupe (véase la Figura 3c), un complejo de forma casi circular ubicado al norte de la Ciudad de México y que está compuesto por volcanes de una sola erupción (monogenéticos) de origen explosivo (por ejemplo, Zacatenco, Jaral y Tres Padres), así como domos (como Chiquihuite y Tepeyac). La edad de esta sierra oscila entre 15 y 14 millones de años, lo que las hace las estructuras volcánicas expuestas más antiguas de la región.

La Sierra de las Cruces es otra de las estructuras volcánicas más antiguas de la zona, con edades de entre 3.4 a 0.4 millones de años. Este sistema de volcanes, domos, flujos de escombros y lava recorre de noroeste a sureste el poniente de la Ciudad de México; sobresalen los volcanes La Catedral, La Bufa, Iturbide, Chimalpa y Ajusco. Se ha observado que el vulcanismo de esta sierra comenzó en el norte y, con el tiempo, el foco eruptivo migró al sur, hasta concluir con la construcción del volcán Ajusco.

Por otra parte, la Sierra Nevada, ubicada al oriente de la Ciudad de México, comenzó su formación hace 1.8 millones de años con el volcán Tlaloc y, en última instancia, con el Telapón hace 1.4 millones de años (García-Tenorio y cols., 2012). Otros volcanes de menores dimensiones, como Chimalhuache, Tlapacoya, Peñón del Marqués y Cerro de la Estrella, se formaron hace entre 1.1 y 0.8 millones

de años, como posible resultado de una fractura que recorre de oriente a poniente a la cuenca.

Entre 1.1 y 0.45 millones de años atrás, el complejo Iztaccíhuatl estuvo activo y fue construyendo una serie de conos volcánicos: Llano Grande, La Cabeza, El Pecho, Las Rodillas y Los Pies Ancestrales (García-Tenorio y cols., 2012). Por último, el Popocatepetl inició su actividad hace 0.33 millones de años. Su historia se compone de periodos de construcción y destrucción de diferentes paleovolcanes, como el Ventorrillo y Nexpayantla. Hace 27 000 años, este último tuvo una erupción muy importante que destruyó gran parte del edificio volcánico; cerca de 10 km³ de rocas se esparcieron mediante flujos de pómez y ceniza hasta 25 km a la redonda, y los lahares (flujos de escombros calientes posteriores a una erupción) recorrieron más de 100 km de distancia. De esta manera, el cono moderno del Popocatepetl inició su construcción, la cual continúa hasta la actualidad (Siebe y cols., 2017).

Un paisaje lacustre

Hasta hace 500 años, un gran sistema de lagos, compuesto por Zumpango, Xaltocan, Texcoco, Xochimilco y Chalco, inundaba gran parte de la planicie de la Cuenca de México. Se ha estudiado poco sobre la edad en la que estos cuerpos de agua pudieron formarse, pero mediante perforaciones a 700 m de profundidad en un pozo en San Lorenzo Tezonco se obtuvieron lavas que subyacen a los depósitos lacustres más profundos y que sugieren que la sedimentación lacustre pudo iniciar hace al menos un millón de años (Lozano-García y Sosa-Nájera, 2015). En específico, el inicio de la sedimentación en el lago de Chalco pudo ocurrir hace 400 000 años, de acuerdo con datos de perforaciones recientes (Brown y cols., 2017). El probable establecimiento de Chalco fue simultáneo al término de la actividad volcánica del Iztaccíhuatl y ocurrió durante un periodo frío global llamado Estadio Isotópico Marino 10 (Martínez-Abarca y cols., 2021b).

A lo largo de los últimos 400 000 años, una recurrente y constante actividad volcánica ocurrió al sur de la cuenca, la cual generó la Sierra del Chichinautzin (véase la Figura 3e). Esta sierra está compues-



El cerro Teotón desde el malpaís de Nealtican. Foto: Bodofzt, <https://es.wikipedia.org/wiki/Teotón#/media/Archivo:Teotón2.jpg>

ta por más de 200 volcanes monogenéticos, entre los que se encuentran Tlaloc, Teuhtli, Dos Cerros, Chichinautzin y Xitle. Se sabe que la temperatura y la precipitación de la región tuvieron oscilaciones importantes durante los últimos 150 000 años.

Igualmente, los lagos de la cuenca tuvieron variaciones en su nivel lacustre asociado a periodos glaciares e interglaciares. Hace 130 000 años, un periodo glacial tuvo como consecuencia una importante disminución en la temperatura del hemisferio norte. El entorno húmedo y frío en la Cuenca de México provocó que al menos el lago de Chalco fuera profundo, de agua dulce, sin oxígeno y que la región tuviera pocos incendios forestales (Avendaño-Villeda y cols., 2018); conforme la temperatura incrementó hace 110 000 años, los cuerpos de agua de la cuenca fueron someros, salados, ricos en oxígeno y la cantidad de incendios forestales incrementó (Ortega-Guerrero y cols., 2020; Martínez-Abarca y cols., 2021a).

Ningún otro evento frío parecido al ocurrido hace 130 000 años se volvió a presentar en la Cuenca de México hasta el Último Máximo Glacial (26 000-19 000 años). Durante este periodo glacial, la temperatura de la región pudo haber disminuido 4 °C con respecto a la actual, lo que ocasionó la expansión de los glaciares de montaña, el incremento de comunidades de bosques, así como el establecimiento de lagos profundos y dulces (Caballero y cols., 2019). Las condiciones climáticas favorecieron la presencia en la cuenca de megafauna como mamuts, camellos, tigres dientes de sable y gliptodontes; algunos restos de estos animales se han encontrado al sur (Tlacotenco), oriente (Tocuila) y –más recientemente– norte de la Cuenca de México (Santa Lucía). Los fósiles ya analizados han arrojado edades de entre 17 000 y 12 000 años.

Los primeros registros humanos

El final del último periodo glacial, hace 12 000 años, estuvo marcado por un repentino enfriamiento, conocido como evento Younger Dryas, en el que la temperatura bajó 1.5 °C respecto a la actual. Los restos humanos más antiguos encontrados en la Cuenca de México tienen edades que rondan los

12 000 años y corresponden a las primeras ocupaciones humanas por comunidades nómadas. Al norte de la cuenca se encontró uno de los restos más antiguos (cerca de 12 700 años), conocida como la mujer del Peñón III; otros nómadas encontrados en la región son el hombre de Chimalhuacán (12 500 años), el hombre del Metro Balderas (12 500 años) y el hombre de Tlapacoya (12 200 años) (González y cols., 2015).

La actividad volcánica en la región en esos tiempos estuvo marcada por una importante erupción: la del volcán Nevado de Toluca en la cuenca vecina del Lerma. Durante la erupción, el volcán emitió grandes cantidades de rocas y cenizas que formaron una columna de 42 km de altura y varios flujos piroclásticos a 300 °C; en consecuencia, se estima que una vasta extensión de bosques se calcinó (Martínez-Abarca y cols., 2019). Es probable que esta erupción haya tenido efectos negativos para los primeros pobladores y la fauna, ya que algunos restos de homínidos y mamuts se han encontrado embebidos por las cenizas o flujos de escombros asociados a la erupción (por ejemplo, el hombre de Chimalhuacán y los mamuts de Tocuila).

Interacción humano-naturaleza

Desde el establecimiento de las primeras comunidades sedentarias, la interacción de los pobladores con su entorno ha sido fundamental para el desarrollo



Nevado de Toluca Foto: México en Fotos, A.C. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Vista_del_Nevado_de_Toluca.jpg



Zea mays. Foto: H. Zell, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Zea_mays_005.JPG

de grandes civilizaciones. Esta interacción se basa en la extracción de recursos, la adaptación de sus construcciones al entorno, la adoración de deidades asociadas a ciertos elementos naturales (agua, tierra y fuego), entre otras actividades.

Los pobladores de la Cuenca de México comenzaron a establecer relaciones de sedentarismo en las zonas fértiles y de mayor abastecimiento de recursos para su subsistencia, sobre todo desde hace 10 000 años (Holoceno). Para este tiempo, el establecimiento de condiciones cálidas asociadas a un incremento global de la temperatura (aumento de la temperatura regional de hasta 3 °C) modificó el paisaje de la cuenca. El repentino calentamiento, en conjunto con la caza, constituyen las principales razones vinculadas a la extinción de la megafauna en la región (González y cols., 2015).

En lo que era un islote del lago de Xochimilco, se han documentado restos de carbón, huesos y almidón que sugieren el establecimiento de las primeras

aldeas de la cuenca. Este periodo es conocido como fase La Playa y abarca de 6 000 hasta 4 500 años antes de nuestra era (a. n. e.) (McClung de Tapia y Acosta Ochoa, 2015). Registros paleoclimáticos en Xochimilco sugieren que para este periodo prevalecieron las condiciones húmedas y en el lago se concentraba agua dulce. En Tlapacoya (sur de la cuenca) también hay evidencias de un entorno húmedo con desarrollo de agricultura; esto, debido a la presencia de remanentes de gramíneas (*Zea mays*) y granos de Teocintle (antecesor del maíz domesticado).

Entre 3 000 y 2 000 a. n. e. (fase Zohapilco) se reporta un abandono del sitio, posiblemente asociado con el incremento de los niveles lacustres, claramente visible en los registros sedimentarios de Xochimilco desde 4 000 a. n. e., y que posiblemente inundaron el islote. Otra posible razón del abandono de la zona es por una importante actividad volcánica en la región. Entre las múltiples erupciones del Popocatepetl se encuentra la llamada Secuencia Eruptiva Pliniana del Pre-Cerámico Superior, cuyas cenizas abarcan edades entre 3 195 y 2 830 a. n. e.; sin embargo, la dispersión del material volcánico fue mayoritariamente hacia el norte.

Los remanentes de estructuras arquitectónicas complejas y más antiguas de la Cuenca de México figuran entre los años 800 a. n. e. y 250 después de nuestra era (d. n. e.). Éstos se asocian a la zona arqueológica de Cuicuilco, parte de una civilización que se estableció en la porción suroeste, a las orillas del lago de Xochimilco (véase la Figura 4). La interacción entre los pobladores de Cuicuilco con el medio natural es poco conocida; sin embargo, Byron Cummings, quien fue el primer investigador en describir la zona arqueológica, reportó la presencia de hojas de cobre que indican un conocimiento temprano de metalurgia en la cuenca.

Durante el desarrollo de Cuicuilco, el Popocatepetl terminó con un importante periodo de actividad volcánica, conocido como Secuencia Eruptiva Pliniana del Cerámico Bajo (800-215 d. n. e.), pero es probable que no tuviera efecto sobre los pobladores, ya que gran parte de sus cenizas se dirigieron al oriente. Cuicuilco fue sepultada por las lavas del volcán Xitle, ubicado 7 km al suroeste de la zona

arqueológica (véase la Figura 4). Las dataciones más recientes de las lavas reportan edades de 1 670 años (equivalente al año 280 d. n. e.), lo que constituye una de las erupciones más recientes de la Cuenca de México.

La última gran civilización que dominó la región antes de la Conquista española fue Tenochtitlan. Esta ciudad fue fundada en el año 1324 d. n. e., sobre un pequeño islote ubicado en el centro del sistema lacustre (véase la Figura 4). No se conoce la extensión precisa que la ciudad pudo abarcar durante su época de mayor auge; sin embargo, se estima que su población pudo ser de hasta 300 000 habitantes.

Por su ubicación, se presume que los pobladores de Tenochtitlan percibieron que su sobrevivencia dependía de los lagos y su correcto manejo. En este sentido, los lagos que rodeaban a la ciudad le brindaban protección y fuentes de alimento. Asimismo, se concibieron diversas edificaciones para el control del agua, entre ellas diques y acueductos; dos ejemplos son el acueducto construido en 1416 y destruido posteriormente por una inundación, y el albarradón de Nezahualcóyotl, que separaba a las aguas dulces de Xochimilco de las aguas saladas de Texcoco.

También se desarrolló la producción de chinampas, las cuales son plataformas angostas y rectangulares constituidas por alternancias de lodo y restos de vegetación (Tortolero, 2000). Su uso residencial permitía la vivienda para grupos entre 10 y 15 personas. No obstante, muchas de las zonas chinamperas fueron usadas para el cultivo de especies vegetales, una actividad que permanece hasta nuestros días.

Por último, el aprovechamiento de las rocas volcánicas de la cuenca, así como de la arcilla del fondo de los lagos, se muestra en los grandes centros religiosos, como el Templo Mayor. Además, después de la Conquista en 1521, los cambios regionales en el paisaje se aceleraron por la constante extracción de recursos y la expansión de la mancha urbana.

El sistema lacustre comenzó su drenado hacia las zonas norteñas, después de diversas inundaciones reportadas en los años 1555, 1580 y 1604. Los nuevos pobladores de la región no aprovechaban los recursos hídricos; por el contrario, los percibían como un “enemigo natural del progreso”. Como solución a este problema, en 1608 comenzaron los primeros trabajos de desagüe en la cuenca, pero no fue sino hasta 1897 cuando grandes obras, como el



Figura 4. Pintura mural *La gran Tenochtitlan* (Luis Covarrubias, 1964). Fuente: fotografía tomada por Gary Lee Todd (2012). Pintura perteneciente a la colección del Instituto Nacional de Antropología e Historia, Museo Nacional de Antropología, Ciudad de México. Este archivo está disponible bajo Creative Commons CC0 1.0 Universal Public Domain Dedication.

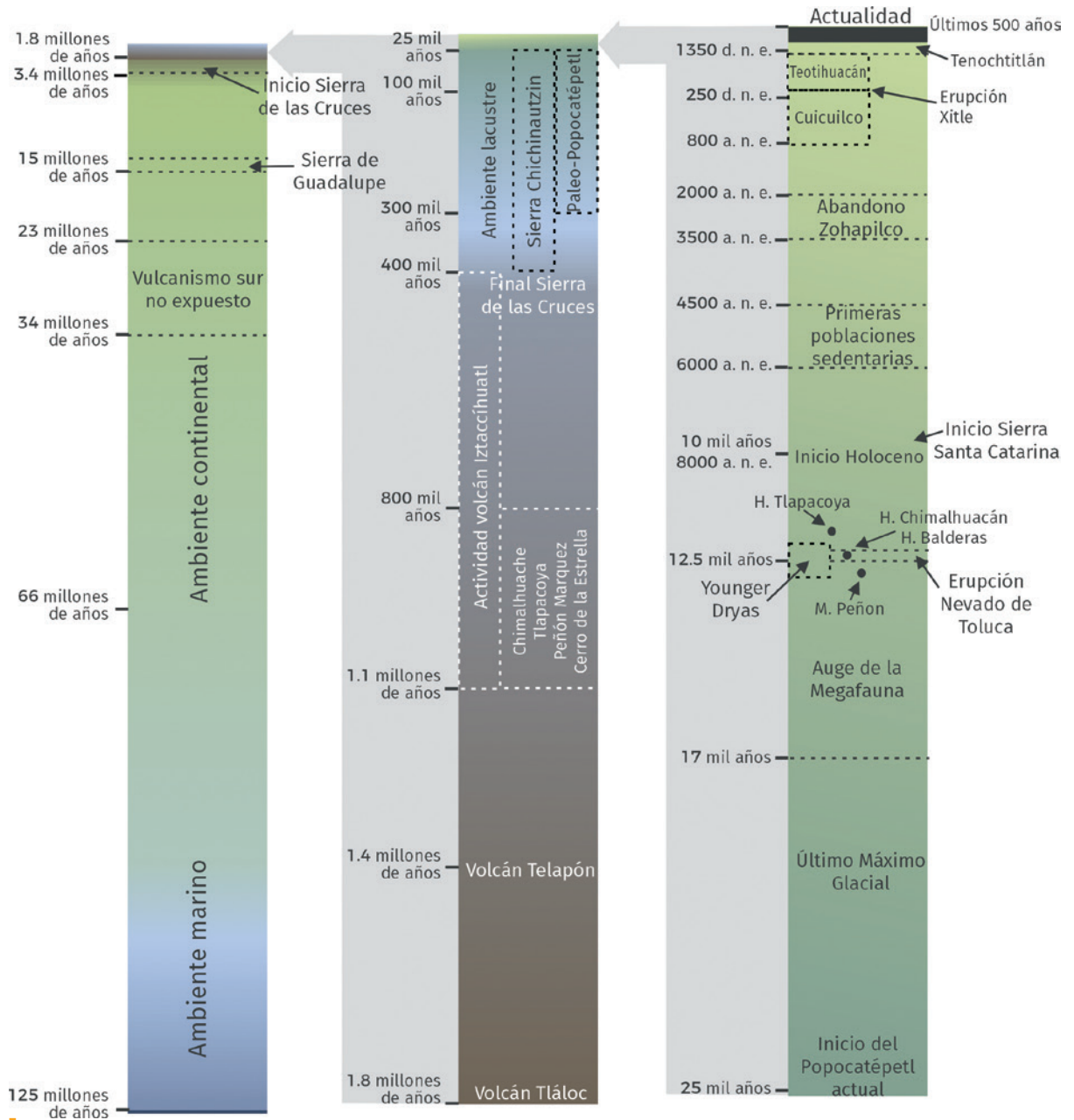


Figura 5. Línea del tiempo con los principales sucesos ocurridos en la Cuenca de México descritos en este artículo.

Gran Canal de Desagüe, aceleraron el proceso de desecación.

Además, la Cuenca de México, y en particular la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, fue testigo de grandes olas de migración desde diversas partes del país a mediados del siglo XX. Se ha estimado que entre 1940 y 1950 la tasa de crecimiento de la población urbana era de 5.9%, y después se mantendría relativamente constante hasta 1990.

El incremento de la mancha urbana continúa hasta nuestros días; de acuerdo con el último censo poblacional, en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México hay más de 21 millones de habitantes.

Conclusión

La Ciudad de México tiene una larga historia geológica, ambiental y arqueológica que es difícil

de resumir en unas cuantas páginas. En este artículo hemos compilado una gran cantidad de estudios de diversas ramas de las ciencias naturales y sociales para vislumbrar el cambio natural y antropogénico del entorno de la Cuenca de México en el tiempo.

El paisaje de la región es dinámico y se modifica constantemente en diferentes escalas temporales como resultado del vulcanismo, tectonismo y clima. Desde la aparición de las primeras comunidades nómadas, la actividad antropogénica ha causado la alteración del ambiente, lo cual se ha acelerado en los últimos 2 000 años y, sobre todo, desde el siglo XV. Por lo anterior, debemos preguntarnos cómo responderá la Cuenca de México a los constantes

cambios que hemos provocado en fechas recientes y ante diversos fenómenos globales, como el cambio climático; en este sentido, es necesario continuar con las investigaciones desde diferentes perspectivas, pero igualmente se requiere tomar acciones para que el porvenir de la región se expanda y no se remita a una futura pero breve historia de la Cuenca de México.

Rodrigo Martínez-Abarca

Technische Universität Braunschweig, Institut für Geosysteme und Bioindikation, Alemania.

l.martinez-abarca@tu-braunschweig.de

Lecturas recomendadas

- Arce, J. *et al.* (2019), “Geology and stratigraphy of the Mexico basin (Mexico city), central trans-Mexican volcanic belt”, *Journal of Maps*, 15(2):320-332.
- Avendaño-Villeda, D. *et al.* (2018), “Condiciones ambientales a finales del Estadio Isotópico 6 (El 6:>130000 años) en el centro de México: caracterización de una sección de sedimentos laminados proveniente del Lago de Chalco”, *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 35(2):168-178.
- Brown, E. *et al.* (2019), “Scientific drilling of Lake Chalco, Basin of Mexico (MexiDrill)”, *Scientific Drilling*, 26:1-15.
- Caballero, M. *et al.* (2019), “Quantitative estimates of orbital and millennial scale climatic variability in central Mexico during the last ≈40,000 years”, *Quaternary Science Reviews*, 205:62-75.
- Gates, T. A., A. Prieto-Márquez y L. E. Zanno (2012), “Mountain building triggered Late Cretaceous North American megaherbivore dinosaur radiation”, *PLOS ONE*, 7(8):e42135.
- García-Tenorio, F., G. Reyes-Agustín y F. López-Pizaña (2012), “Geology and geochronology of Tlálac, Tlapón, Iztaccíhuatl, and Popocatepetl volcanoes, Sierra Nevada, central Mexico”, *The Southern Cordillera and Beyond*, 25:163.
- González, S. *et al.* (2015), “Paleoindian sites from the Basin of Mexico: Evidence from stratigraphy, tephrochronology and dating”, *Quaternary International*, 363:4-19.
- González Torres, E. *et al.* (2015), “Revisión de los últimos eventos magmáticos del Cenozoico del sector norte-central de la Sierra Madre del Sur y su posible conexión con el subsuelo profundo de la Cuenca de México”, *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 67(2):285-297.
- Lozano-García, S. y S. Sosa-Nájera (2015), “Análisis palinológico del Cenozoico de la cuenca de México: el registro polínico de los pozos Texcoco-I y San Lorenzo Tezonco”, *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 67(2):245-253.
- Martínez-Abarca, R. *et al.* (2019), “Incendios y actividad volcánica: historia de fuego en la cuenca de México en el Pleistoceno tardío, con base en registros de material carbonizado en el lago de Chalco”, *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 36(2):259-269.
- Martínez-Abarca, R. *et al.* (2021a), “Environmental changes during MIS6-3 in the Basin of Mexico: a record of fire, lake productivity history and vegetation”, *Journal of South American Earth Sciences*, 109:103231.
- Martínez-Abarca, R. *et al.* (2021b), “Sedimentary stratigraphy of Lake Chalco (Central Mexico) during its formative stages”, *International Journal of Earth Sciences*, 110:2519-2539.
- McClung de Tapia, E., y G. Acosta Ochoa (2015), “Una ocupación del periodo de agricultura temprana en Xochimilco (ca. 4200-4000 a.e.)”, *Anales de Antropología*, 49(II):229-315.
- Siebe, C. *et al.* (2017), “The ~23,500 y 14C BP White Pumice Plinian eruption and associated debris avalanche and Tochimilco lava flow of Popocatepetl volcano, México”, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 333:66-95.
- Ortega-Guerrero, B. *et al.* (2020), “Climatic control on magnetic mineralogy during the late MIS 6-Early MIS 3 in Lake Chalco, central Mexico”, *Quaternary Science Reviews*, 230:106163.
- Tortolero, A. (2000), *El agua y su historia: México y sus desafíos hacia el siglo XXI*, México, Siglo XXI.

Los husos de sueño. ¿Actividad cerebral que influye en la memoria?

Cuando dormimos, nuestro cerebro no descansa; al contrario, ayuda a cumplir muchas funciones en diversos niveles fisiológicos. La expresión de un patrón específico de actividad eléctrica cerebral (conocido como huso de sueño) previene los despertares y —se sugiere— genera mecanismos de comunicación entre ciertas zonas del cerebro que favorecen la consolidación de la memoria y el aprendizaje.

El sueño es crucial para que podamos seguir viviendo. Durante ese estado, aunque de aparente reposo, en nuestro cuerpo ocurren diversos procesos fisiológicos muy importantes, muchos de los cuales suceden en el cerebro. Si no se producen o si se llevan a cabo de una manera ineficiente, ya sea por falta de sueño o por dormir en un horario irregular, observamos su efecto negativo en numerosas funciones. Por ejemplo, la deficiencia de sueño aumenta la incidencia de enfermedades cardiovasculares, está asociada a alteraciones psiquiátricas, como los trastornos de ansiedad y depresión, o bien puede provocar una desregulación metabólica que lleve al aumento de peso, a la obesidad y al desarrollo de diabetes. Además, la carencia de sueño afecta diversas funciones cognitivas, como la memoria y el aprendizaje.

Las neuronas se comunican entre ellas a partir de mensajes químicos y eléctricos. Diversas investigaciones en neurociencias tratan de descifrar esos mensajes mediante el registro de la actividad neuronal con diferentes técnicas. Por ejemplo, los electrodos que son colocados en el cuero cabelludo (electroencefalografía, EEG) o directamente en el cerebro (estereo-EEG) han permitido reconocer patrones de actividad eléctrica que se asocian a estados cerebrales globales, como el sueño, o a procesos específicos, como la memoria.

En la Figura 1 están representados los cambios que ocurren en la actividad eléctrica de las poblaciones de neuronas registradas con la técnica de EEG a lo largo del ciclo sueño-vigilia, el cual está formado por cuatro fases que se van alternando durante toda la noche, más el estado de despertar (vigilia). Como puede verse en un electroencefalograma, durante la vigilia la actividad es rápida y pequeña (bajo

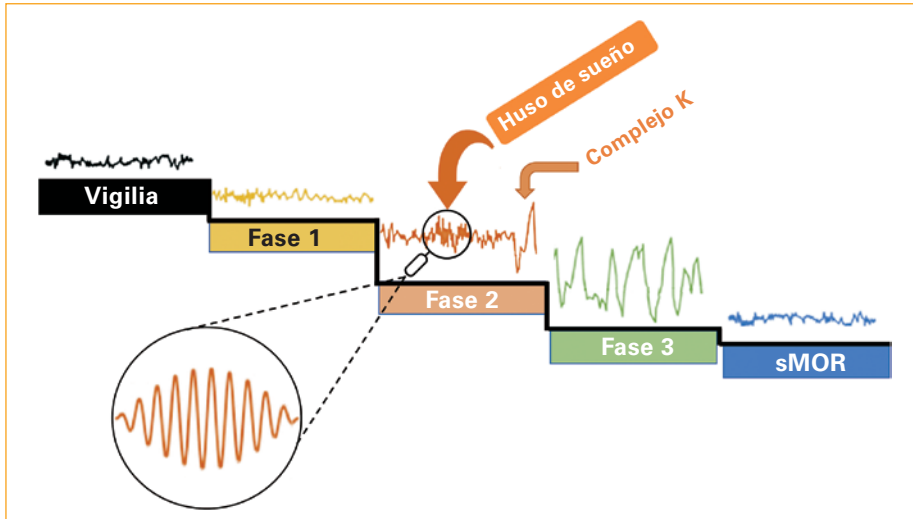


Figura 1. Trazos de actividad eléctrica cerebral característicos del estado de vigilia y cada fase del sueño en seres humanos. En la fase 2 se señalan los elementos característicos: complejo K y huso de sueño; este último aparece agrandado para apreciar su forma. sMOR = sueño de movimientos oculares rápidos.

voltaje). Al inicio del sueño, en la fase 1, se presentan ondas más lentas (conocidas como theta, de 4 a 7 Hz). La fase 2 está caracterizada por la aparición de los husos de sueño y de complejos K; ésta es la fase de sueño más larga y abarca 50% del sueño total. Posteriormente, la actividad se vuelve más lenta y aumenta su voltaje, lo que da lugar al sueño de ondas lentas (fase 3). Por último, la actividad cerebral vuelve a ser rápida y de bajo voltaje –parecida a la vigilia–; paradójicamente, nuestros músculos están completamente relajados y los estímulos ambientales son filtrados de manera eficiente, así que el cerebro se encuentra desconectado del exterior mientras genera su propia actividad. Esta fase se llama sueño de movimientos oculares rápidos (MOR) y es cuando los sueños son más vívidos. Las fases 1, 2 y 3 también se llaman sueño no-MOR; es decir, sin movimientos oculares rápidos.

Mientras dormimos, hay una dinámica cerebral constante. ¿Por qué ocurren estos cambios? ¿Qué funciones hay detrás de estas fluctuaciones en la actividad eléctrica cerebral? A la fecha, estas preguntas se siguen investigando en laboratorios de todo el mundo. Recientemente se ha propuesto que los husos de sueño son un mecanismo adicional del sueño que contribuye a la consolidación de la información que experimentamos durante el día.

■ Los husos de sueño

Las oscilaciones de la actividad eléctrica en las poblaciones neuronales que emergen, crecen en amplitud y decrecen de forma gradual –conocidas como husos de sueño– duran aproximadamente 1 segundo y presentan una frecuencia de entre 9 y 16 Hz en el cerebro humano. Gracias a los minuciosos estudios desarrollados por Mircea Steriade, quien fue jefe del Laboratorio de Neurofisiología de la Universidad de Laval en Canadá, sabemos que los husos de sueño se generan en los circuitos neuronales de una estructura cerebral profunda llamada tálamo (véase la Figura 2), y se mantienen debido al diálogo que se establece con las neuronas de la corteza cerebral, que es la capa más superficial del cerebro. Una lesión de estas neuronas talámicas o de las vías de comunicación con la corteza cerebral hace que desaparezcan los husos de sueño o que se presenten de manera rudimentaria (como apenas un suspiro).

En seres humanos se han reportado dos tipos de husos: uno que aparece preferentemente sobre las regiones anteriores del cerebro, con frecuencias lentas (9-12 Hz), y otro tipo que es más central y posterior, con frecuencias rápidas (13-16 Hz). Hay ciertas patologías que se relacionan con una disminución en el número de husos de sueño, como la esquizofrenia

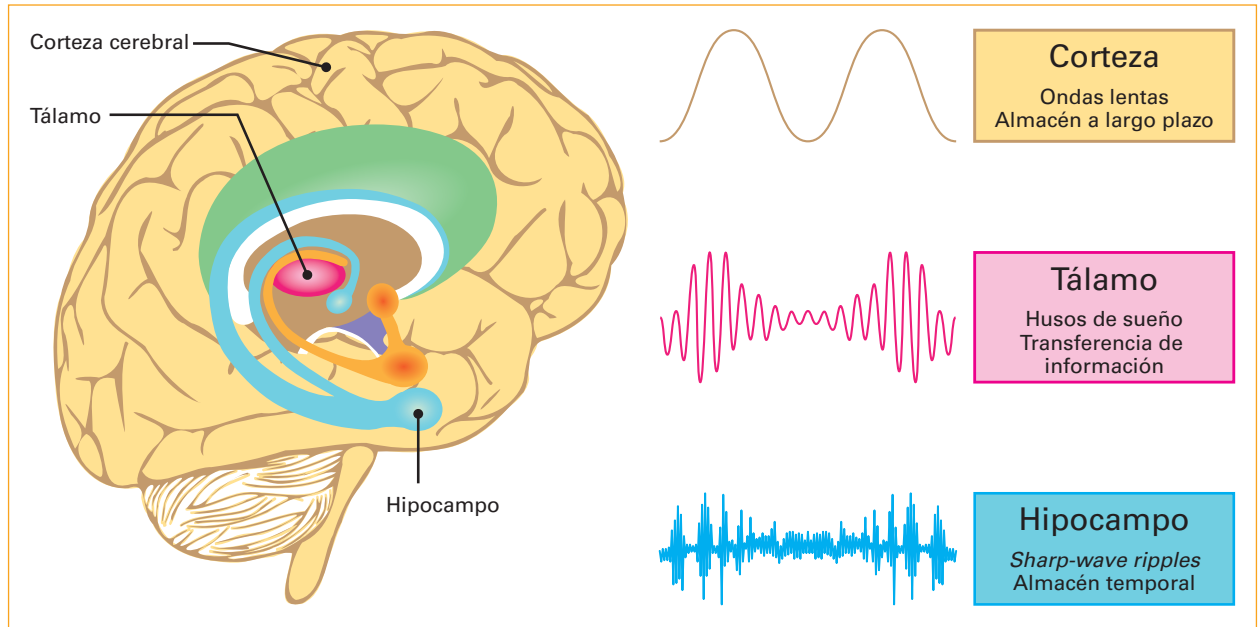


Figura 2. Representación anatómica y de los ritmos durante el sueño no-MOR en la corteza cerebral (en amarillo) con las ondas menores de 1 Hz, el tálamo (en rosa) con los husos de sueño y el hipocampo (en azul) con las *sharp-wave ripples*.

y enfermedades neurodegenerativas como el Alzheimer o el Parkinson. También hay trastornos del desarrollo, como el autismo, en los que el número de husos lentos se encuentra disminuido, mientras que la cantidad de husos rápidos está incrementada.

■ **¿Los husos de sueño tienen efectos benéficos para las funciones cerebrales?**

Los estudios realizados en humanos con técnicas de neuroimagen muestran que los husos de sueño atenúan la entrada de la información sensorial a la corteza cerebral, lo que previene activaciones que interrumpen el sueño. Sabemos que se requiere de sonidos más intensos para despertar a una persona durante los episodios con husos de sueño, en comparación con cuando no los hay. Asimismo, el número de husos durante el sueño se relaciona con la tolerancia al ruido del ambiente; si se presentan sonidos durante el sueño, se activa la corteza cerebral que responde a ellos (el giro temporal superior), pero durante los husos de sueño esta región se encuentra silente. El mecanismo neurofisiológico detrás de este fenómeno (disminución de la respuesta a estímulos externos) se atribuye a la actividad del tálamo

(véase la Figura 2), el cual cambia de un modo de constante actividad de las neuronas durante la vigilia a un modo en ráfagas durante el sueño no-MOR, lo que constituye una compuerta que transmite la información sensorial con una disminución, por lo que no se interrumpe el sueño.

En estudios con roedores también se ha encontrado una relación entre los husos y el sostenimiento del sueño. Si se estimulan las neuronas que producen los husos de sueño, los ratones continúan durmiendo en presencia de estímulos ruidosos, y su sueño no-MOR es menos fragmentado. Esto sugiere que el modo de actividad en ráfaga de las neuronas talámicas contribuye a bloquear la información sensorial, y los husos ayudan a consolidar el sueño.

■ **Los husos de sueño en las etapas iniciales del desarrollo cerebral**

En bebés humanos, los husos de sueño se registran entre las 6 y 8 semanas de edad, si bien las estructuras involucradas en la generación de los husos aún siguen madurando, por lo que estas oscilaciones se han propuesto como marcadores para el desarrollo del sistema nervioso. Sin embargo, desde antes de

la semana 28 de gestación se pueden observar oscilaciones muy parecidas a los husos de sueño sobre la región central de cerebro; después se van extendiendo a otras regiones, pero falta esclarecer si se trata de verdaderos husos de sueño en esta etapa del desarrollo, cuando el circuito tálamo-cortical aún no termina de madurar. Estas oscilaciones pueden ocurrir en cualquier fase del ciclo de sueño-vigilia, pero conforme el cerebro madura se restringen al periodo de sueño y se pueden desencadenar por los estímulos sensoriales de una manera similar a lo que vemos con los husos de sueño en personas adultas. Lo anterior sugiere que estas oscilaciones se iniciarían en los mismos circuitos que generan los husos y serían las precursoras de los husos de sueño en el cerebro maduro.

También en roedores se han estudiado estas oscilaciones antecesoras y se ha visto que están relacionadas con activaciones musculares repentinas —llamadas mioclonías—, así como con la estimulación táctil. Por ello, se piensa que estas activaciones pueden proporcionar información sensorial, lo que forma un mapa de la representación del cuerpo tanto en la corteza cerebral que codifica los estímulos táctiles como en la zona que participa en el control de los movimientos.

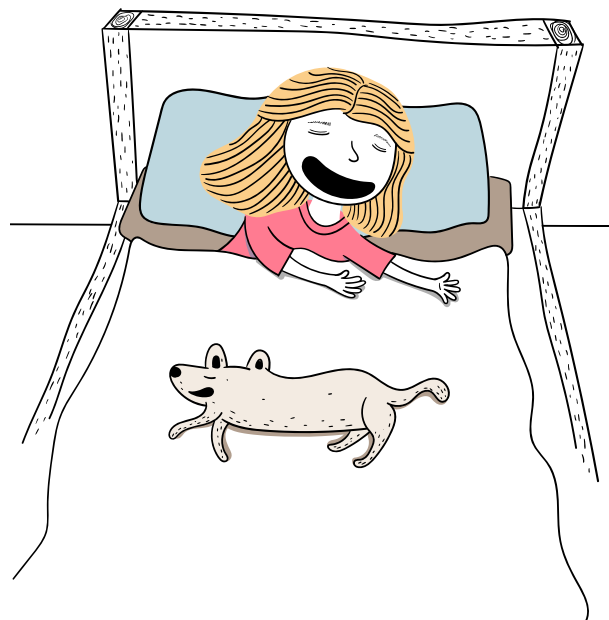
■ Los husos de sueño y la memoria

■ De manera significativa, se ha encontrado una relación positiva entre la ejecución de diferentes tareas de memoria y el número de husos de sueño. La memoria se puede clasificar en dos grandes grupos: no es lo mismo estudiar y recordar las capitales del mundo que aprender a andar en bicicleta; se ocupan diferentes sistemas cerebrales para aprender y memorizar estos dos tipos de actividades. A la memoria del primer grupo se le conoce como declarativa o explícita y la del segundo grupo es la memoria de procedimiento o implícita.

En la mayoría de las investigaciones en humanos se ha explorado la relación que hay entre los husos de sueño y la memoria de procedimiento. Con el diseño de tareas motoras que se pueden llevar a cabo y medir en un ambiente de laboratorio, los

participantes practican, por ejemplo, cómo oprimir botones en secuencias específicas usando diferentes dedos de una mano, que por lo general es la no dominante (mano izquierda si son personas diestras). Después del entrenamiento en este tipo de tareas con secuencias motoras se ha encontrado que, al día siguiente, los participantes que mejor realizan la tarea son aquellos que presentaron, en la noche anterior, una mayor duración de los husos de sueño y un mayor número de éstos. En repetidas ocasiones se ha reportado este resultado, sobre todo para los husos de sueño rápidos.

Esto mismo se ha investigado con dos grupos de participantes: después del entrenamiento en la tarea motora, a unas personas se les permite dormir una siesta durante el día, mientras que el segundo grupo, en vez de dormir, lleva a cabo otras actividades, como llenar formularios. El resultado muestra una mejoría de la habilidad motora en el grupo que durmió. Lo interesante de estos estudios es que permiten comparar entre las regiones de la corteza cerebral que controlan el movimiento de los dedos de la mano que se usó y la región de la corteza que controla el movimiento de la otra mano. Al hacer esta comparación se encuentra que la densidad de husos de sueño (número de husos por minuto) se relaciona directamente con la ejecución de la tarea



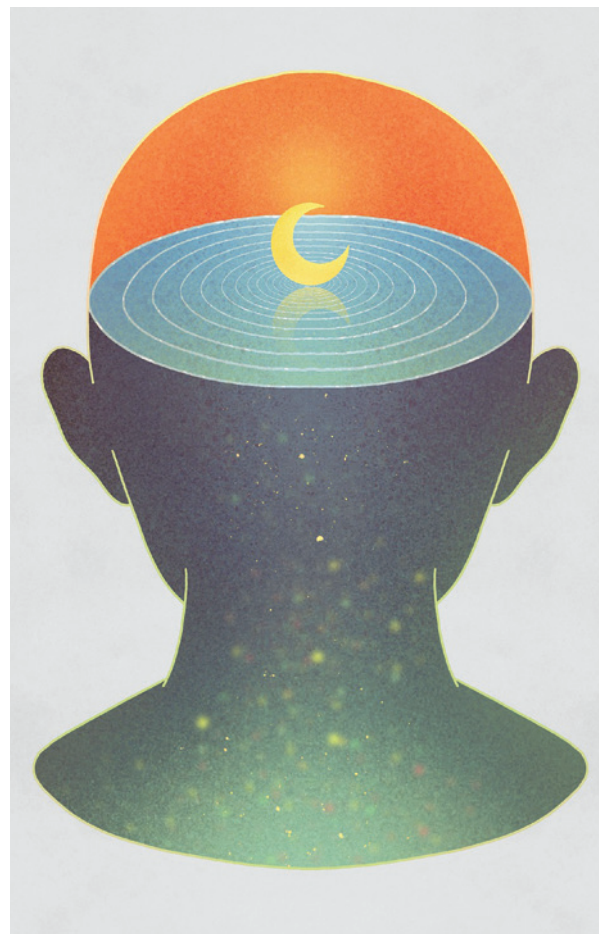
motora. Asimismo, la duración de la fase 2 de sueño, que tiene la mayor cantidad de husos, también se relaciona con la ejecución: después de entrenar una tarea motora, si se reduce en el experimento la cantidad de fase 2 de sueño, se presenta un mayor número de errores al día siguiente.

Aunque el sueño MOR se ha vinculado en mayor medida con la consolidación de la memoria episódica, algunos estudios sugieren que los husos de sueño también participan en la consolidación de esta información. Por ejemplo, se ha encontrado que la retención de la memoria verbal está relacionada con la cantidad de husos de sueño en las regiones frontales y centrales del hemisferio izquierdo, asociado al lenguaje. De igual manera, la retención de información visuoespacial después de 24 horas correlaciona con el número total de husos que se detectan sobre la región parietal (arriba de la nuca), la cual está relacionada con el procesamiento espacial.

¿Cómo participan los husos de sueño en la memoria y el aprendizaje?

A la fecha se siguen explorando los mecanismos neurofisiológicos que subyacen a la consolidación de la información a largo plazo durante el sueño. Parte de la evidencia corresponde al papel protector del sueño, que permite pasar por las diferentes fases y beneficiarse de los efectos que éstas tienen en la restauración del organismo y en la memoria, en específico. Sin embargo, en estudios recientes se ha revelado un mecanismo de comunicación con otras regiones cerebrales que parece participar de manera directa en la reorganización y consolidación de la información.

Los husos de sueño no aparecen aislados, sino embebidos en un ambiente de otras actividades neuronales. Durante el sueño, la corteza cerebral genera ondas lentas (menores de 1 Hz) que son el reflejo de las activaciones y desactivaciones sucesivas de extensas poblaciones de neuronas. Por otra parte, el hipocampo (estructura fundamental en la memoria) genera una actividad muy rápida (entre 80 y 140 Hz) posterior a una onda aguda, elemento conocido en inglés como *sharp-wave ripple*. Se ha visto que



los husos de sueño generados por el tálamo, las ondas menores de 1 Hz de la corteza cerebral y las *sharp-wave ripples* del hipocampo se sincronizan —es decir, coinciden en el tiempo— y esto sirve de sustento para la transferencia de información de un compartimento de corto plazo, como sería el hipocampo, a un compartimento a largo plazo, como sería la corteza cerebral (véase la Figura 2).

Se ha propuesto que estas estructuras cerebrales establecen un diálogo entre ellas por la sincronización de los disparos neuronales que favorecen la transferencia de información. Por una parte, se ha observado que la información aprendida en el día se repite mientras dormimos, y se sugiere que se está reactivando la misma secuencia de patrones de actividad cerebral para preparar los sitios de la corteza cerebral donde se modelarán las conexiones ya existentes, que representan experiencias y conocimiento pasado, con el fin de establecer nuevos

circuitos de conexiones que permitan la integración y estabilización del conocimiento nuevo. Es precisamente en este diálogo entre estructuras que los husos de sueño transfieren la información con una alta precisión temporal entre las actividades generadas en otras regiones cerebrales. Asimismo, se ha visto que la sincronización de estas actividades se intensifica después del aprendizaje declarativo.

■ **Actividad de los husos de sueño en estructuras profundas del cerebro**

■ En nuestro grupo de investigación trabajamos con pacientes que tienen epilepsia resistente al tratamiento farmacológico y que han sido implantados con electrodos profundos para medir las crisis epilépticas y ofrecer una alternativa de tratamiento quirúrgico. En los registros del hemisferio libre del foco epiléptico y sin actividad relacionada con la epilepsia, encontramos que la actividad de las neuronas del hipocampo y la corteza cerebral se sincronizan en la banda de frecuencia correspondiente a los husos de sueño (banda sigma) en el sueño no-MOR, lo cual sugiere una estrecha comunicación entre estas estructuras cerebrales. Esto apoya la propuesta de la transferencia de información probablemente de corto a largo plazo. Actualmente estamos explorando la contribución de regiones que participan en la codificación de información emocional, como la amígdala, ya que sabemos que la información emocional es susceptible de ser memorizada con mayor facilidad. Queda por esclarecer si los husos de sueño desempeñan una función particular en la consolidación de las memorias emocionales.

Los husos de sueño son elementos dinámicos que pueden favorecer la propagación de la información y la comunicación entre regiones cerebrales para contribuir en el control de la entrada sensorial con el objetivo de proteger el sueño de estímulos externos. Los husos de sueño constituyen una mi-

núscula parte de la gran cantidad de procesos que ocurren mientras dormimos. Recientemente se ha identificado que la coordinación con diferentes actividades cerebrales también es central para la consolidación de la memoria. En la medida en que la investigación siga avanzando, nos conducirá a una visión más integral de los eventos que emergen y a un mejor entendimiento de la organización funcional del cerebro para resolver el enigma de las funciones del sueño.

Zeidy Muñoz Torres

Facultad de Psicología, Grupo Dinámica Neural, Centro de Ciencias de la Complejidad (C3), Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

zeidy.munoz@c3.unam.mx

Este artículo tuvo el apoyo del proyecto Conacyt 263377.

Lecturas recomendadas

- Corsi-Cabrera, M. (1983), *Psicofisiología del sueño*, México, Trillas.
- Diekelman, S. y J. Born (2010), "The memory function of sleep", *Nature Reviews Neuroscience*, 11(2):114-126.
- Fernández, L. M. y Lüthi, A. (2020), "Sleep spindles: mechanisms and functions", *Physiological Reviews*, 100:805-868.
- Jouvet, M. (1998), *El sueño y los sueños*, México, FCE.
- "Master of Rhythms: Mircea Steriade", (2006), *Sleep*, 29(6):749. Disponible en: <doi.org/10.1093/sleep/29.6.749>, consultado el 21 de marzo de 2023.
- Muñoz-Torres, Z. y C. J. Montes-Rodríguez (2020), "Amygdala Oscillations and Plasticity during Sleep", en I. Ramírez-Salgado *et al.* (comps.), *Sleep, Cognition and Emotion: from Molecules to Social Ecology*, Hauppauge, Nova Medicine & Health, pp. 69-97.
- Walker, M. (2020), *¿Por qué dormimos?*, México, Ediciones Culturales Paidós.

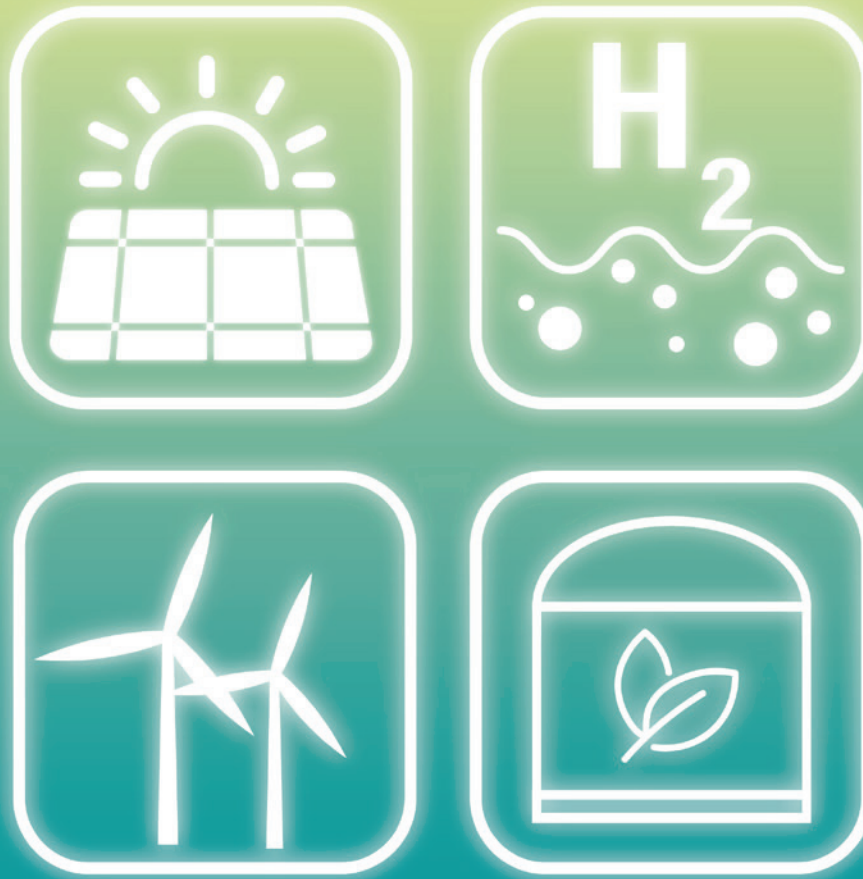
Nuevos materiales para la generación, almacenamiento y ahorro de energía

La Universidad Autónoma Metropolitana (UAM) investiga de manera activa la generación e implementación de tecnologías para una sociedad más sostenible, mediante la innovación en materiales y procesos que devienen en ahorros y avances para la generación o el almacenamiento de energía. Cinco personas del profesorado de la UAM nos comparten los detalles de sus investigaciones punteras a nivel nacional.

Materiales catalíticos sustentables para la producción de biocombustibles

La humanidad debe proveerse de alguna fuente de energía para crear sus propios satisfactores. En un principio, la leña y el carbón eran recursos de energía esenciales para cocinar o tratar metales. Después, los aceites de origen animal –en especial el proveniente de las ballenas– fueron los más demandados como combustibles; esto propició el crecimiento de prominentes industrias pesqueras que comercializaron este recurso, sobre todo durante los siglos XVI al XIX. Posiblemente, la explotación del petróleo a mediados del siglo XIX evitó la extinción de estos cetáceos. Así, este hidrocarburo se mantiene no sólo como una principal fuente de energía, sino también como materia prima para fabricar aceites lubricantes, telas sintéticas, pinturas, impermeabilizantes, detergentes, ceras, asfalto y –por supuesto– combustibles como gasolinas, diésel, turbosina (combustible para avión) y gas licuado de petróleo (gas LP).

Dichos combustibles constituyen más de la mitad de los productos provenientes del petróleo, por lo que, hasta nuestros días, y según las proyecciones, en los próximos 30 a 50 años, nuestra sociedad seguirá siendo energéticamente dependiente de los combustibles fósiles. Ésta no es una buena noticia, ya que su uso excesivo ha propiciado la presencia de gases en la atmósfera, tales como monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x) y dióxido de azufre (SO₂), que provocan problemas ambientales, como la lluvia ácida o el aumento de la temperatura de la Tierra. De hecho, si no transitamos hacia fuentes menos contaminantes, el incremento será de casi 5 °C en los próximos 50 años, por lo que



es necesario buscar nuevas fuentes de energía menos contaminantes, como la solar, eólica, geotérmica, mareomotriz y la energía a partir de la biomasa.

En pocas palabras, podemos decir que la biomasa es toda aquella materia derivada de los seres vivos: residuos orgánicos, vegetales y animales, por lo que se considera una fuente renovable, pues es prácticamente inagotable. En el caso de la biomasa de origen vegetal, es preciso entender que durante su crecimiento utiliza CO₂ y, mediante una serie de reacciones en las que interviene la energía solar, se libera oxígeno por medio de la fotosíntesis; en principio, la misma cantidad de CO₂ empleada se estaría liberando en la combustión de la biomasa. Esto tiene muchos beneficios ambientales, además de económicos, pues el empleo de la biomasa como precursor de energía podría generar nuevas fuentes de trabajo debido a los procesos de obtención, recolección y producción.

Los combustibles provenientes de la biomasa pueden ser líquidos (biodiésel, bioturbosina, bioga-

solina y diésel verde) o gaseosos (biometano –biogás– y biohidrógeno). A su vez, dependiendo del origen de la biomasa, se pueden clasificar en:

- *Primera generación:* biomasa comestible; por ejemplo, maíz o trigo.
- *Segunda generación:* en esta generación, se emplearon residuos sólidos agrícolas y material leñoso, debido a que en muchos países la biomasa de la primera generación forma parte de la base principal de la alimentación.
- *Tercera generación:* biomasa proveniente de microorganismos oleaginosos, tales como microalgas, bacterias, levaduras y hongos, los cuales para crecer son capaces de utilizar el doble de CO₂ que lo que se produce en su combustión.
- *Cuarta generación:* biomasa proveniente de microorganismos modificados para producir más aceite, como microalgas o cianobacterias, llamadas también algas verdeazules, las cuales también tienen una alta proporción de aceites.

De esta manera, la biomasa se ha convertido en un precursor de hidrocarburos casi semejantes a los encontrados en la refinación del petróleo, pero con un nulo contenido de precursores de contaminantes como el azufre o el nitrógeno. Tal vez en un futuro se diseñarán biorrefinerías que no sólo produzcan biocombustibles, sino también bioplásticos o materia prima para compuestos de mayor valor agregado; incluso las refinerías ya instaladas podrían transitar al procesamiento de esta materia orgánica. Evidentemente, el proceso no es sencillo debido al alto contenido de oxígeno en las moléculas orgánicas de la biomasa, por lo que ocurren múltiples reacciones donde se remueve el oxígeno, por hidroxigenación, en las que interviene un material que ayuda a acelerar y modifica el tipo de productos obtenidos, es decir, un catalizador. En este sentido, los catalizadores empleados deben ser capaces de romper las moléculas contenidas en la biomasa y reorganizarlas hasta obtener hidrocarburos del orden de las gasolinas o del diésel.

En la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), estamos estudiando materiales sólidos abundantes en la naturaleza y que desde los inicios de las refinerías fueron utilizados como soportes o catalizadores para romper grandes moléculas; nos referimos a las arcillas (véase la Figura 1). Modificamos este tipo de material para potenciar sus propiedades catalíticas al incorporar otros metales, los cuales, en nuestro la-

boratorio, han propiciado la transformación de la biomasa a compuestos del orden de la bioturbosina, por lo que esperamos sentar las bases para una transformación de la biomasa a partir de material sustentable.

■ Nuevos materiales para reducir el consumo de energía eléctrica

■ Cuando en 1879 Thomas Alva Edison creó la bombilla eléctrica, no se imaginó que sería el precursor de un nuevo estilo de vida; por primera vez en la historia, los seres humanos tendrían la posibilidad de disponer de luz en medio de la oscuridad, pero sin necesidad de combustibles. Esto permitió tener luz durante la noche o en lugares confinados, por tiempos muy prolongados y sin correr el riesgo de un accidente por incendio, lo que potenció la iluminación de ciudades y la comercialización de la luz eléctrica. En ese entonces, hablar de eficiencia de conversión habría sido ilusorio, pero era de sólo 5% y la máxima eficacia luminosa obtenida era de 18 lúmenes por cada watt, pues la mayor parte (98%) de la radiación emitida era en forma de calor y no lumínica. No fue sino hasta 1938 que se comercializó la lámpara fluorescente como sustituto de la bombilla incandescente, con una eficiencia de 20% y una eficacia luminosa de 60 lúmenes por watt, pero con la desventaja de que contenía componentes tóxicos, como el gas de mercurio o xenón.

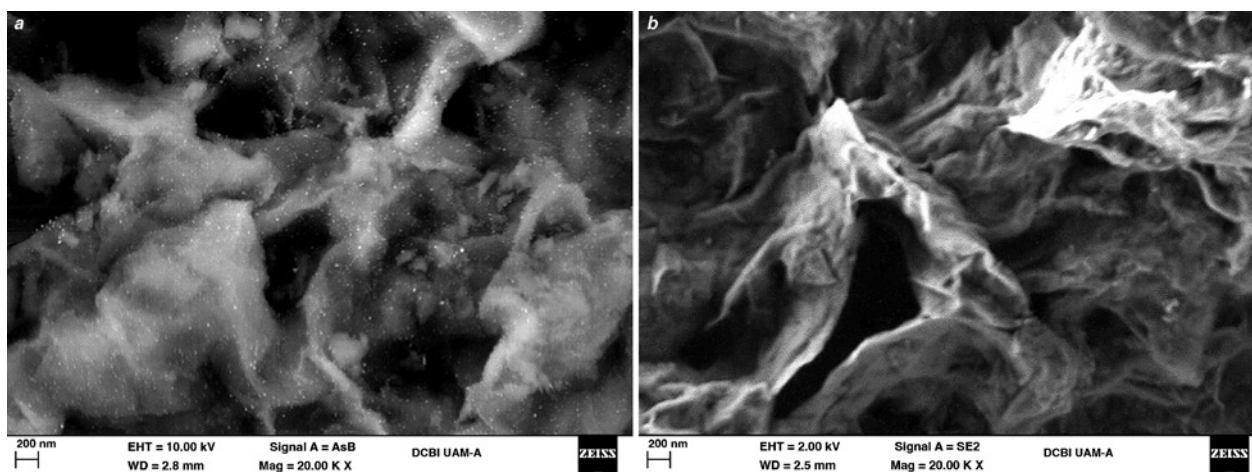


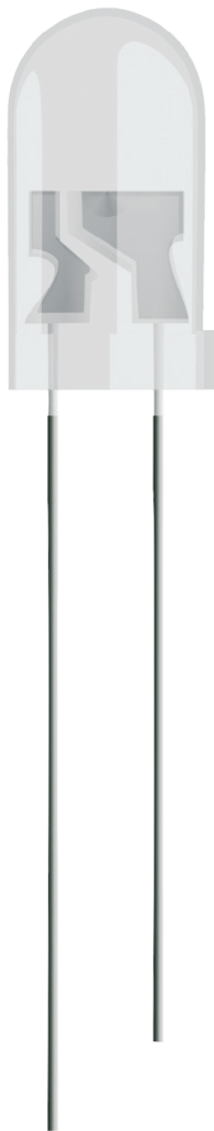
Figura 1. Microscopía electrónica de transmisión y barrido (STEM, por sus siglas en inglés): a) una arcilla modificada con óxido de circonio; b) un catalizador de paladio sobre una arcilla modificada con óxido de circonio. Crédito: Laboratorio de Microscopía Electrónica (STEM) en la UAM Azcapotzalco, Deyanira Ángeles Beltrán (responsable del laboratorio) y Emigdio Gregorio Zamora Rodea (doctorante del Posgrado de Ingeniería de Procesos).

Por fortuna, de manera paralela, se estudiaba una nueva fuente de iluminación: los diodos emisores de luz (LED, por sus siglas en inglés), y para 1960 ya se habían desarrollado adecuadamente para producir luz roja y verde, pero aún se buscaba que emitieran luz azul. El LED azul fue descubierto en 1993 por Isamu Akasaki, Hiroshi Amano y Shuji Nakamura, lo que abrió la posibilidad de generar luz blanca por medio de los LED (WLED, por sus siglas en inglés), con una eficiencia de conversión de 50% y una eficacia de hasta 100 lúmenes por watt. Con este descubrimiento surge la generación de luz blanca en estado sólido basada en los LED de luz azul o ultravioleta, recubiertos de fósforos, para proporcionar iluminación blanca con alta eficiencia, de hasta 300 lúmenes por watt, además de tener menor volumen, durar más y contaminar menos.

Para crear la luz blanca o blanca cálida, que nos recuerda a la luz del fuego o una vela, hay dos formas. La primera es a partir de la mezcla de la luz de tres chips: un chip azul, otro verde y otro rojo (los LED tricolores), caracterizados por tener en el mismo encapsulado el equivalente a tres LED diferentes, cada uno de un color distinto, que entre todos forma un único dispositivo, pero con la desventaja de tener tiempos de vida diferentes, por lo que hay aberraciones de color al degradarse. La segunda manera de obtener luz blanca constituye un hito en la tecnología de iluminación, pues por primera vez permitió modelar —mediante el diseño de nuevos materiales— la tonalidad de la emisión blanca entre más azules o más cálidas. La técnica de iluminación por estado sólido consiste en la combinación de un chip azul o ultravioleta recubierto de materiales luminiscentes o fósforos, los cuales emiten en los colores rojo, verde, azul o amarillo, de manera combinada en un solo material, según los requerimientos de iluminación blanca. Este método permite obtener luz blanca fría o cálida de una temperatura de color específi-

ca y también modular la excitación de los fósforos en la búsqueda de nuevas formas de ahorro energético.

Diversos investigadores de la UAM trabajan arduamente para encontrar nuevos fósforos luminiscentes capaces de crear tonalidades diferentes a las blancas. Últimamente, y gracias a la interdisciplinariedad entre áreas, que permite el formato de investigación de esta universidad, se está comenzando a trabajar en fósforos que emitan en frecuencias de infrarrojo, para la generación de amplificadores de señal en telecomunicaciones. Esto demuestra la relevante relación entre el diseño de materiales y la construcción de tecnologías que favorezcan la reducción del consumo energético en el planeta.



■ Producción de hidrógeno a partir de agua contaminada

■ El hidrógeno tiene un gran **poder calorífico**, casi tres veces superior a los hidrocarburos (gas natural, gasolina, etc.) (Linares y Moratilla, 2007). Es una molécula de gran interés debido a que su combustión sólo produce agua, por lo que se considera una fuente de energía renovable de combustión limpia. Debido a esto, la industria automotriz está interesada en construir vehículos automotores de combustión interna que utilicen hidrógeno en lugar de gasolina o diésel.

Por otra parte, la reacción de combustión del hidrógeno puede ser reversible; es decir, es posible obtener hidrógeno a partir de agua, si se tiene la energía suficiente para romper su enlace químico. A pesar de que el agua es la molécula más abundante en la Tierra, de las casi dos terceras partes de superficie que cubre, aproximadamente sólo 4% es agua dulce y una parte de eso es lo que ocupamos para las actividades humanas. Lo malo es que después de usarla en las industrias, hogares, empresas, cultivos, entre otros, se convierte en agua residual contaminada, lo que genera un grave problema ambiental.

◀ Poder calorífico

Cantidad de energía por unidad de masa que se puede desprender al producirse una reacción química de oxidación.

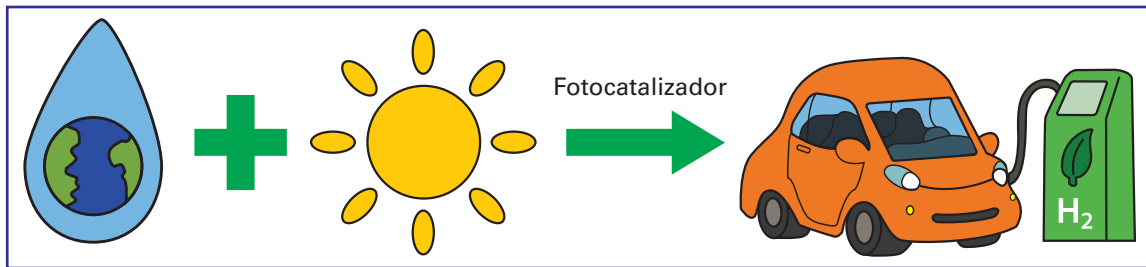


Figura 2. Reacción química para la producción de hidrógeno. Los reactivos son agua y luz solar. Crédito: Diego de la Vega.

Fotocatalizador

Sustancia que absorbe luz para producir cargas (electrones y huecos) que interactúan con los reactivos en una reacción.

No obstante, con ayuda de un **fotocatalizador** (véase la Figura 2) y la luz solar (que proporciona la energía), es posible descomponer las moléculas de agua en hidrógeno y oxígeno; más aún: si utilizamos el agua residual, podemos degradar los contaminantes presentes en el agua. De esta manera, se atienden dos problemas ambientales importantes: la producción de un combustible renovable limpio (moléculas de hidrógeno) y la descontaminación del agua residual. Esto también ayuda a disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero y producir energía asequible y no contaminante, conforme al séptimo Objetivo de Desarrollo Sostenible de la agenda 2030 de Naciones Unidas.

El fotocatalizador más estudiado para este tipo de reacción es el platino sobre dióxido de titanio (Pt/TiO₂); sin embargo, su producción encarece el proceso, y lo mismo pasa con todos los fotocatalizadores que son sintetizados a partir de metales nobles, los cuales son de un precio elevado. Además, solamente absorben luz ultravioleta (menos de 6% de la luz solar que incide en la Tierra). Con el propósito de disminuir los costos y hacer el proceso rentable, la propuesta de nuestro grupo de investigación es utilizar residuos o materiales naturales, como la arena negra (una mezcla de óxidos de hierro), las escorias metalúrgicas (Morales y cols., 2021), entre otros, que además absorban en un mayor rango de ener-



gía (ultravioleta y visible) para aprovechar más la luz solar.

■ Materiales para baterías de iones de litio en la transición energética

Durante las últimas décadas, la generación de energía renovable –tanto eólica como solar– ha atraído la atención de la sociedad y la comunidad científica; el almacenamiento de energía, por otro lado, ha tenido un papel secundario no asociado como una parte fundamental en el futuro sostenible. Solamente en los últimos años, con el interés generalizado en los autos eléctricos, y en especial en México con el descubrimiento de los yacimientos de litio, el desarrollo de tecnología para el almacenamiento de energía ha crecido y se ha vuelto un tema recurrente (Tapia y cols., 2020).

Los sistemas de almacenamiento de energía son fundamentales en la transición energética debido a que la generación de energía renovable tiene desventajas intrínsecas: la generación no es continua y, por lo tanto, sólo se puede suministrar energía de manera intermitente; de esta forma, es necesaria la adición de un sistema que pueda acoplar la generación y el consumo. Hay muchos sistemas de almacenamiento de energía, con diferentes métodos de transformación; entre éstos, los sistemas de iones de litio (ion-Li) representan una de las grandes oportunidades de desarrollo.

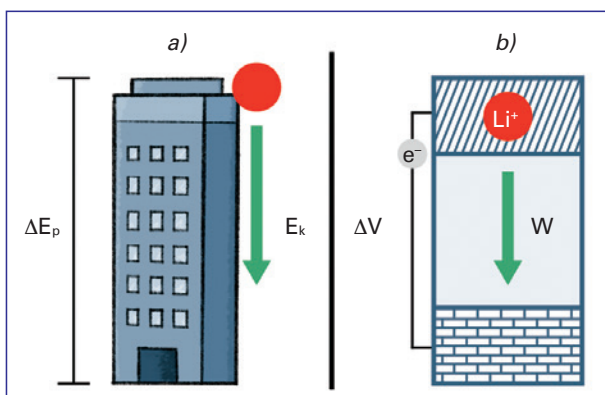


Figura 3. Representación esquemática del proceso de almacenamiento de energía: a) sistema de aprovechamiento de energía potencial; b) batería de iones de litio. [ΔE_p : diferencia de energía potencial; ΔV : diferencia de voltaje; E_k : energía cinética; W : trabajo.] Crédito: Diego de la Vega.

Las baterías de iones de litio son el sistema más avanzado de almacenamiento de energía a pequeña escala. Están formadas por múltiples celdas donde se transforma la energía eléctrica en química, y viceversa. En cada una de estas celdas, compuestas por dos **electrodos** y un **electrolito**, los iones de litio interactúan reversiblemente con los materiales de los electrodos para promover reacciones electroquímicas en los elementos que los componen. Para entender esto de una manera práctica, podemos imaginar que el ion es una pelotita que está en lo alto de un edificio y, como resultado de la gravedad, la pelotita tiene una energía potencial; si se deja caer, esta energía potencial se transforma en energía cinética utilizable. Después, para poder almacenar energía se necesitarían subir más pelotitas a la altura inicial (véase la Figura 3a). En la batería, el ion de litio se encuentra en un electrodo con un alto potencial eléctrico (símil de la energía potencial) y el movimiento del ion a través del electrolito hacia el electrodo de menor potencial transforma la energía química en energía eléctrica (véase la Figura 3b). Para poder generar energía, se aplica una diferencia de potencial mayor para que ahora el ion se mueva en la dirección opuesta.

El reto del almacenamiento de energía a gran escala es enorme, considerando que el promedio de consumo energético mundial nocturno per cápita es de 15.9 kWh (Dale, 2021); las baterías actuales almacenan alrededor de 300 Wh/kg, por lo que para iluminar por la noche una ciudad con un millón de habitantes las baterías deberían ser de 53 000 toneladas. El problema no es sólo la cantidad, sino la naturaleza de los materiales: litio, cobalto, polímeros y aditivos que requieren ser extraídos y procesados. Para almacenar más energía, se debe lograr que el compuesto pueda intercalar más iones de litio, que el proceso dure la mayor cantidad de ciclos sin afectar la estructura química y que los iones puedan viajar a alta velocidad.

Darles estas características a los materiales no es una tarea fácil y requiere esfuerzos multidisciplinarios en el diseño de estructuras y el desarrollo de métodos alternativos para controlar la porosidad de los electrodos. Además, se busca poder escalar

◀ Electrodo

Parte de una celda electroquímica donde se llevan a cabo las reacciones de transferencia de carga; usualmente es conductor electrónico.

Electrolito

Disolución que contiene sales y que es capaz de transportar la carga eléctrica mediante el transporte de iones; puede ser sólido, aunque usualmente se encuentra en estado líquido.^a

estos procesos para producir baterías seguras y eficientes, sin dejar de lado otras características que serán mucho más críticas en el futuro, como la posibilidad de usarlas en procesos de economía circular (Kim y cols., 2019). Para ello, las baterías del futuro deben estar compuestas de otros tipos de materiales más accesibles y abundantes, como sodio o azufre; además, probablemente se requieran otros procesos químicos disruptivos que permitan almacenar más energía.

El papel de la ingeniería de reactores en la transición energética de México

El cambio climático es uno de los mayores desafíos que enfrentamos en el mundo; su impacto en la contaminación ambiental, la disponibilidad del agua y los eventos climáticos extremos es cada vez más evidente. Para hacer frente a este problema, desde hace varios años se ha adoptado un modelo de sostenibilidad, el cual se enfoca en equilibrar el desarrollo económico, social y ambiental para satisfacer las necesidades actuales, sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades.

Debido al impacto del cambio climático en México, está en proceso la adaptación a un modelo sostenible mediante la transición energética. Desde la presentación en 2012 de la Ley de la Transición Energética, el objetivo ha sido promover el uso de energías renovables, aumentar la eficiencia energética, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero e incorporar tecnologías bajo una concepción de economía circular. La implementación efectiva de esta legislación demanda un cambio fundamental en la forma en que se produce, almacena y consume energía, con el fin de reducir la dependencia de los combustibles fósiles y avanzar hacia la sostenibilidad.

En términos del proceso de transición energética, es necesario tener un enfoque integral que involucre a diferentes agentes y niveles de gobierno, así como a la sociedad civil, el sector privado y la academia. Desde el ámbito de la investigación científica, actualmente se trabaja en el diseño de tecnología para generar o almacenar energía renovable, eficientizar energéticamente las tecnologías convencionales, o

bien reducir la contaminación que generan estas tecnologías, todo con el objetivo de minimizar el impacto del cambio climático en México.

La ingeniería de reactores es una rama de la ingeniería química que integra la termodinámica, la física, la química, la biología y las matemáticas para diseñar y optimizar tecnologías que estén en sintonía con los objetivos de la transición energética. En particular, la ingeniería de reactores es la disciplina encargada de diseñar sistemas de generación de energía a partir de fuentes renovables, como la energía solar, eólica, hidráulica, geotérmica y biomasa, entre otras. También se enfoca en el desarrollo de tecnologías para almacenamiento y distribución de energía, así como en la mejora de la eficiencia energética, la minimización de la contaminación y el uso óptimo de los recursos en los procesos productivos actuales relacionados con diferentes industrias, como la farmacéutica, petroquímica, de alimentos, entre otras (véase la Figura 4).



Figura 4. La academia (representada como átomo) desempeña un papel crucial en la transición energética global. Es importante destacar que la colaboración entre la academia, el gobierno, la sociedad civil y el sector privado es indispensable para alcanzar los objetivos de desarrollo sostenible. Crédito: Diego de la Vega.

La UAM cuenta con el Laboratorio de Ingeniería de Reactores Catalíticos, que utiliza un **enfoque multiescala** para diseñar diversos tipos de tecnologías a partir de investigaciones de ciencia de frontera en varios temas de interés para la transición energética, como la producción de biocombustibles a partir de aceites usados de cocina, la generación de **vectores energéticos** a partir de dióxido de carbono, y el uso de la energía solar para el tratamiento de contaminantes en el agua. También se enfoca en la producción de metabolitos de interés para la industria de alimentos mediante microorganismos que se nutren de residuos agroindustriales, así como en la producción de compuestos de interés para la industria petroquímica con tecnologías más eficientes energéticamente y menos contaminantes. Aunado a lo anterior, actualmente se están investigando las baterías para almacenamiento de energía, las cuales son cruciales para el uso de energías renovables en aplicaciones móviles, en la red eléctrica y en la industria automotriz. En resumen, los proyectos de este laboratorio han generado conocimiento de frontera y han contribuido a proponer diseños tecnológicos para construir un futuro sostenible.

José Antonio Colín Luna

UAM Azcapotzalco.
jacl@azc.uam.mx

Yolotzin Medina Velázquez

UAM Azcapotzalco.
dyolotzin@azc.uam.mx

Ariadna Alicia Morales Pérez

UAM Iztapalapa.
amoralesp@xanum.uam.mx

Guadalupe Ramos Sánchez

UAM Iztapalapa.
gramos@xanum.uam.mx

Carlos Omar Castillo Araiza

UAM Iztapalapa.
coca@xanum.uam.mx

Mario A. de Leo Winkler

UAM Rectoría General.
madeleowinkler@correo.uam.mx

Enfoque multiescala

Transferir información de la escala molecular a la escala industrial.

Vector energético

Compuesto que almacena energía que posteriormente será liberada.

Lecturas recomendadas

Dale, S. (2021), *BP statistical review of world energy*, Londres, BP Plc.

Kim, T. *et al.* (2019), "Lithium-ion batteries: outlook on present, future, and hybridized technologies", *Journal of Materials Chemistry A*, 7(7):2942-2964.

Linares I. y B. Moratilla (2007), *El hidrógeno y la energía*, Madrid, Asociación Nacional de Ingenieros ICAI.

Morales-Pérez, A., R. García-Pérez, C. Tabla-Vázquez y R. Ramírez-Zamora (2021), "Simultaneous Hydrogen Production and Acetic Acid Degradation by Heterogeneous Photocatalysis using a Metallurgical Waste as Catalyst", *Topics in Catalysis*, 64:17-25.

Tapia, C., M. Á. Oliver-Tolentino, I. González y G. Ramos-Sánchez (2020), "Nobel Prize in Chemistry 2019: Ion-Li batteries", *Educación Química*, 31(1): 12-22.

José Antonio Colín Luna escribió la sección "Materiales catalíticos sustentables para la producción de biocombustibles"; Yolotzin Medina Velázquez, "Nuevos materiales para reducir el consumo de energía eléctrica"; Ariadna Morales Pérez participó con "Producción de hidrógeno a partir de agua contaminada"; Guadalupe Ramos Sánchez, "Materiales para baterías de iones de litio en la transición energética"; y Carlos Castillo Araiza contribuyó con la sección "El papel de la ingeniería de reactores en la transición energética de México". José Antonio Colín Luna y Mario A. de Leo Winkler coordinaron el artículo.

Luis Eduardo Ramírez Sirgo y Verónica Mireya Moreno Rodríguez

Sextorsión: una nueva modalidad de corrupción

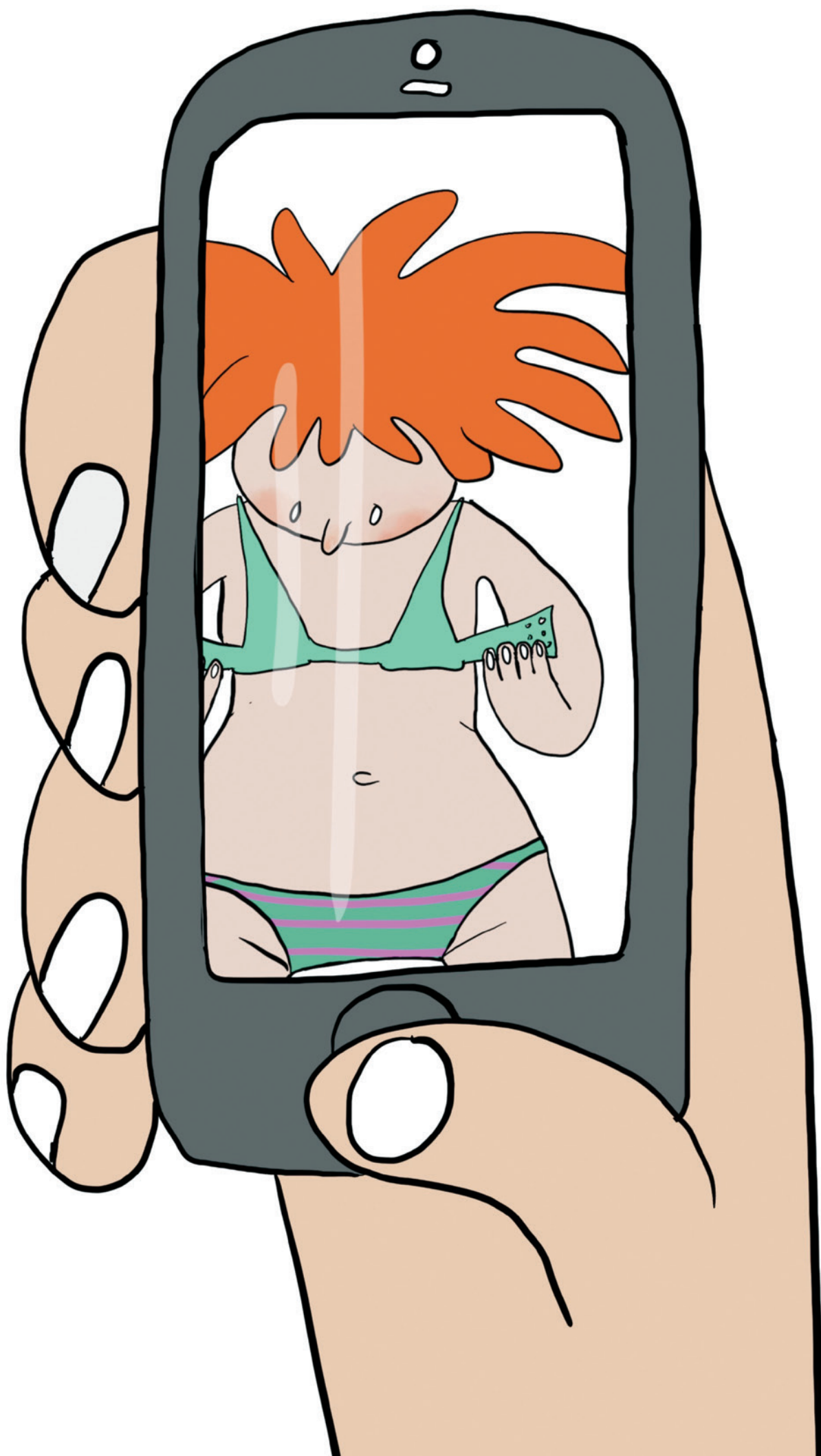
La sextorsión actualmente se relaciona con la difusión indebida de imágenes y videos de índole sexual en perjuicio de una persona. Sin embargo, este artículo tiene como objetivo exponer, a partir de un análisis conceptual, una modalidad diferente de la sextorsión desde la perspectiva de la corrupción, para ofrecer una caracterización más amplia del fenómeno y visibilizar cómo afecta a las víctimas.

Introducción

El Barómetro Global de Corrupción para Latinoamérica y el Caribe en 2019 (Transparency International, 2019) señala que este fenómeno obstaculiza el crecimiento económico y la prestación de servicios públicos, y, en algunos casos, priva a las personas de sus derechos humanos y su dignidad. El estudio realizado entre enero y marzo de 2019 incluyó a más de 170 000 ciudadanos en 18 países de la región. Los resultados mostraron que la corrupción afecta en mayor medida a las personas vulnerables; en este sentido, se observó que las mujeres son más propensas a pagar sobornos para obtener servicios básicos que se proporcionan en el sector público.

Los hallazgos también revelaron que una de cada cinco personas ha experimentado o conoce a alguien que ha sufrido una extorsión sexual (de aquí en adelante llamada sextorsión) para lograr el acceso a servicios proporcionados por el gobierno. Sobresale que, por primera vez, la información obtenida por el Barómetro hace énfasis en la sextorsión como una de las formas más significativas de corrupción en temas de género. Los países de la región con un mayor porcentaje de incidencia de casos de sextorsión son Barbados (30%), Bahamas (24%), Guatemala (23%) y Guyana (22%), mientras que México ocupa el quinto lugar (20%), junto con Brasil y Perú.

Un dato destacado es que más de 72% de las personas encuestadas considera que la sextorsión sucede al menos ocasionalmente, y el restante 8% cree que nunca ocurre. Esto deja de manifiesto que la corrupción puede sufrirse de manera distinta por hombres y mujeres, lo que incide en la afectación que pueden generar



estas prácticas. En muchos aspectos, las mujeres son sujetas a las mismas formas de corrupción que los hombres; sin embargo, los efectos negativos se exacerban por cuestiones de relaciones de poder, discriminación y vulnerabilidad (SIDA, 2015).

Por lo general, asociamos a la corrupción con prácticas que ocurren cuando los servidores públicos abusan de su poder para obtener beneficios personales, lo que en ocasiones demanda la acción de otras autoridades competentes y la imposición de sanciones penales o administrativas. No obstante, cuando se presenta un nuevo elemento (en este caso, sexual) no siempre se reconoce como un acto de corrupción y, por lo tanto, no se denuncia. Las principales razones de esto son por evitar el estigma social que caracteriza a este tipo de sucesos o por temor a sufrir represalias por parte del servidor público, aunado a la dificultad que implica el demostrar con pruebas el comportamiento indebido, lo que a su vez disminuye las posibilidades de persecución y castigo.

En este sentido, el presente artículo busca exponer el fenómeno de la sextorsión como una nueva modalidad de corrupción. Desde una perspectiva conceptual a partir del análisis de fuentes secundarias (artículos científicos, reportes de investigación de instancias internacionales y notas periodísticas), la información recabada se estructuró en tres dimensiones: 1) el concepto de *corrupción*; 2) la sextorsión en el contexto de la corrupción; y 3) la diferencia entre sextorsión, extorsión y hostigamiento sexual. Desde estas categorías y con base en la revisión de la literatura, se muestra esta variante de la corrupción que a la fecha no se ha visibilizado plenamente.

■ El concepto de *corrupción*

■ El Banco Mundial y Transparencia Internacional coinciden en que la corrupción es el abuso del servicio público encomendado para obtener un beneficio propio. En un sentido más amplio, la corrupción implica la obtención de una utilidad privada propia, o para beneficiar a terceras personas, a partir de violaciones a las normas legales y sociales, dirigidas en detrimento del interés público y en perjuicio del bien colectivo. La corrupción puede manifestarse de

diferentes formas, pero todas coinciden en generar un daño a la sociedad, pues los recursos que originalmente son destinados a la satisfacción de las necesidades básicas se utilizan, en cambio, para obtener beneficios particulares.

La cualidad de la persona corrupta puede identificarse tanto en quien propone como en quien acepta este tipo de prácticas, pues ambas son conscientes de que están haciendo algo ilegal o moralmente incorrecto; no obstante, el beneficio que obtendrán va más allá del temor a ser sorprendidas o sancionadas, impulsado por el hecho de que la posibilidad de recibir un castigo es remota o nula. Por ello, no debe observarse el acto de corrupción únicamente desde el actuar del servidor público, aún y cuando puede considerarse que es el único responsable de que ocurra este fenómeno. El ciudadano o usuario también desempeña un papel importante; es decir, tiene una corresponsabilidad en el sentido de que puede impulsar o instigar al servidor público a cometer una práctica de corrupción al aprovecharse de una necesidad que pudiese tener este último.

■ Definición de *sextorsión*

■ En el contexto del presente artículo, la sextorsión se aborda como una modalidad de corrupción que involucra actos y favores sexuales o de connotación sexual solicitados por servidores públicos como condición para proporcionar un bien o servicio público. La Asociación Internacional de Juezas (IAWJ, por sus siglas en inglés) define que la sextorsión es un “abuso de poder para obtener un beneficio sexual o ventaja. La sextorsión es una forma de corrupción en la que el sexo, en lugar del dinero, es la divisa para el soborno” (IAWJ, 2015: 19).

En este sentido, se identifican tres componentes importantes: 1) una persona a quien se le ha otorgado poder; 2) un abuso de autoridad –que se ejerce a cambio de un favor sexual–; y 3) que se confía en el poder coercitivo de la autoridad para obtener el favor sexual, en lugar de la violencia física o la fuerza (UNODC, 2019). Adicionalmente, se considera que el componente sexual no se limita a las relaciones sexuales, sino también involucra actos de índole se-

xual, como la exposición de partes íntimas o posar para fotos de naturaleza erótica.

De acuerdo con otra definición (Eldén y cols., 2020), la sextorsión es una forma de corrupción y violencia de género que se da cuando una persona con autoridad abusa de su poder para obtener un favor sexual a cambio de un servicio o beneficio, el cual está bajo su decisión otorgar o negar. En este tipo de conducta corrupta, el sexo es la divisa de cambio y se genera un “beneficio” mutuo; es decir, el perpetrador (el servidor público que lleva a cabo el acto de sextorsión) obtiene un favor sexual, y la víctima (el ciudadano o usuario) recibe el servicio público requerido. Entonces, la carga de responsabilidad en este acto recae en el servidor público que abusa de su poder, pero a esto se agrega la vergüenza, el temor y la falta de denuncia por parte de la víctima, lo que la hace ver como “cómplice” e impide que se proceda legalmente contra el perpetrador.

Elementos que configuran la sextorsión

Una definición adicional (Carnegie, 2019) señala que la sextorsión es el abuso de la autoridad o de un puesto de poder para explotar a alguien vulnerable o dependiente de ese poder. En este sentido, se identifican dos componentes: en primer término, el de la corrupción, entendida como la búsqueda de un beneficio personal a cambio del ejercicio del poder otorgado; en segundo lugar, el del abuso sexual, que es la solicitud de intervenir en una actividad sexual no deseada o proporcionar un favor sexual. Conforme a lo anterior, en la sextorsión se pueden identificar ciertos elementos que son comunes en otras formas de corrupción: 1) la interacción de dos personas (quien impulsa el acto y quien lo acepta); 2) la búsqueda de un beneficio personal; 3) la violación de normas legales y morales; y 4) la presencia de un poder otorgado a una de las partes.

La propia sextorsión tiene elementos determinantes (Zahiragic y cols., 2011): 1) la extorsión por sexo u ofrecimientos sexuales como una forma de configurar delitos en diferentes situaciones (lugar de trabajo, entorno educativo u otras circunstancias); 2) la forma de pago es con servicios sexuales, en sustitución del dinero; y 3) se utiliza una posición



jerárquica superior (un jefe, un maestro) o cualquier puesto de poder en el servicio público para solicitar actividades sexuales por parte de un subordinado (un empleado, un estudiante). La sextorsión no representa un aspecto individual de violación o conducta violenta, pero es una forma de soborno, en la que se utilizan servicios sexuales como medio de pago en lugar del dinero.

Ahora bien, se considera que el tercer elemento mencionado arriba deja de lado una situación particular en la que puede estar la víctima, pues se limita a establecer que la sextorsión ocurre en una relación de subordinación (jefe-empleado, maestro-estudiante), pero estos casos también pueden ocurrir aun cuando no exista una subordinación; es decir, puede tratarse de un usuario del servicio público o cualquier ciudadano que no tiene ese tipo de relación con el perpetrador, por lo que no se cumpliría el supuesto de enmarcar una relación jerárquica como determinante de la sextorsión. Entonces, se podría concebir la sextorsión como aquel acto de corrupción en que una persona, a quien la ley le confiere un poder de decisión, lo usa para obtener un beneficio indebido que se traduce en favores sexuales en perjuicio de otra, quien a su vez obtendrá un beneficio a cambio de ese favor; esto, independientemente de que exista o no una relación de subordinación entre el perpetrador y la víctima.

Por ende, la sextorsión puede implicar una combinación de dos actos de corrupción: el abuso de

funciones y el soborno. En el primero hay un acto u omisión por parte de un funcionario público en el ejercicio de sus funciones, con el fin de obtener un beneficio indebido para sí mismo o para otra persona. El segundo se trata de una solicitud u ofrecimiento de un beneficio indebido a cambio de un provecho para las partes implicadas (UNODC, s. f.).

Para que suceda la sextorsión, el perpetrador debe contar con una característica fundamental: tener cierta autoridad para tomar ventaja de su puesto y obtener un provecho de la víctima, por mencionar algunos ejemplos, a cambio de empleo (aspecto laboral), calificaciones (educación), consultas médicas (salud), un pasaporte (migratorio) o cualquier tipo de trámite. Ahora bien, de acuerdo con el estudio de la Asociación Internacional de Juezas (IAWJ, 2015), para que se configure la sextorsión deben identificarse dos conductas: 1) una solicitud implícita o explícita de llevar a cabo cualquier tipo de actividad sexual no deseada, que puede ir desde relaciones sexuales o la exposición de partes del cuerpo; y 2) un acto de corrupción por parte de la persona que ocupa una posición de autoridad, de la cual abusa para demandar la actividad sexual y convencer a la víctima a cambio de ejercer el poder que se le ha otorgado (ejerce su autoridad para su beneficio propio).

De entre la diversidad de situaciones relacionadas con casos de sextorsión, la organización Transparencia Internacional (2020) ha identificado este fenómeno en los procesos de migración, durante la travesía y la llegada al destino. Sobre todo, las mujeres son continuamente vulneradas: en procesos judiciales donde los jueces a cargo de juicios solicitan favores sexuales a fin de dictar sentencias favorables; en la interacción con elementos policiacos, cuando se genera un limitado acceso a la justicia para las víctimas y se suprime la aplicación de la ley; en las instituciones, por ejemplo, al tratarse de decisiones sobre la contratación y promoción en el empleo para personas migrantes; en los campos de refugiados, donde la población es altamente dependiente de ayuda para su supervivencia; así como en el acceso a los servicios básicos, en el momento en que necesitan la provisión de agua y alimentos.

Sextorsión, extorsión y hostigamiento sexual

El hostigamiento sexual se refiere a los avances sexuales no deseados, solicitud de favores sexuales u otras conductas verbales o físicas de naturaleza sexual (Steel y Lee, 2007: 131, citados en Hlongwane, 2017). Esto ocurre cuando: 1) hay una sumisión implícita o explícita en el contexto de una relación laboral; 2) la aceptación o el rechazo a esta conducta influye en las decisiones del empleador que afectan a la víctima; y 3) dicha conducta tiene el propósito o efecto de interferir con el desempeño laboral de un individuo, o para crear un ambiente de trabajo hostil, intimidante u ofensivo.

Una manera de entender la diferencia entre sextorsión, extorsión y hostigamiento sexual es considerar los siguientes aspectos: 1) no necesariamente hay una relación de subordinación entre el perpetrador y la víctima, pues, como hemos abordado, la parte afectada bien puede tener una relación laboral o requerir el servicio de la persona investida con autoridad (lo que solamente ocurre en la sextorsión); 2) no hay amenazas de violencia o agresión física si la víctima no cumple con lo que se le solicita (como sí sucede con la extorsión); y 3) la presencia del elemento *quid pro quo* (una cosa por otra), en que la víctima recibe un beneficio a cambio de aceptar las solicitudes sexuales del perpetrador o viceversa (lo que no ocurre en el hostigamiento).

Consideraciones finales

El fenómeno de la sextorsión va más allá de la inapropiada difusión de imágenes o videos de contenido sexual, pues desde la perspectiva que revisamos interviene un elemento adicional que proporciona una modalidad diferente de la sextorsión: el uso del poder conferido a una persona para obtener beneficios indebidos (favores de índole sexual). Esta variante de la sextorsión se aparta de ser un delito de naturaleza meramente sexual a ser una nueva modalidad de corrupción que no considera solamente el carácter de subordinación de la víctima, sino también integra los casos en que no se guarda relación alguna con el servidor público, más que una dependencia o necesidad del poder de decisión que pertenece a este último.

Las consecuencias de esta modalidad de sextorsión pueden ser diversas; por ejemplo, ansiedad, depresión, vergüenza y desconfianza, así como una reducción en la calidad y la capacidad de trabajo, falta de satisfacción laboral y abstencionismo, afectación a la autoestima, entre otras. Sin embargo, difícilmente se pueden conocer todos los efectos, principalmente debido a las represalias que pueden derivarse de la denuncia, aunadas al desconocimiento que actualmente predomina con respecto al tema. La conjugación de estos elementos impide que se puedan establecer mecanismos adecuados para identificar este fenómeno y que, por ende, sea posible formular e implementar políticas públicas adecuadas.

No obstante, vista como una modalidad de corrupción, la sextorsión no es un fenómeno de reciente aparición, pues se ha documentado un número importante de casos alrededor del mundo; sin embargo, los estudios empíricos o investigaciones sobre este problema son limitados a escala internacional, e inexistentes en México. Esta brecha en el conocimiento del tema deja de manifiesto la urgente necesidad de seguir profundizando en este fenó-

meno, para lo cual resulta esencial el desarrollo de proyectos de investigación aplicada que lleven a la generación de conocimiento que brinde las pautas para la formación de políticas y estrategias. Asimismo, es importante dar el seguimiento apropiado a los casos documentados y conocer diversos puntos de vista que permitan generar información suficiente para reducir la incidencia de un fenómeno que denigra, humilla y marca a las víctimas, al igual que afecta la capacidad del Estado para reaccionar de manera adecuada.

Luis Eduardo Ramírez Sirgo

Facultad de Derecho y Ciencias Sociales, Universidad Autónoma de Tamaulipas.

lsirgo@docentes.uat.edu.mx

Verónica Mireya Moreno Rodríguez

Facultad de Derecho y Ciencias Sociales, Universidad Autónoma de Tamaulipas.

vmmoreno@docentes.uat.edu.mx

Lecturas recomendadas

Carnegie, S. (2019), *Sextortion: a crime of corruption and sexual exploitation*, Londres, The International Bar Association.

Eldén, A., D. Calvo, E. Bjarnegard, S. Lundgren y S. Jonsson (2020), *Sextortion: corruption and gender-based violence*, Estocolmo, EBA.

Hlongwane, P. (2017), "Sextortion in South African Public Sector Institutions. An ethical and moral dilemma", *Administratio publica*, 25(2):7-25.

IAWJ (2015), *Combating sextortion: a comparative study of laws to prosecute corruption involving sexual exploitation*, Londres, Thomson Reuters Foundation.

SIDA (2015), "Gender and Corruption", *The Swedish International Development Cooperation Agency*. Disponible en: <<https://publikationer.sida.se/English/publications/159390/gender-and-corruption/>>, consultado el 9 de febrero de 2021.

Transparency International (s. f.), "What is corruption?", *Transparency International*. Disponible en: <www.transparency.org/en/what-is-corruption>, consultado el 7 de octubre de 2020.

Transparency International (2019), *Global corruption barometer: Latin America & the Caribbean, 2019*. Citize's

views and experiences of corruption, Berlín, Transparency International.

Transparency International (2020), "Breaking the silence around sextortion: the links between power, sex and corruption", *Transparency International*. Disponible en: <www.transparency.org/en/publications/breaking-the-silence-around-sextortion>, consultado el 9 de febrero de 2021.

UNODC (s. f.), "Glosario", en *Educación secundaria: Anticorrupción. Guía para el docente*, Viena, UNODC. Disponible en: <www.unodc.org/documents/e4j/Secondary/Anticorrupcion_Glosario.pdf>, consultado el 14 de julio de 2022.

UNODC (2019), *Gender-related Judicial Integrity Issues*, Viena, The Global Judicial Integrity Network.

World Bank (s. f.), "Helping Countries Combat Corruption: The Role of the World Bank", *The World Bank Group*. Disponible en: <www1.worldbank.org/publicsector/anticorrupt/corruptn/cor02.htm#note1>, consultado el 7 de octubre de 2020.

Zahiragic, A., et al. (2011), *Fighting sextortion: Toolkit*, Sarajevo, Association of Women Judges in Bosnia and Herzegovina.

Noticias de la Academia Mexicana de Ciencias



La Academia Mexicana de Ciencias dio a conocer a los ganadores de los Premios Weizmann 2022

La Academia Mexicana de Ciencias (AMC) dio a conocer a los ganadores de los Premios Weizmann 2022. Las tesis doctorales de tres jóvenes científicos mexicanos fueron merecedoras del reconocimiento tras recibir evaluaciones positivas por la originalidad, el rigor académico y la importancia científica de los trabajos de investigación. La Asociación Mexicana de Amigos del Instituto Weizmann de Ciencias y la AMC otorgan en conjunto este reconocimiento desde 1986 a las mejores tesis doctorales realizadas en México por investigadores menores de 35 años, en el caso de hombres, y menores de 38 años, en el caso de mujeres, en las áreas de ciencias exactas y ciencias naturales. A partir de 2001 también se otorga a las mejores tesis doctorales en ingeniería y tecnología.



Izquierda arriba, Mesías Agustín Orozco Ic; abajo, Noé Baruch Torres; derecha Leobardo Emmanuel Campos Macías.

Ganadores de los Premios Weizmann 2022

Ciencias exactas

Mesías Agustín Orozco Ic

Doctorado en Ciencias con especialidades en Física Aplicada, Física Teórica y Fisicoquímica, Departamento de Física Aplicada, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Unidad Mérida.

Título de la tesis: Magnetic response properties in molecules as a way to diagnose the electron delocalization [Propiedades de la respuesta magnética en moléculas como una manera de diagnosticar la deslocalización electrónica]

Tutor: José Gabriel Merino Hernández

Ciencias naturales

Noé Baruch Torres

Doctorado en Ciencias, especialidad en Biotecnología de Plantas, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional.

Título de la tesis: DNA polimerasas organelares de plantas (POPs): la maquinaria multifuncional de replicación y reparación mitocondrial en Arabidopsis thaliana

Tutor: Luis Gabriel Brieba de Castro

Ingeniería y tecnología

Leobardo Emmanuel Campos Macías

Doctorado en Ciencias de la Ingeniería Eléctrica, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Unidad Guadalajara.

Título de la tesis: Navegación autónoma de sistemas multiagentes en ambientes desconocidos

Tutores: Antonio Ramírez Treviño y David Gómez Gutiérrez

La AMC dio a conocer a los ganadores de los Premios de la Academia a las Mejores Tesis de Doctorado en Ciencias Sociales y Humanidades 2022

La AMC dio a conocer los nombres de los ganadores de los Premios de la Academia a las Mejores Tesis de Doctorado en Ciencias Sociales y Humanidades 2022, los cuales se otorgan desde 1996 a investigadores que no hayan cumplido 38 años, en el caso de los hombres, y 40 años, en el caso de las mujeres, cuyas tesis se hayan realizado en el país en alguna institución acreditada. La convocatoria anual de este premio se presenta en conjunto con nueve institucio-

nes representativas de las ciencias sociales y las humanidades en México: la Universidad Nacional Autónoma de México, la Universidad Autónoma Metropolitana, El Colegio de México, la Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, el Centro de Investigación y Docencia Económicas, el Instituto José María Luis Mora, el Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social, el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional y el Instituto Nacional de Antropología e Historia.

Ganadores de los Premios de la Academia a las Mejores Tesis de Doctorado en Ciencias Sociales y Humanidades 2022

Ciencias sociales

Javier Martín Reyes

Doctorado en Derecho, Instituto de Investigaciones Jurídicas, Universidad Nacional Autónoma de México.

Título de la tesis: En gustos se rompen métodos. Estructura, alternativas y aplicación en la jurisprudencia constitucional del test de proporcionalidad

Tutor: Pedro Salazar Ugarte

Martha Victoria Ríos Infante

Doctorado en Ciencias Sociales, Escuela de Ciencias Sociales y Gobierno, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey.

*Título de la tesis: "El blanco de la diversidad": Fugas del cuerpo y del espacio de mujeres trans*migrantes mesoamericanas*

Tutora: Mariana Gabarrot Arenas

Humanidades

Ignacio Andree Ayala Cordero

Doctorado en Historia, Centro de Estudios Históricos, El Colegio de México.

Título de la tesis: "Ladrones de oficio": el proceso de especialización en la práctica del robo en Santiago de Chile y la Ciudad de México (finales del siglo XIX e inicios del XX)

Tutora: Clara Eugenia Lida García

Luis Alan Rodríguez Moreno

Posgrado en Historia, Instituto de Investigaciones Históricas, Universidad Nacional Autónoma de México.

Título de la tesis: Y los caminos tienen huellas. Representaciones del paisaje rural en cuatro regiones de Puebla, siglos XVI al XVIII

Tutor: Gerardo Bustos Trejo

Conferencias virtuales de la AMC

Debido al confinamiento por la pandemia de covid-19, la AMC dio inicio a un ciclo de conferencias virtuales en sus redes sociodigitales. Desde las primeras transmisiones, en julio de 2020, se invita a investigadores en temas especializados de relevancia científica y para el país. Las conferencias más recientes, que se enlistan a continuación, son actividades enmarcadas en el Año Internacional de las Ciencias Básicas para el Desarrollo Sostenible:

28 de septiembre de 2022

“La meteorítica mexicana: cinco medallas de oro”

Fernando Ortega Gutiérrez, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México

<https://youtu.be/YsLcmlm1xDY>

26 de octubre de 2022

“Agrivoltaicos: cómo cosechar el sol dos veces”

Joaquín Ruiz, Departamento de Geociencias, Universidad de Arizona

<https://youtu.be/7QUUJjk6AAg>



30 de noviembre de 2022

“¿Qué nos dice la ciencia sobre el dolor, la comezón y otras afecciones?”

Tamara Luti Rosenbaum Emir, Instituto de Fisiología Celular, Universidad Nacional Autónoma de México

<https://youtu.be/yFzjHJclD-M>

25 de enero de 2023

“Vigencia de Pasteur en el bicentenario de su nacimiento”

Adolfo Martínez Palomo, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional

<https://youtu.be/qZGHhNAIVCs>



22 de febrero de 2023

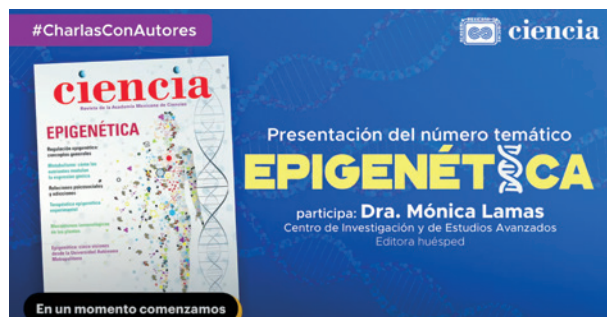
“El enredamiento cuántico; de las dudas de Einstein a su cuantificación y utilización por las tecnologías cuánticas”

Luis A. Orozco, Joint Quantum Institute, Universidad de Maryland

<https://www.youtube.com/watch?v=PGxYmOGRpE>

Charlas con autores de la revista *Ciencia de la AMC*

Continúan las pláticas con diversos autores que han contribuido en diferentes números de *Ciencia de la AMC*. Las charlas más recientes en las redes sociodigitales de la revista han sido:



22 de noviembre de 2022

Presentación del número temático “Epigenética”

Mónica Lamas Gregori, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional

<https://www.youtube.com/live/PNRQHUHx4JU>

6 de diciembre de 2022

“Envejecimiento: ¿cómo los errores del pasado influyen sobre nuestro futuro biológico?”

Luis Miguel Gutiérrez Robledo, Instituto Nacional de Geriátrica

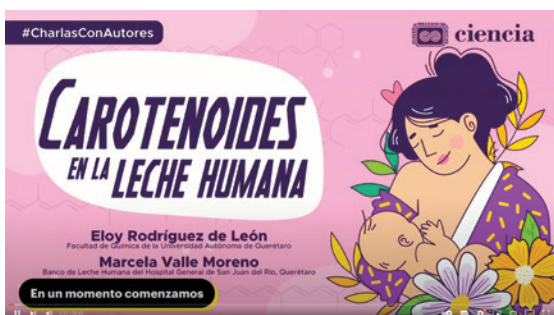
<https://www.youtube.com/live/VyV6m0PI5hs>

13 de diciembre de 2022

“Metabolismo: cómo los nutrientes modulan la expresión génica”

Lorena Aguilar Arnal, Instituto de Investigaciones Biomédicas, Universidad Nacional Autónoma de México

<https://www.youtube.com/live/aNJMuS3lCyg>



7 de febrero de 2023

“Carotenoides en la leche humana”

Eloy Rodríguez de León, Facultad de Química, Universidad Autónoma de Querétaro

Marcela Valle Moreno, Banco de Leche Humana del Hospital General de San Juan del Río, Querétaro

https://www.youtube.com/live/M3q_7_Dnz6A

14 de febrero de 2023

“Crónica de las operaciones sin incisiones: historia de la radiocirugía”

Olga Olinca Galván de la Cruz, Instituto Nacional de Neurología y Neurocirugía

<https://www.youtube.com/live/qM2WTWI5SnM>

28 de febrero de 2023

“El linaje de la obesidad”

Alberto Camacho Morales, Centro de Investigación y Desarrollo en Ciencias de la Salud, Universidad Autónoma de Nuevo León

<https://www.youtube.com/live/AwUQM1yg8UVI>

Webinar “Tu Mundo con Ciencia”

Continúa el ciclo de conferencias “Tu Mundo con Ciencia”, impartido por exbecarias ganadoras de las Becas para Mujeres en la Ciencia L’Oréal-Unesco-AMC. Las pláticas se llevan a cabo el segundo jueves de cada mes y son transmitidas por los canales de las redes sociodigitales de la AMC, dirigidas a jóvenes de

nivel bachillerato, para fomentar las vocaciones científicas. Las pláticas más recientes son:



13 de octubre de 2022

“¿Aún podemos restaurar los bosques?”

Fabiola López Barrera, Instituto de Ecología, A. C.

<https://www.youtube.com/live/KMDCegWMeNk>

10 de noviembre de 2022

“La respuesta inmune y el cáncer de colon”

Sonia León Cabrera, Facultad de Estudios Superiores-Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México

<https://www.youtube.com/live/6TQB8Ye97ac>

8 de diciembre de 2022

“Control de plagas, ¡con una bacteria!”

Isabel Gómez Gómez, Instituto de Biotecnología, Universidad Nacional Autónoma de México

<https://www.youtube.com/live/TK5AN7Qy-kU>

12 de enero de 2023

“Bacterias y más bacterias: todo tiene microbioma”

Luisa Falcón Álvarez, Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México

<https://www.youtube.com/live/Hz6ZnPzkj-c>

9 de febrero de 2023

“¡Luces, nanomateriales, acción! Películas contra la contaminación”

Monserrat Bizarro Sordo, Instituto de Investigaciones en Materiales, Universidad Nacional Autónoma de México

<https://www.youtube.com/live/QDsYza8Gz0w>

9 de marzo de 2023

“El cerebro y el control del metabolismo”

María Chávez Canales, Instituto de Investigaciones Biomédicas, Universidad Nacional Autónoma de México

<https://www.youtube.com/live/l2YDTSbnBXY>



LEAMOS LA CIENCIA PARA TODOS

¿TE INTERESA LA CIENCIA?

Busca la Convocatoria en www.lacienciaparatodos.mx

Si tienes más de 12 años o eres profesor en activo

PARTICIPA

en el **XVIII Concurso Leamos La Ciencia para Todos**

LEE alguno de los 260 títulos de la **Colección la Ciencia para Todos** o de los libros de ciencia de distintas colecciones incluidos en la Convocatoria y **ESCRIBE** un resumen, una reseña, un ensayo, un ensayo didáctico o un texto libre.

Registro y envío de trabajos

www.lacienciaparatodos.mx/concurso

Cierre de la convocatoria

16 horas del 30 de junio de 2023

(hora del centro de México)

Resultados **Mayo de 2024**

Para mayor información lacienciaparatodos@gmail.com



El Fondo de Cultura Económica (FCE) y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) invitan al VI Premio Internacional de Divulgación de la Ciencia Ruy Pérez Tamayo con el propósito de incentivar la escritura de obras de divulgación científica en lengua española y de reconocer en esta labor una acción fundamental en la construcción del conocimiento científico y en el desarrollo de la cultura. El Premio honra a uno de los más destacados científicos mexicanos, quien a lo largo de su trayectoria profesional conjugó con excelencia la investigación, la docencia y la divulgación.

VI Premio Internacional de Divulgación de la Ciencia RUY PÉREZ TAMAYO

CONVOCATORIA • BASES

1. Podrán participar científicos, divulgadores de la ciencia y escritores en general, de cualquier nacionalidad, edad o lugar de residencia, con una o más obras, escritas por uno o varios autores. Quedan excluidos los empleados del Fondo de Cultura Económica.

2. Las obras, dirigidas a jóvenes de educación media, media superior y primeros semestres de educación superior, deberán abordar algún tema de la ciencia y la tecnología contemporáneas, con un lenguaje atractivo y preciso, presentando información actualizada y verificable. Su extensión deberá estar entre 120 y 300 cuartillas (es decir, entre 216 mil y 540 mil caracteres, con espacios incluidos), incluyendo cuadros, imágenes y fórmulas.

3. Las obras presentadas a concurso deberán ser inéditas en su totalidad y deberán haber sido escritas originalmente en español. No podrán participar obras que estén sometidas a otro concurso ni en espera de aprobación o dictamen para su publicación en ningún medio o soporte. Se descartarán aquellas obras en las que sean detectados plagios.

4. La recepción de propuestas vía electrónica será por medio de la página: <https://premioryperez.fondodeculturaeconomica.com>

5. Para las propuestas por vía física: Las obras se entregarán en un USB que las incluya en formato PDF y Word; en caso de incluir imágenes, los archivos respectivos deberán ir al tamaño deseable para su impresión y en resolución no menor a 300 ppi. En ningún caso se devolverá el material presentado. Las propuestas se enviarán a la siguiente dirección:

**VI Premio Internacional de Divulgación
de la Ciencia Ruy Pérez Tamayo
Fondo de Cultura Económica
Carretera Picacho Ajusco 227, 3er piso
Ampliación Fuentes del Pedregal, Tlalpan,
14110 Ciudad de México**

6. Las obras se firmarán con seudónimo y no deben incluir semblanzas ni referencias al nombre del autor o los autores. En una plica se incluirán los datos de contacto de los participantes: nombre, dirección, teléfono y correo electrónico, así como curriculum vitae. El exterior de la plica deberá rotularse sólo con el título de la obra y el seudónimo del autor o autores.

No debe entregarse el USB dentro de la plica, debe ir aparte y la plica debe ir sellada.

7. Queda abierta la presente convocatoria a partir de su publicación y hasta las 23:59 horas del 30 de abril de 2023 (tiempo de la Ciudad de México). En los envíos por correo o mensajería se considerará la fecha de remisión. No se recibirán propuestas después de esta fecha.

8. El jurado estará compuesto por el ganador del premio anterior, por investigadores especializados en diversas áreas de la ciencia, por divulgadores y un representante del Fondo de Cultura Económica. Su fallo será inapelable, y el premio podrá ser declarado desierto.

9. El premio consistirá en la publicación de la obra en la colección La Ciencia para Todos y en un pago de \$250,000 (DOSCIENTOS CINCUENTA MIL PESOS MEXICANOS), como anticipo a cuenta de regalías.

10. El FCE y el autor o autores ganadores suscribirán un contrato de acuerdo con las presentes bases y con la Ley Federal del Derecho de Autor, y en los términos usuales para obras de esta colección. El FCE se reserva, en el lapso entre el cierre de la convocatoria y la publicación del fallo, el derecho de opción preferente para publicar cualquier obra presentada al concurso que, no habiendo obtenido el premio descrito en la cláusula anterior, sea considerada de su interés.

11. Los resultados serán dados a conocer el 2 de agosto de 2023 a través de la prensa y en las páginas electrónicas del FCE: www.fondodeculturaeconomica.com y www.lacienciaparatodos.mx, así como del CONACYT: www.conacyt.mx

12. Cualquier situación no prevista en estas bases será resuelta por el jurado.

13. La participación en el concurso implica la aceptación de estas bases.

Ciudad de México, noviembre de 2022

En nuestro próximo número
de julio-septiembre de 2023:

Novedades científicas



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

