

Economía digital e inteligencia artificial en México

Retos y oportunidades económicas y sociales

Tomo
I

Armando Sánchez Vargas
José Manuel Márquez Estrada
(Coordinadores)



ECONOMÍA DIGITAL E INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN MÉXICO.
RETOS Y OPORTUNIDADES ECONÓMICAS Y SOCIALES

TOMO I





UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Dr. Leonardo Lomelí Vanegas

Rector

Dra. Patricia Dolores Dávila Aranda

Secretaria General

Mtro. Tomás Humberto Rubio Pérez

Secretario Administrativo

Dr. Miguel Armando López Leyva

Coordinador de Humanidades



INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ECONÓMICAS

Dr. Armando Sánchez Vargas

Director

Dr. José Manuel Márquez Estrada

Secretario Académico

Dra. Nayeli Pérez Juárez

Secretaria Técnica

Mtra. Graciela Reynoso Rivas

Jefa del Departamento de Ediciones

ECONOMÍA DIGITAL E INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN MÉXICO. RETOS Y OPORTUNIDADES ECONÓMICAS Y SOCIALES TOMO I

Armando Sánchez Vargas
José Manuel Márquez Estrada
(Coordinadores)



Primera edición digital en pdf, diciembre 2024

D. R. © UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
Ciudad Universitaria, Coyoacán,
04510, Ciudad de México.
Instituto de Investigaciones Económicas
Circuito Mario de la Cueva s/n
Ciudad de la Investigación en Humanidades
04510, Ciudad de México.

www.iiiec.unam.mx

ISBN obra completa: 978-607-30-9986-8
ISBN volumen (Tomo I): 978-607-30-9987-5

Diseño de portada: Laura Elena Mier Hughes.
Diseño de interiores: Juan Carlos Burgoa.
Cuidado de la edición: Héliida De Sales Y.

Preparación y cuidado editorial del libro electrónico: Salvador Ramírez.

Esta edición y sus características son propiedad de la Universidad Nacional Autónoma de México. Esta obra fue arbitrada por pares académicos en un proceso doble ciego, a cargo del Comité Editorial de Publicaciones No Periódicas del IIIEC-UNAM.

Las opiniones expresadas en esta obra son de exclusiva responsabilidad de las autoras y de los autores.

Prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos de esta obra por cualquier medio o procedimiento, sin autorización escrita o expresa de la UNAM.

Hecho en México.



Presentación	9
Introducción	
<i>Armando Sánchez Vargas y José Manuel Márquez Estrada</i>	11
1. Una introducción a la economía de la inteligencia artificial	
<i>Armando Sánchez Vargas</i>	15
2. Inteligencia artificial y destrucción creativa	
<i>Alicia Girón y Luis Daniel Beltrán</i>	33
3. Recursos humanos especializados en la economía digital en México y el mundo: un análisis bibliométrico	
<i>Jorge Méndez Astudillo</i>	53
4. Revolución tecnológica-industrial, núcleos dinámicos y México	
<i>Sergio Ordóñez Gutiérrez</i>	67
5. Agricultura 4.0 y su posible impacto sobre la pobreza rural de México	
<i>Uberto Salgado, Luis Fernando González y Ulises Sánchez</i>	97
6. Gobierno abierto en la era digital: ¿opción para combatir la corrupción en las finanzas públicas?	
<i>Marcela Astudillo Moya</i>	115
7. Conectividad digital: un índice de acceso a las TIC por municipios, 2000-2020	
<i>Karina Garduño Maya</i>	129
Conclusiones generales	
<i>Armando Sánchez y José Manuel Márquez</i>	147
Semblanzas	151



Economía digital e inteligencia artificial en México es el resultado de las reflexiones e ideas desarrolladas por parte de la comunidad académica del Instituto de Investigaciones Económicas (IIEc). Se busca aportar al análisis de los desafíos económicos y sociales que afronta México ante la nueva revolución tecnológica generada por los avances en la digitalización y la inteligencia artificial.

Este proyecto editorial surge con la finalidad de estudiar los cambios económicos y sociales que tendrán lugar a partir de esta ola de innovaciones tecnológicas y de inteligencia artificial. La principal inquietud de los y las participantes es abrir un diálogo e invitar a los profesionales a interesarse en el tema. Además, se busca contribuir a la generación de conocimiento útil sobre este nuevo asunto en la ciencia económica y, con ello, vincular, orientar y facilitar la toma de decisiones a los hacedores de políticas del país.

La digitalización y la inteligencia artificial muestran un gran impacto social. Su influencia en la recomposición de tareas y trabajos dependerá no sólo de su adopción, sino también de las políticas públicas y de innovación que el Estado implemente. De allí parten algunas de las preguntas que guiaron la construcción de este título: ¿cuáles son los fundamentos teóricos de la disciplina económica en las ciencias sociales que pueden construir una alternativa para afrontar las ventajas y desventajas que la innovación tecnológica provocará?, ¿cuáles son los retos y desafíos que enfrenta la economía mexicana en un escenario de innovación tecnológica? y ¿cuáles son las rutas que se pueden definir para un proceso de política pública bien implementada?

A partir de estos elementos se extendió una invitación a la comunidad académica del Instituto para abordar diversos ejes temáticos que se consideraron relevantes en materia de inteligencia artificial: capital humano, mano de obra, mercado laboral, gestión pública, adopción tecnológica, gastos públicos en economía digital, entre otros.

El presente libro contiene siete capítulos de diferentes investigaciones que han trabajado el tema en años recientes. Deseamos que el público lector encuentre un espacio donde pueda retroalimentar sus conocimientos sobre los temas abordados. Además, con esta obra aspiramos a contribuir al debate necesario para trazar propuestas de horizontes posibles para el aprovechamiento adecuado de la economía digital y la inteligencia artificial.

Agradecemos los valiosos comentarios y pertinentes sugerencias de los dictaminadores anónimos que revisaron el texto y contribuyeron a mejorar sustancialmente la versión final de este trabajo.

Introducción

Armando Sánchez Vargas
José Manuel Márquez Estrada



La revolución tecnológica, la adopción de la inteligencia artificial (IA) y la economía digital (ED) desempeñan un papel importante en la oferta, demanda, distribución del ingreso, estructura del mercado, gestión gubernamental, producción, mano de obra, entre otros determinantes del rumbo de la economía. Los algoritmos avanzados (*machine learning*) y las grandes cantidades de datos sobre productores y consumidores (*big data*) permitirán nuevos equilibrios en los mercados, pero los beneficios también vendrán acompañados de externalidades negativas. Por ejemplo, una gran pérdida de empleos de las personas sin las calificaciones que requerirá la nueva economía, una mayor desigualdad económica y una mayor incertidumbre financiera, entre otros problemas. Por ello, se requerirá la implementación de medidas regulatorias y políticas públicas que aminoren los impactos negativos de la IA.

La innovación tecnológica y sus externalidades positivas y negativas profundizaron la necesidad de investigar desde un ámbito económico. Esta obra busca contribuir a la generación de conocimiento en la ciencia económica, su vinculación con el desarrollo y los desafíos que encara el país en un contexto de adopción de tecnologías. El objetivo es profundizar en el análisis de la inteligencia artificial y su impacto social en la recomposición de tareas y trabajos, de manera que sea posible presentar propuestas en materia de economía digital que puedan constituir una alternativa ante esta revolución tecnológica.

La obra está organizada en varios tomos. A lo largo de los siete capítulos que conforman este primer tomo, se revisan los principales antecedentes de la inteligencia artificial y los impactos que ha tenido en México. Se presenta amplia información relacionada con la evidencia y los hallazgos sobre las ventajas y desventajas derivadas de esta nueva revolución tecnológica. Además, se exponen aspectos relacionados con las políticas públicas en materia de economía digital, aprendizaje tecnológico, adopción de tecnologías,

conectividad digital, entre otras. Se abordan los desafíos que enfrenta el país y se trazan escenarios posibles para afrontar el cambio tecnológico con las mejores herramientas desde la ciencia económica. Éste se considera el principal aporte de los trabajos que conforman el primer tomo de la obra.

En el primer capítulo, "Una introducción a la economía de la inteligencia artificial", Armando Sánchez Vargas postula que la inteligencia artificial representa un salto tecnológico que afectará el desempeño económico de las naciones y los individuos. Identifica los posibles efectos que tendrá la IA en cada una de las esferas del quehacer económico (producción, consumo y distribución) en los próximos años y los mecanismos mediante los cuales impactará las diferentes variables sociales y económicas, lo que nos permitirá un análisis económico ordenado de dichos impactos.

En el segundo capítulo, "Inteligencia artificial y destrucción creativa", Alicia Girón González y Luis Daniel Beltrán utilizan el concepto de "destrucción creativa", como vehículo central del libro de Schumpeter, para realizar una investigación sobre las ganancias, el capital, el crédito, los intereses y el ciclo económico y el uso de la innovación tecnológica a partir de la covid-19.

Por su parte, en el tercer capítulo titulado "Recursos humanos especializados en la economía digital en México y el mundo: un análisis bibliométrico", Jorge Méndez Astudillo realiza un análisis de la literatura científica sobre desarrollos de algoritmos y aplicaciones de uso de la ciencia de datos en investigaciones científicas en México y el mundo. Asimismo, realiza un estudio de correlaciones entre el índice de innovación, proporcionado por la World Intellectual Property Organization, y la cantidad de producción científica en el área de inteligencia artificial. Este tema es de vital importancia porque México debe incrementar su participación en la economía digital y, con ello, elevar la formación de recursos humanos especializados en aprendizaje automatizado (AA) e inteligencia artificial (IA).

Por otro lado, en el cuarto capítulo "Revolución tecnológica-industrial, núcleos dinámicos y México", Sergio Ordóñez Gutiérrez aborda los antecedentes de la innovación tecnológica desde las diferentes revoluciones industriales. Ordóñez analiza cómo el aprendizaje avanzado de máquinas favorece el desarrollo de una gama de aplicaciones para máquinas inteligentes o agentes y cosas autónomas capaces de operar sin la intervención humana.

El capítulo quinto, "Agricultura 4.0 y su posible impacto sobre la pobreza rural de México", es una aportación de Uberto Salgado Nieto, Luis Fernando González Martínez y Ulises Sánchez Guerrero. Los autores argumentan que la cuarta revolución agrícola, mejor conocida como agricultura 4.0, significa un cambio sustancial respecto de los métodos y las estrategias de producción tradicionales, donde al incrementar la adopción de tecnologías se promueve el uso eficiente de recursos que permiten incrementar la

productividad de forma sustentable y amigable con el medio ambiente. Sin embargo, estas tecnologías pueden profundizar aún más la desigualdad entre países y entre productores agrícolas. Por tal motivo, es necesario comprender las problemáticas y desafíos que la adopción de estas tecnologías constituye, así como el alcance y las limitaciones que representa su adopción, pero considerando el contexto del sector agrícola en México.

En el capítulo “Gobierno abierto en la era digital: ¿opción para combatir la corrupción en las finanzas públicas?”, Marcela Astudillo Moya aborda las diferentes herramientas de gestión de un gobierno digital y el uso de las tecnologías de la información y comunicación con el objetivo de crear valor público. De esta manera, pretende determinar si el uso de la tecnología se ha orientado a cubrir los rubros de transparencia presupuestaria, participación ciudadana y vigilancia. En caso negativo, propone la implementación de políticas públicas para que la tecnología sea un medio para transparentar las finanzas públicas, pues el uso adecuado del presupuesto público permitirá mejorar el bienestar de la población.

En el séptimo y último capítulo, “Conectividad digital: un índice de acceso a las TIC por municipios, 2000-2020”, Karina Garduño Maya determina el grado de conectividad que hay en los municipios por medio de un índice compuesto por variables asociadas a las TIC, para los años 2000, 2010 y 2020, con datos de los Censos de Población y Vivienda correspondientes. Por medio de mapas diseñados con Sistemas de Información Geográfica (SIG), los resultados permiten observar la evolución de los municipios en el acceso a las TIC como línea telefónica fija, radio, televisión, computadora, *laptop*, *tablet*, celular inteligente e internet.

Finalmente, se presentan las conclusiones generales de este primer tomo donde se sintetizan las principales sugerencias de las investigaciones.

1. Una introducción a la economía de la inteligencia artificial

Armando Sánchez Vargas

La inteligencia artificial (IA) representa un salto tecnológico que afectará el desempeño económico de las naciones y los individuos. Como todo fenómeno tecnológico, revolucionará las economías en sus distintas esferas: 1) la oferta; 2) la demanda, y 3) la distribución del ingreso. En este capítulo buscamos identificar los posibles efectos que tendrá la IA en cada una de dichas esferas en los próximos años y los mecanismos mediante los cuales impactará las diferentes variables sociales y económicas, lo que nos permitirá un análisis económico ordenado de dichos impactos.

Los principales hallazgos en la literatura sugieren que la IA potenciará las capacidades de oferta de las empresas y los países de manera exponencial. El Foro Económico Mundial ha estudiado los efectos potenciales de la IA y la automatización industrial en las organizaciones y su impacto en la economía. Sus resultados sugieren que más de 20 % de los puestos de trabajo en las economías desarrolladas se verá directamente afectado por las tecnologías desarrolladas con IA. En los países en desarrollo, como India y China, se estima que el efecto será de más de 26 % para el sector manufacturero [Sharma *et al.*, 2022].

Asimismo, esta revolución en la producción estará acompañada de cambios drásticos en la demanda de nuevos productos que satisfagan las preferencias de los consumidores. La disponibilidad de algoritmos avanzados (*machine learning*) y grandes cantidades de datos sobre productores y consumidores (*big data*) permitirá que las cantidades ofrecidas y demandas de los diferentes bienes se equilibren rápidamente, en algunos casos en tiempo real. Esto permitirá que los mercados se equilibren velozmente mediante precios dinámicos, lo cual revolucionará la economía a nivel mundial y generará mayor crecimiento económico de largo plazo. Sin embargo, los beneficios de la IA no son absolutos, pues vendrán acompañados de externalidades negativas. Por ejemplo, una gran pérdida de empleos de las personas sin las calificaciones que la nueva economía requerirá, una

mayor desigualdad económica y una creciente incertidumbre financiera, entre otros problemas. En consecuencia, se necesitará la implementación de medidas regulatorias y políticas públicas que aminoren los impactos negativos de la IA.

Este capítulo está estructurado de la siguiente manera. En la primera sección, se discute el concepto de IA. En la segunda y tercera secciones, se tratan los efectos potenciales de la IA en la oferta y la demanda, respectivamente. En la cuarta sección, se abordan los efectos distributivos de la IA. Finalmente, se explican las externalidades que genera la IA y otros posibles impactos negativos en la economía. La última sección concluye el análisis.

LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y LA ECONOMÍA

Existen diferentes posturas en torno al concepto de IA que dependen del área de estudio. Por ejemplo, para los economistas es útil referirse a la IA con los términos de la “automatización”, la “digitalización” o la “computarización” [Lu y Zhou, 2021]. Sin embargo, estos términos siguen siendo conceptos muy generales. En contraste, Agrawal *et al.* [2019] y Cockburn *et al.* [2019] consideran que la IA contiene robótica, redes neuronales y aprendizaje automático, mientras que la “automatización”, la “digitalización” y la “computarización” sólo reflejan parte de ella. Ahora bien, en la mayor parte de los avances recientes, se relaciona a la IA con el ramo del aprendizaje automático (*machine learning*), que se vincula con la estadística computacional [Agrawal *et al.*, 2019].

Cabe mencionar que la IA ha sido posible gracias a la confluencia de tres factores diferentes: 1) una caída fenomenal de los costes de computación que ha dado lugar a una explosión de la potencia informática instalada y de la capacidad de almacenamiento; 2) el desarrollo y la adopción generalizada de internet y otras formas de comunicación digital; y 3) el descenso de los costes de capital de las tecnologías digitales ha reducido significativamente las barreras de entrada para las empresas de nueva creación. Asimismo, la IA tiene la ventaja de utilizar datos para tomar decisiones o aprender, esto mediante el aprendizaje automático y el proceso de lenguaje natural. Además, puede interpretar correctamente datos externos, aprender de esos datos y utilizar sus aprendizajes para lograr objetivos y tareas específicas mediante una adaptación flexible [Hang y Chen, 2022]. Incluso, en lugar de funcionar sólo como una herramienta que aumenta la productividad del trabajo, podría reemplazarlo como lo hicieron las tecnologías tradicionales [Lu y Zhou, 2021].

La IA también puede cambiar en el tipo de proceso que realice. Por ejemplo, en la automatización de tareas son aplicaciones de IA estandarizadas y basadas en reglas, mientras que en la conciencia del contexto requiere que las aplicaciones de IA “aprendan a aprender” [Davenport *et al.*, 2020]. Aunque los investigadores clasifican la IA de diferentes maneras, coinciden en que, como máquinas, no están restringidas por las limitaciones cognitivas humanas y la inflexibilidad [Balasubramanian *et al.*, 2022].

LOS EFECTOS DE LA IA POR EL LADO DE LA OFERTA DE BIENES Y SERVICIOS

En un contexto microeconómico, como cualquier otro tipo de innovación tecnológica, la IA expande la productividad total de los factores y, en consecuencia, genera un mayor producto en la empresa individual. A nivel macroeconómico, la IA aumenta la capacidad de oferta de un gran número de empresas y desplaza la curva de oferta agregada de bienes. El crecimiento en la productividad total de los factores es resultado de la IA y sus efectos en la automatización de todas las etapas del proceso productivo: en la mejora, la toma de decisiones de las empresas y la mayor eficiencia para combinar dichos factores. Lo anterior se ve reflejado en un aumento de la calidad en los productos, la reducción del desperdicio de insumos y la mejor predicción sobre el surgimiento de fallas en los equipos. De hecho, la evidencia muestra que los robots realizan las actividades repetitivas de manera cada vez más rápida y con más precisión que los trabajadores, lo que aumenta la productividad, reduce el desperdicio de insumos, disminuye los costos laborales y mejora la seguridad en el trabajo [Agrawal *et al.*, 2019].

Un primer mecanismo específico por medio del que la IA actúa en la oferta es *el aumento en la flexibilidad en las líneas de producción*. Esto sucede porque los procesos basados en algoritmos se convierten en parte del proceso de producción y, por tanto, hacen que las instalaciones de producción se adapten de manera autónoma y se vuelvan más productivas. Así, la IA se utilizará para analizar grandes bases de datos, permitiendo identificar patrones y tendencias en los datos de ventas y producción. Esto ayuda a las empresas a tomar decisiones con más información y en tiempo real para empatar de manera más precisa la oferta de un bien con su demanda, como el fordismo y toyotismo hicieron en su momento. De hecho, algunos autores sugieren que la modelación y simulación de los procesos productivos con algoritmos permitirán experimentar con nuevos materiales y técnicas antes de implementarlos en la realidad, con la consecuente reducción de los costos [Abrardi *et al.*, 2019; Somjai *et al.*, 2020]. Los algoritmos de la inteligencia artificial también pueden generar un mecanismo en el que las empresas estén presionadas por innovar todo el tiempo, dada la enorme competencia. Por ejemplo, Saritas *et al.* [2021] encuentran que el análisis predictivo de *big data* es útil para analizar el comportamiento de los consumidores y sugerirles ofertas personalizadas de productos y servicios en función de sus preferencias y su historial de transacciones.

Un segundo mecanismo de impacto de la IA es *el uso de precios dinámicos*. Es plausible que los algoritmos asociados con la IA y la automatización fomenten el equilibrio constante en los mercados, evitando el exceso de oferta. Esto se puede lograr mediante la optimización de recursos y estrategias comerciales de manera instantánea, evitando con ello los desequilibrios que el sistema de precios no alcanza a eliminar de manera instantánea [Abrardi *et al.*, 2019]; es decir, la fijación dinámica de precios, asociada con la IA,

permite el ajuste instantáneo y la optimización de los precios en función de muchos factores, como la disponibilidad de existencias, las limitaciones de capacidad, los precios de los competidores y las fluctuaciones de la demanda [Abrardi *et al.*, 2019]. Adicionalmente, las prácticas de discriminación de precios podrían no sobrevivir a la competencia. En primer lugar, porque las empresas competidoras comparten la misma información sobre los consumidores. En segundo lugar, las preocupaciones por la reputación pueden limitar el uso de la discriminación de precios por parte de las empresas, ya que los consumidores la consideran una práctica abusiva. En tercer lugar, los consumidores tienden a reaccionar estratégicamente ante la discriminación de precios al limitar la cantidad de información que revelan [Abrardi *et al.*, 2019].

Un tercer mecanismo de influencia tendrá lugar a partir de *la reducción de los costos de búsqueda, los costos de replicación, los costos de transporte, los costos de seguimiento y los costos de verificación* [Abrardi *et al.*, 2019]. Sin embargo, hay factores que influyen en el uso eficaz de los datos para la adopción de la IA, como la evaluación de las competencias adecuadas de las personas para la adopción de la IA y la actitud positiva hacia la adopción de la IA, que están influyendo notablemente en la inversión material, la inversión de capital, el aumento del desempleo, el incremento de la producción económica, la elevación del rendimiento del capital y el repunte de los salarios de la mano de obra calificada existente. Asimismo, la IA podría contribuir a la reducción de costos bajo la entrega de documentos internos entre la sede central y las sucursales mediante drones [Dirican, 2015]. Al evaluar más eficientemente los costes de producción, comunicación, *marketing* y personal, así como los costes de financiación y capital calculados en tiempo real en línea, el efecto de la propuesta de valor y las ofertas a los clientes en el balance y la cuenta de resultados (maximizando las horas de venta y entrega mediante la robótica en los canales de distribución), las empresas podrán gestionar la rentabilidad y los riesgos de forma más eficiente en internet, ya que la tecnología móvil, la electrónica y los avances en el mundo digital se han acelerado y han facilitado la prestación de servicios y las ventas de los servicios financieros y bancarios [Dirican, 2015]. Así, una de las grandes consecuencias de la automatización por medio de la IA es que el costo de la producción de bienes disminuye y las instalaciones de producción se reparan automáticamente, esto reduce la inactividad y también mejora la producción porque la IA es capaz de ver las fallas en los equipos. Estos factores tienen como resultado que la producción sea más eficiente y sus costos se reduzcan [Marwala y Hurwitz, 2017].

Por otra parte, la IA también podría tener algunos efectos negativos que se darían a partir de diferentes mecanismos. En primer lugar, *se reduciría la utilización de algunos de los factores necesarios para la producción*. Por ejemplo, al sustituir personal con procesos automatizados, se generará un aumento del desempleo estructural [Abrardi *et al.*, 2022]. Para contrarrestar el impacto de estas externalidades negativas pero inevitables, se

requiere de políticas que apoyen el desarrollo y el uso eficiente de la IA, sin generar afectaciones mayores al empleo y los salarios [Agrawal *et al.*, 2019]. Por ejemplo, los gobiernos pueden promover la creación de mayores capacidades y habilidades en los trabajadores que les ayuden a desarrollar las nuevas competencias que se necesitan, tales como las habilidades matemáticas, la programación y el mantenimiento de la IA [Lu y Zhou, 2021]. Una preocupación colectiva acerca de la difusión de estas tecnologías es el impacto en los puestos de trabajo, sobre todo si una tecnología hace mejor un trabajo que un trabajador. Acemoglu *et al.* [2019] destacan que si bien se destaca un efecto de desplazamiento, ya que las máquinas realizan tareas humanas, se crea un efecto de expansión que crea nuevas tareas en las que el trabajo humano tendrá una ventaja comparativa frente a las máquinas [Agrawal *et al.*, 2019]. Por tanto, la IA puede permitir que segmentos significativos del mercado laboral incrementen su productividad y tengan acceso a ocupaciones con mejores remuneraciones. En consecuencia, la IA puede ayudar a promover el crecimiento y la inclusividad [Ernst *et al.*, 2019]. La desigualdad y el desempleo entre los trabajadores (poco calificados) dependerán también de la medida en que las máquinas sean complementarias de la mano de obra altamente calificada. La complementariedad entre la mano de obra calificada y las máquinas no depende únicamente de factores tecnológicos, como ha demostrado la historia de las distintas oleadas de revoluciones industriales [Ernst *et al.*, 2019].

En segundo lugar, la automatización podría afectar *al aumentar la informalidad laboral*. Lo anterior podría tener lugar a menos que los gobiernos aseguren que la adopción y difusión de las tecnologías se generalicen en los sectores involucrados en la cadena de suministro. La literatura ha abordado la temática de la adopción de soluciones basadas en IA y avances tecnológicos, ello mediante una teoría de difusión de la innovación que ha explicado que, para que la adopción de la IA tenga éxito, primero se requiere un éxito organizacional [Kot *et al.*, 2021]. Sin embargo, en la medida en que las innovaciones de la IA conduzcan a una mejoría en todos los sectores, será inevitable que la mano de obra aprenda nuevas habilidades que permitan la continuidad y el mejor funcionamiento de la producción y de los nuevos empleos. De la misma manera, en la medida en que las innovaciones de la IA conduzcan a cambios en las ocupaciones, será importante que la fuerza laboral aprenda nuevas habilidades para permitir la continuidad del empleo o la transición a uno nuevo. Esto debido a que una preocupación particular con la IA es que los cambios ocurrirán tan rápido que habrá periodos sostenidos de tiempo en los que grandes segmentos de la población no estarán trabajando [Furman y Seamans, 2019].

En general, se puede concluir que la IA está cambiando la forma en que se producen y distribuyen los bienes y servicios en todo el mundo. Este fenómeno tiene lugar mediante la optimización de la cadena de suministro, las mejoras aún en proceso de la logística y entrega, la reducción de costos y la optimización de la eficiencia. La IA no sólo aumentará el valor de los puestos de trabajo con un alto contenido de competencias relacionadas

con el ser humano, sino que también dará lugar a la creación de nuevos puestos de trabajo empresariales y tecnológicos impulsados por la IA. Sin embargo, al requerir mayores habilidades especializadas, se podrían agravar las desigualdades en el ingreso en algunas regiones [Abrardi *et al.*, 2019]. Al haber una reducción de los costos de producción y distribución, también habrá una reducción de costos para los consumidores. Esto conducirá a la disminución en los salarios de los trabajadores, lo que afectará negativamente la distribución del ingreso. La IA también podría estimular el espíritu empresarial y la innovación, ya que permite a las personas aprovechar los datos y la automatización para desarrollar nuevos productos y servicios. Esto podría crear oportunidades de empleo y reducir la diferencia de ingresos entre trabajadores y empresarios.

LOS EFECTOS DE LA IA POR EL LADO DE LA DEMANDA DE BIENES Y SERVICIOS

Los efectos de la IA sobre los componentes de la demanda agregada, el consumo y la inversión privados pueden ser tanto positivos como negativos. Estos efectos dependen de diferentes factores, como las tecnologías de IA específicas que se utilizan, los sectores y mercados a los que se aplican, además del contexto social y económico en el que surgen. No obstante, muchos de los cambios impulsados por la IA podrían generar, efectivamente, un mayor gasto del consumidor a nivel desagregado y también un desplazamiento de la curva de demanda agregada al fomentar una mayor inversión privada.

De la misma manera que con la oferta de bienes y servicios, los posibles efectos sobre el consumo se pueden atribuir a una gran variedad de mecanismos que discutimos a continuación. En primer lugar, la IA puede ser utilizada para analizar los datos de los consumidores, como su historial de compras y sus interacciones con la empresa, para identificar los patrones y preferencias individuales y así adaptar los productos y servicios a dichas preferencias. Por ejemplo, los asistentes virtuales podrían ayudar a los consumidores a resolver problemas y responder preguntas, lo que mejora la satisfacción del cliente y reduce tiempos de espera en la adquisición de bienes o servicios.

En segundo lugar, los algoritmos pueden ayudar a los consumidores a organizar mejor la información y elegir con más eficiencia. Por ejemplo, los sistemas de recomendación impulsados por la IA pueden ayudar a los consumidores a descubrir productos adaptados a sus necesidades y preferencias individuales. Por tanto, los algoritmos aumentan la probabilidad de que las personas intensifiquen su consumo. Debido a la capacidad del algoritmo para realizar búsquedas mucho más extensas que el consumidor, este puede obtener productos con mayor calidad a mejores precios. Asimismo, al hacerlo reduce la probabilidad de que el cliente pague precios excesivos por los

productos que compra. Es decir, en general las personas adquieren bienes y servicios debido a que los necesitan, pero también porque obtienen un mejor precio [Marwala y Hurwitz, 2017].

Adicionalmente, los algoritmos podrían ayudar a superar el problema de la sobrecarga de información que enfrentan los consumidores al hacerse cargo del procesamiento de la misma. De hecho, pueden cambiar el proceso de toma de decisiones al permitir que los consumidores externalicen las decisiones de compra a los algoritmos. De esta manera, los algoritmos ayudarían a los consumidores a superar los sesgos de comportamiento, tomar decisiones más racionales y empoderarlos contra las técnicas de ventas [Abrardi *et al.*, 2019].

Por tanto, mediante el aprendizaje la IA puede garantizar la mejor simulación de las curvas de demanda de bienes y servicios [Marwala y Hurwitz, 2017]. La automatización y digitalización de diferentes procesos comerciales crearán un entorno minorista más competitivo que conduzca a mejores servicios y más personalizados para los consumidores. Un mayor desarrollo del comercio móvil también significa un aumento en el acceso a productos y servicios globales, lo que brinda una mejor calidad de los servicios y una menor dependencia de la ubicación geográfica de los clientes [Saritas *et al.*, 2021]. Con el desarrollo de la IA, las compras en línea y el análisis de *big data* se pueden crear modelos de precios individualizados porque es posible visualizar las curvas de demanda, de manera que se obtiene un precio de equilibrio individual; asimismo, es posible estudiar la elasticidad de precios individualizada.

Por otra parte, respecto de los mecanismos mediante los cuales la IA afectará la inversión privada, podemos afirmar que la IA permitirá identificar nuevas oportunidades de inversión y mercados, aumentando la inversión. El análisis de los datos de los consumidores permitiría a las empresas identificar los mercados potenciales y direccionar de manera más correcta sus inversiones y su producción. De hecho, la IA en sí misma constituye una fuente posible de oportunidades de inversión, pues transformará una gran cantidad de industrias. Por ejemplo, el desarrollo de las nuevas tecnologías siempre ha generado una mayor rentabilidad de las empresas.

Igualmente, la IA empieza a desempeñar un papel activo en los mercados financieros. Este sector cuenta con el soporte de las iniciativas para el acceso a la financiación y la inclusión financiera por parte de los países del G-20. Financiar un proyecto o encontrar capital y préstamos para inversiones será mucho más fácil que hoy, lo que facilitará a los emprendedores y a las pequeñas y medianas empresas descubrir y producir con mayor facilidad, de lo que se beneficiarán las empresas para invertir en más investigación, innovación y patentes para lanzar nuevos productos y tecnologías. Se espera que la financiación y el apoyo a las pequeñas empresas contribuyan a alcanzar los objetivos de inflación, crecimiento del PIB y tasa de desempleo en muchos países, como los de la Unión Europea y Estados Unidos [CGAP y Group, 2010].

Así, un efecto específico que podría surgir sería el impacto del desarrollo de la IA en la inversión y el empleo en la industria de servicios, ya que el desarrollo de IA aceleraría el flujo de mano de obra en todas las industrias. Por tanto, la aplicación de la IA conduce a que una gran cantidad de mano de obra excedente de fabricación fluya hacia la industria de servicios, principalmente hacia la venta al por mayor y al por menor. Las empresas podrán obtener ventajas competitivas utilizando la IA como asesores de confianza para los consumidores y, además, aprovechar estas capacidades para construir ventajas competitivas en la economía digital [Dawar y Bendle, 2018; Edelman y Abraham, 2022]. Lo anterior puede conducir a un aumento de los ingresos y/o a una reducción de los costes de las empresas [Hang y Chen, 2022].

El desarrollo de la IA también ha incrementado la demanda de mano de obra altamente calificada, la cual es difícil de sustituir [Luo *et al.*, 2021]. De hecho, en el mercado laboral la IA cambiará la demanda de habilidades, pues los establecimientos con estructuras de tareas adecuadas para la IA dejarán de publicar vacantes en las que se enumeran una serie de calificaciones previamente buscadas y empezarán a publicar requisitos de calificación adicionales. Estos datos sugieren que algunas de las tareas que los trabajadores solían realizar en dichos establecimientos ya no son necesarias, al tiempo que se introducen nuevas competencias. Los lugares expuestos a la IA reducirán su contratación no relacionada con la IA y su contratación global en general [Acemoglu *et al.*, 2019].

LOS EFECTOS DE LA IA EN LA DISTRIBUCIÓN DEL INGRESO

Los efectos de la IA en la distribución del ingreso a escala mundial dependerán de diversos factores, como las tecnologías de IA específicas que se utilicen, los sectores y mercados a los que se apliquen y el contexto social y económico en el que surjan. Aunque el desplazamiento de puestos de trabajo y la desigualdad de ingresos resulten preocupantes, también existe la posibilidad de que aumenten la productividad y la innovación empresarial, lo que podría dar lugar a mayores ingresos y a una reducción de la brecha salarial en algunas economías localizadas.

La literatura existente sugiere que la inteligencia artificial podría reducir la demanda de mano de obra y ralentizar el crecimiento de los salarios, aumentando la desigualdad entre los trabajadores y los propietarios de la tecnología [Korinek y Stiglitz, 2021b]. Al parecer, los trabajadores menos calificados serán los más afectados. Si la dirección del progreso viene determinada exclusivamente por las fuerzas del mercado, entonces nuestro futuro tecnológico estará asociado a las fallas del mercado. Es un hecho que los mercados pueden ser eficientes, pero no tienen en cuenta los problemas de la distribución del ingreso. Stiglitz [2014] argumentó que el desempleo aumentará debido a la elección de sustitución de los propietarios del capital o de los recursos humanos, gestores de la eficiencia y la innovación.

La automatización y la sustitución de mano de obra por máquinas tendría un mayor impacto en los trabajadores de bajos ingresos y en quienes ocupan puestos menos calificados y rutinarios que pueden ser reemplazados más fácilmente [Abrardi *et al.*, 2019]. De hecho, en las últimas décadas se ha observado una tendencia a la reducción en la participación de los salarios en el ingreso a nivel mundial [Karabarbounis y Neiman, 2014]. El progreso tecnológico ha sido señalado como uno de los factores que explican dicha tendencia. Al parecer, esto se debe a que la tecnología reemplaza al trabajo en lugar de aumentar la productividad del trabajo como lo hicieron las tecnologías tradicionales [Lu y Zhou, 2021]. Esto tendría consecuencias como la desigualdad en la distribución del ingreso, debido a que sólo quienes sean capaces de adaptarse a nuevos trabajos tendrán más probabilidades de beneficiarse de la mayor productividad y eficiencia que reporta el uso de la IA.

Cabe destacar que las tecnologías digitales se pueden implementar a un costo muy reducido una vez que se han desarrollado. Por tanto, podrían dar lugar a monopolios naturales, lo que conduciría a posiciones de mercado dominantes en las que las grandes empresas se apoderan de una gran fracción del mercado, ya sea porque son mejores que cualquier competidor o porque nadie intenta duplicar sus esfuerzos y competir [Korinek y Stiglitz, 2021]. En este contexto, la falta de regulación podría llevar a una mayor concentración de poder y riqueza en manos de las empresas líderes en tecnología. Esto puede conducir a más desigualdades en la distribución de ingresos a nivel mundial.

Los efectos de la IA en la distribución de la renta también podrían depender de quién invierte y adopta las tecnologías. Si es desarrollada y utilizada principalmente por grandes empresas, podría exacerbar la desigualdad de ingresos al consolidar el poder económico y el control sobre el uso de los datos. Sin embargo, si la IA se desarrolla y despliega de forma más equitativa y democrática, podría tener un impacto más positivo en la distribución de la renta. Sin embargo, muchas de las aplicaciones de la IA que mejoran el desarrollo de un país son patentadas en economías avanzadas y son estas mismas naciones, que de por sí ya son ricas, las que ostentan el uso y aprovechamiento de estas tecnologías. Los países en desarrollo podrían perder los beneficios de la IA en dos sentidos: en primera instancia, al no tener acceso a ingresos fiscales generados por las empresas innovadoras debido a la forma particular en que los tratados fiscales internacionales permiten gravar los servicios digitales; y en segunda instancia, al no tener permitido acceder a las aplicaciones de la IA porque están patentadas y no pueden obtener el beneficio de utilizarlas para su desarrollo [Ernst *et al.*, 2019].

Una tecnología que sustituye a los trabajadores no calificados y complementa a los trabajadores calificados provocaría un descenso relativo de los salarios de los trabajadores no calificados, manteniendo el empleo en ambos sectores, pero a un precio de equilibrio diferente [Furman y Seamans, 2019]. En otras palabras, el empleo puede preservarse, pero a costa de una mayor desigualdad, lo que reafirma que la inteligencia artificial puede cambiar

radicalmente la economía. Si se agrava la brecha de ingresos entre la mano de obra altamente calificada y la poco calificada, se amplía la desigualdad salarial basada en los rendimientos de la educación y la brecha salarial entre industrias, lo que da lugar a una distribución de los ingresos sesgada hacia los grupos de mano de obra altamente calificada y educada [Gua *et al.*, 2022].

El temor a estos cambios en el desplazamiento laboral ha motivado el interés por la implementación de políticas redistributivas como una Renta Básica Universal (RBU), que sustituiría parcial o totalmente los actuales programas de protección social. Aunque menos a menudo enmarcadas como una respuesta a la IA, existen otras dos ideas de mayor envergadura que han despertado interés en los últimos años y que podrían servir como alternativas a la RBU: la primera es un sistema a gran escala de subsidios salariales para ayudar a crear un incentivo para el trabajo y aumentar la recompensa por trabajar, y la segunda es el empleo federal garantizado [Ernst *et al.*, 2019].

LOS RIESGOS ECONÓMICOS DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL

La expansión de la IA no podrá avanzar sin algunos costos y riesgos que las economías deben internalizar para aprovechar de mejor manera sus beneficios. A nivel individual, la IA podría suscitar preocupaciones sobre la privacidad y la seguridad, lo que llevaría a algunos consumidores a limitar su consumo o a cambiar sus hábitos de consumo. De hecho, aún hay una gran parte de consumidores que dudan en usar la IA debido a la aversión a los algoritmos y a la preocupación por la privacidad y falta de transparencia [Hang y Chen, 2022].

Otros de los desafíos de la implementación de la IA para los países en desarrollo y en algunos sectores como en la manufactura son: la baja tasa de implementación de la IA debido a la mano de obra menos calificada (lo cual haría necesario una mayor educación sobre las tecnologías cognitivas y su uso); muchas organizaciones se muestran reacias a implementar la IA debido a su alto costo; los datos utilizados en la IA son confidenciales y, por tanto, de naturaleza sensible; la IA requiere profesionales capacitados, pero actualmente hay escasez de dicho personal; las tecnologías de IA e innovación tienen un alto costo de innovación y desarrollo (I+D); el diseño de producción puede ser inflexible en la implementación de la tecnología de IA; la demanda del producto y su calidad es dinámica; falta una infraestructura informática adecuada; las organizaciones desconfían de asumir la responsabilidad y la rendición de cuentas en la implementación de la IA y los riesgos asociados; existe un concepto erróneo relacionado con la compatibilidad entre humanos y máquinas y su efecto en la eficiencia; falta de confianza por claridad y transparencia en el intercambio de información mediante la alfabetización en IA, con el avance de los algoritmos de IA y su contribución en la toma de decisiones; los desafíos éticos se perfilan como

grandes retos; y la percepción de que las personas que pierden su trabajo impactan en el bienestar económico [Sharma *et al.*, 2022].

Algunos de los efectos de la IA en el sistema financiero, como el uso de bitcoin (dinero electrónico), serán un gran rival para los bancos y los bancos centrales, lo que provocará una mayor volatilidad en el mercado financiero y la economía. Los ingresos y las pérdidas de señoreaje de los bancos centrales se producirán si no se regulan globalmente. Basándose en las nuevas tendencias como la inteligencia artificial, la robótica y mecatrónica, *big data* y minería, computación en la nube, redes neuronales o principales tendencias como los medios sociales y por medio de las futuras orientaciones de los servicios bancarios y financieros, la humanidad y entornos empresariales incluidos, entre otros, los gobiernos y las organizaciones relacionadas buscarán nuevas oportunidades para reducir costes y aumentar los ingresos mediante la eficiencia y la productividad. Las empresas podrían conseguir más rentabilidad y sostenibilidad solo siguiendo dos opciones: minimizar los costes o maximizar el valor [Dirican, 2015].

Otro riesgo es que los cambios impulsados por la IA se producirán tan rápidamente que habrá periodos sostenidos en los que grandes segmentos de la población no trabajen. Estos rápidos cambios y la posible perturbación de la mano de obra sugieren que es importante que existan políticas de apoyo a los trabajadores y de reciclaje profesional [Furman y Seamans, 2019]. Adicionalmente, a medida que la dependencia de las personas en la máquina crezca, las máquinas tendrán un control efectivo y las personas dependerán de ellas y tendrán miedo de tomar sus decisiones por sí mismas [Abrardi *et al.*, 2019].

Acemoglu y Restrepo [2019] encuentran que la adopción de robots tiene efectos significativos y negativos en el empleo del sector automotriz de Estados Unidos. El trabajo humano se vuelve redundante y menos competitivo, por lo que estas tecnologías dan como resultado un cambio en la combinación de capital-trabajo y en la composición de la demanda laboral. El efecto de sustitución de la IA ha provocado un aumento del desempleo, un “exceso de oferta” y una competencia laboral más intensa entre la mano de obra poco calificada [Gua *et al.*, 2022]. Los trabajos que involucran tareas repetitivas y rutinarias son los que están en mayor riesgo de ser reemplazados por máquinas inteligentes.

Las aplicaciones basadas en la IA están sustituyendo las tareas realizadas por trabajadores de calificación media y alta, lo que podría dar lugar a una reducción de las primas salariales para los trabajadores calificados, esto debilitaría la presión a favor de la polarización del empleo. En otras palabras, la falta de calificación podría no ser un obstáculo para el uso de la IA y, por tanto, estimular la demanda de este tipo de mano de obra. Por otro lado, los trabajadores calificados podrían dejar de beneficiarse de una relación complementaria con el capital, en particular si sus calificaciones no coinciden con los requisitos para el desarrollo y la implementación de nuevas aplicaciones de IA [Ernst *et al.*, 2019].

Otra de las limitaciones para la IA se encontraría en el comercio móvil, pues a pesar de su desarrollo y el de las tecnologías afines, así como de los ajustes realizados por los gobiernos y las organizaciones empresariales para asegurar los sistemas de pago y los datos personales de los ciudadanos, aún quedan varias amenazas por abordar. En primer lugar, el comercio móvil depende en gran medida de la confianza de los clientes y de la voluntad de compartir parte de la información personal. En segundo lugar, la alta dependencia de las transacciones de comercio móvil puede ser riesgosa desde la perspectiva de la seguridad, incluidos los hilos de intrusiones con el objetivo de controlar a distancia los dispositivos móviles y, en consecuencia, las cuentas bancarias. Las soluciones de seguridad adicionales, por regla general, aumentan el precio de los bienes y servicios. Finalmente, las estrictas regulaciones nacionales de protección de datos personales podrían conducir a la pérdida de empresas extranjeras de los mercados regionales de comercio móvil [Saritas *et al.*, 2021].

La automatización impulsada por la IA podría aumentar aún más la informalidad, a menos que los gobiernos garanticen una amplia adopción y difusión del cambio tecnológico digital más allá de los sectores de la cadena de suministro. Es decir, el potencial de mejora de la productividad de la IA es real, pero las características específicas de esta nueva tecnología requieren respuestas políticas diferentes a las anteriores oleadas de cambio tecnológico para generar beneficios compartidos para el mundo del trabajo [Ernst *et al.*, 2019]. Del mismo modo que la mano de obra calificada es menos elástica que la no calificada, los intangibles, como la inteligencia artificial o los robots, pueden no ser fácilmente reproducibles debido a los derechos de propiedad intelectual, la propiedad de datos o los límites físicos al consumo de energía y recursos naturales, lo que provoca que la oferta de este capital de alta tecnología sea menos elástica [Ernst *et al.*, 2019].

COMENTARIOS GENERALES

Aún existe gran incertidumbre sobre las implicaciones económicas de la IA. Algunos autores argumentan que es una innovación menos relevante que las ocurridas en el siglo xx y que su impacto será limitado. Sin embargo, otros argumentan que la IA llevará a un progreso tecnológico más rápido que cualquiera que la humanidad haya visto antes [Korinek y Stiglitz, 2021]. Se argumenta que la influencia que tendrá la IA en la recomposición de tareas y trabajos dependerá, en parte, de las políticas tecnológicas y de la innovación que se implementen para orientar el progreso tecnológico de manera socialmente deseada [Ernst *et al.*, 2019]. Para que los beneficios del progreso tecnológico basado en la IA sean ampliamente compartidos, es indispensable tener en cuenta los riesgos en forma de nuevos aumentos de la desigualdad.

Muchos creen que la IA y otras formas de automatización avanzada, incluidos los robots y los sensores, pueden considerarse una tecnología de propósito general (GPT) que permite

una gran cantidad de innovación posterior que, en última instancia, conducirá al crecimiento de la productividad [Cockburn *et al.*, 2018]. Sin embargo, si esta teoría es cierta, cabe preguntarse por qué, a pesar de los rápidos avances tecnológicos recientes en IA, no hay todavía mejoras evidentes [Furman y Seamans, 2019].

El diseño de políticas regulatorias debe centrarse en encontrar un equilibrio entre fomentar la divulgación de la IA sin dejar de lado los valores sociales. A medida que siga creciendo y se difunda, la IA tendrá consecuencias para el empleo y la desigualdad, por lo que la política educativa, la seguridad social y las normas antimonopolio deberán abordar estas consecuencias [Agrawal *et al.*, 2019].

Dado el avance acelerado de las tecnologías basadas en la IA, un desafío clave que permanece en la agenda es brindar apoyo a quienes están en la transición tecnológica y garantizar la cohesión social. Los impuestos y beneficios juegan un papel importante para ayudar a los trabajadores a hacer frente a las transiciones hacia nuevas oportunidades en diferentes ocupaciones, sectores o ubicaciones [Ernst *et al.*, 2019].

La desigualdad y el desempleo entre los trabajadores (poco calificados) dependerán también de la medida en que las máquinas sean complementarias de la mano de obra altamente calificada. La complementariedad entre la mano de obra calificada y las máquinas no depende únicamente de factores tecnológicos, como ha demostrado la historia de las distintas oleadas de revoluciones industriales [Ernst *et al.*, 2019]. La mano de obra calificada es menos elástica que la no calificada, un factor clave detrás de la prima salarial por calificación.

Bajo una perspectiva macroeconómica, la IA podría ser una solución para el estancamiento de la productividad que ha estado presente desde hace ya algunos años en las economías más desarrolladas. Las máquinas desarrolladas con IA son un híbrido de capital y mano de obra, capaces de producir resultados a gran escala, y pueden aprender de los datos y actuar sobre lo aprendido. Un punto clave para evaluar el impacto potencial de la IA en la disrupción del mercado laboral es la velocidad con la que se llevan a cabo las innovaciones. Si los cambios se dan de manera acelerada, la economía se enfrentará a un periodo sostenido en el que habrá grandes segmentos de población que se encontrarán desempleados. Estos cambios rápidos y la posible interrupción de la fuerza laboral señalan la importancia de que se creen políticas para apoyar a los trabajadores y se progrese en su reentrenamiento [Abrardi *et al.*, 2019].

La IA presenta desafíos para la desigualdad salarial y el desempleo. La formulación de políticas tendrá un papel central en la determinación de los patrones de difusión y el impacto de la revolución tecnológica [Agrawal *et al.*, 2019]. Sin embargo, los efectos económicos de los avances tecnológicos más recientes van más allá del impacto que puedan tener en el mercado laboral. Las herramientas basadas en IA pueden brindar un gran apoyo a los formuladores de políticas, ya que pueden mejorar la precisión de las políticas y mejorar el alcance

de su acción. La tecnología puede mejorar la capacidad para predecir respuestas, pero no ayuda a equilibrar intereses ni favorece la involucración en la política [Abrardi *et al.*, 2019].

La nueva tecnología puede transformar las maneras de interacción entre los individuos, las sociedades y los gobiernos. Varios gobiernos nacionales han buscado definir una ruta estratégica para implementar la IA y planificar un futuro digital para los servicios públicos. Países como India se encuentran en la fase de planificación para establecer una agenda para futuras iniciativas de IA en el sector público [Sharma *et al.*, 2022]. A medida que la IA ha revolucionado el panorama, se dará una nueva clasificación para las empresas y los clientes respecto a la adopción, implementación e integración de nuevas aplicaciones y flujos de trabajo. Es relevante que tanto las organizaciones empresariales como las autoridades gubernamentales prioricen las áreas en las que la IA provocará beneficios positivos, visibles, rápidos y generalizados.

Un nuevo régimen fiscal global para la era digital permitiría a los países aumentar impuestos sobre las transacciones que ocurren dentro de sus fronteras. Una tasa impositiva mínima global sobre el capital puede alentar la innovación que ahorra capital y utiliza mano de obra. La política de competencia trasciende las fronteras nacionales cada vez más habitualmente, por lo que las autoridades nacionales no pueden garantizar un mercado competitivo. Los regímenes de propiedad intelectual actuales no están en sintonía con las necesidades y circunstancias de los países en desarrollo, por lo que deben reformarse. Se debe abordar una política de la información y una regulación de datos a niveles supranacionales, esto ayudaría a dar voz a los países en desarrollo que de otro modo no podrán elaborar políticas para resolver estas problemáticas [Korinek y Stiglitz, 2021b].

Si el progreso tecnológico deteriora los términos de intercambio y socava la ventaja comparativa de países enteros, y las medidas de política interna no son suficientes para compensar a los perdedores, naciones enteras pueden verse perjudicadas. Esto podría pasar con la introducción de la IA [Korinek y Stiglitz, 2021b].

Por otro lado, la IA tiene el potencial de aumentar la productividad y el crecimiento económico, lo que podría conducir a mayores ingresos para los trabajadores y a una reducción de la desigualdad de ingresos. Al automatizar las tareas rutinarias y aumentar la eficiencia, la IA podría liberar recursos y tiempo para que los trabajadores se centraran en tareas de mayor valor, lo que lograría un aumento de los salarios y empleos más calificados. Sin embargo, esto sólo pasaría si la productividad y el crecimiento estuvieran correctamente distribuidos.

La IA ha tenido un impacto grande en muchos sectores y ocupaciones, pero existe el temor de incrementar la pérdida de empleo y de control, ya que esta nueva ola de cambio impulsaría a la mano de obra a plantearse nuevos retos y tareas sobre la producción y los costes laborales. Si bien la IA ofrece mayor oportunidad de mejorar la productividad, de

reducir costes de capital; o bien, de impulsar la difusión de los mercados y su concentración, también incrementa o presiona la pérdida de empleos y la desigualdad en la distribución de la renta.

En consecuencia, los gobiernos deben promover la creación de mayores capacidades y habilidades en los trabajadores que les permitan desarrollar las nuevas competencias que se necesitan, tales como las habilidades matemáticas, la programación y el mantenimiento de la IA [Lu y Zhou, 2021].

BIBLIOGRAFÍA

- Abrardi, L.; C. Cambini y L. Rondi [2019], "The Economics of Artificial Intelligence: A Survey". *Social Science Research Network*. <<https://doi.org/10.2139/ssrn.3425922>>.
- Abrardi, L.; C. Cambini y L. Rondi, L. [2022], "Artificial intelligence, firms and consumer behavior: A survey". *Journal of Economic Surveys*, 36(4): 969-991. <<https://doi.org/10.1111/joes.12455>>.
- Acemoglu, D. y P. Restrepo [2019], "Artificial Intelligence, Automation, and Work". *The Economics of Artificial Intelligence: An Agenda*: 197-236. Chicago: University of Chicago Press. <<https://doi.org/10.7208/9780226613475-010>>.
- Agrawal, A.; J. S. Gans y A. Goldfarb [2019a], "Economic Policy for Artificial Intelligence". *Innovation Policy and the Economy*, 19, 139-159. <<https://doi.org/10.1086/699935>>.
- Agrawal, A.; J. Gans y A. Goldfarb [2019b], "The Impact of Artificial Intelligence on Innovation". *The Economics of Artificial Intelligence: An Agenda*. Chicago: University of Chicago Press. <<https://doi.org/10.7208/9780226613475>>.
- Balasubramanian, N.; Y. Ye y M. Xu [2022], "Substituting Human Decision-Making with Machine Learning: Implications for Organizational Learning". *Academy of Management Review*, 47(3), 448-465. <<https://doi.org/10.5465/amr.2019.0470>>.
- CGAP y Group, T. W. [2010], "Changes in access to financial services. Financial Access 2010", *The State of Financial Inclusion Through the Crisis*, 1(1), 5-11. Disponible en: <<https://goo.su/Rdidz>>.
- Cockburn, I. M.; R. Henderson y S. Stern [2018], "The Impact of Artificial Intelligence on Innovation: An Exploratory Analysis". *The Economics of Artificial Intelligence: An Agenda*. Chicago: University of Chicago Press. <<https://doi.org/10.7208/9780226613475>>.
- Davenport, T. H.; A. Guha, D. Grewal y T. Bressgott [2020], "How artificial intelligence will change the future of marketing". *Journal of the Academy of Marketing Science*, 48(1), 24-42. <<https://doi.org/10.1007/s11747-019-00696-0>>.
- Dawar, N. y N. Bendle [2018], "Marketing in the Age of Alexa". *Harvard Business Review*, 96(3), 80-86.

- Dirican, C. [2015], "The Impacts of Robotics, Artificial Intelligence on Business and Economics". *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 195, 564-573. <<https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.06.134>>.
- Edelman, D. C. y M. Abraham [2022], "Customer Experience in the Age of AI". *Harvard Business Review*, 100(2), 116-125.
- Ernst, E.; R. Merola y D. Samaan [2019], "Economics of Artificial Intelligence: Implications for the Future of Work". *IZA Journal of Labor Policy*, 9(1). <<https://doi.org/10.2478/izajolp-2019-0004>>.
- Furman, J. y R. Seamans [2019], "AI and the Economy". *Innovation Policy and the Economy*, 19, 161-191. <<https://doi.org/10.1086/699936>>.
- Gu, T.; S. Zhang y R. Cai [2022], "Can Artificial Intelligence Boost Employment in Service Industries? Empirical Analysis Based on China". *Applied Artificial Intelligence*, 36(1). <<https://doi.org/10.1080/08839514.2022.2080336>>.
- Hang, H. y Z. Chen [2022], "How to realize the full potentials of artificial intelligence (AI) in digital economy? A literature review". *Journal of Digital Economy*, 1(3), 180-191. <<https://doi.org/10.1016/j.jdec.2022.11.003>>.
- Karabarbounis, L. y B. Neiman [2014], "The Global Decline of the Labor Share". *Quarterly Journal of Economics*, 129(1), 61-103. <<https://doi.org/10.1093/qje/qjt032>>.
- Korinek, A. y J. E. Stiglitz [2021a], "Artificial Intelligence, Globalization, and Strategies for Economic Development". *Social Science Research Network*, 1-53. <<https://doi.org/10.36687/inetwp146>>.
- Korinek, A., y J. E. Stiglitz [2021b], "Covid-19 driven advances in automation and artificial intelligence risk exacerbating economic inequality". *BMJ*, n367. <<https://doi.org/10.1136/bmj.n367>>.
- Kot, S.; H. I. Hussain, S. Bilan, M. Haseeb y L. W. Mihardjo [2021], "The role of artificial intelligence recruitment and quality to explain the phenomenon of employer reputation". *Journal of Business Economics and Management*, 22(4), 867-883. <<https://doi.org/10.3846/jbem.2021.14606>>.
- Lu, Y. y Y. Zhou [2021], "A review on the economics of artificial intelligence". *Journal of Economic Surveys*, 35(4), 1045-1072. <<https://doi.org/10.1111/joes.12422>>.
- Luo, X.; M. S. Qin, Z. Fang y Z. Qu [2021], "Artificial intelligence coaches for sales agents: caveats and solutions". *Journal of Marketing*, 85(2), 14-32. <<https://doi.org/10.1177/0022242920956676>>.
- Marwala, T. y E. Hurwitz [2017], "Artificial intelligence and economic theory: skynet in the market". *Advanced information and knowledge processing*. <<https://doi.org/10.1007/978-3-319-66104-9>>.
- Saritas, O.; P. Bakhtin, I. Kuzminov y E. Khabirova [2021], "Big data augmented business trend identification: the case of mobile commerce". *Scientometrics*, 126(2), 1553-1579. <<https://doi.org/10.1007/s11192-020-03807-9>>.

- Sharma, M.; S. Luthra, S. Joshi y A. Kumar [2022], "Implementing challenges of artificial intelligence: Evidence from public manufacturing sector of an emerging economy". *Government Information Quarterly*, 39(4), 101624. <<https://doi.org/10.1016/j.giq.2021.101624>>.
- Somjai, S.; K. Jermstittiparsert y T. Chankoson [2020], "Determining the initial and subsequent impact of artificial intelligence adoption on economy: a macroeconomic survey from ASEAN". *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, 39(4), 5459-5474. <<https://doi.org/10.3233/jifs-189029>>.
- Stiglitz, J. E. [2014], "Unemployment and innovation". *Social Science Research Network*. Social Science Electronic Publishing. <<https://doi.org/10.3386/w20670>>.

2. Inteligencia artificial y destrucción creativa*

Alicia Girón
Luis Daniel Beltrán

“El inventor produce ideas, el empresario ‘hace que las cosas se hagan’, lo que puede —pero no necesariamente— incorporar nada que sea científicamente nuevo”.

JOSEPH A. SCHUMPETER [1947]

La inteligencia artificial (IA)¹ irrumpió en la esfera social, económica y política a nivel global a partir de la covid-19. La innovación tecnológica aceleró el uso de la economía digital mediante diferentes plataformas para continuar el trabajo remoto. El avance del cómputo cuántico, la biotecnología y el internet de dispositivos habilitados para robótica, computación perimetral y 5G aceleraron los patrones de consumo en el confinamiento y se aceleraron en la pospandemia. La inteligencia artificial vino a incrustarse para ser parte de nuestra vida diaria. Con ello, la tecnología del *blockchain* y las criptomonedas [McKinsey y Company, 2022a] serán características fundamentales en el futuro económico y social de nuestra sociedad. Las naciones más desarrolladas podrán utilizar nuevas tecnologías para abordar problemas como la escasez de atención médica y el cambio climático; en cambio, para los países más pobres, estas tecnologías conducen a una mayor desigualdad. Además, conllevan riesgos potenciales como la difusión de información errónea y la pérdida de empleos en muchas industrias.

El capitalismo basado en el crédito, el mercado y la propiedad privada, en articulación con la ganancia, la tasa de interés y el ciclo económico, está inserto en un complejo sistema social en el que los diferentes cambios ocurren mediante la asimilación de nuevas innovaciones tecnológicas y combinaciones dirigidas. Utilizando el concepto de *creative*

* Este ensayo es resultado del proyecto “Tensiones en los mercados financieros, flujos de capital y riesgos crediticios” IN303024, PAPIIT-DGAPA. Los autores agradecen a Andrea Reyes las observaciones realizadas a este capítulo, así como a los becarios Valeria Manrique de servicio social, a los becarios Erick Velázquez y Jorge Hernández en la traducción del material de inglés al español y Adheli Galindo, becaria del Sistema Nacional de Investigadores del Conahcyt.

¹ Del inglés *artificial intelligence*.

destruction como vehículo central del libro de Schumpeter *La teoría del desarrollo económico. Una investigación sobre las ganancias, el capital, el crédito, los intereses y el ciclo económico*, publicado hace un siglo, los conceptos de innovación y emprendedor juegan un papel fundamental para entender el papel que la inteligencia artificial jugará a partir de este momento en el desarrollo del capitalismo.

INTRODUCCIÓN

A partir de la *creative destruction* y las diferentes combinaciones en el desenvolvimiento del capitalismo, uno de los grandes avances de la innovación tecnológica durante los últimos 40 años ha sido la inteligencia artificial. Esto se ha posibilitado al:

Encontrar formas de representar el conocimiento experto en formas que las computadoras puedan usar. Se deben encontrar métodos para mapear la información del mundo real en símbolos y operaciones que las computadoras puedan procesar. Muchos científicos cognitivos hacen distinciones entre el conocimiento declarativo (o conceptual) sobre las cosas y el conocimiento procedimental sobre cómo realizar tareas [Nelson, 1989: 82].

Más allá de ello, la IA “es un campo multidisciplinario de la ciencia y la ingeniería cuyo objetivo es crear máquinas inteligentes, y será un multiplicador de fuerza en el progreso tecnológico en nuestro mundo cada vez más digital y basado en datos” [Benaich y Hogarth, 2022].

La adopción de la IA:

Se ha más que duplicado desde 2017, aunque la proporción de organizaciones que utilizan la IA se ha estancado entre 50 y 60 % en los últimos años. Un conjunto de empresas que ven los rendimientos financieros más altos de la IA continúa adelantándose a la competencia. Los resultados muestran que estos líderes realizan mayores inversiones en IA, se involucran en prácticas cada vez más avanzadas (que se sabe que permiten escalar y acelerar el desarrollo de IA) y muestran signos de obtención de mejores resultados en el ajustado mercado de talento de IA. En cuanto al talento, por primera vez observamos de cerca la contratación y la mejora de las habilidades de la IA. Los datos muestran que hay un margen significativo para mejorar la diversidad en los equipos de IA y, de acuerdo con otros estudios, los equipos diversos se correlacionan con un desempeño sobresaliente [McKinsey, 2022b].

Para entender la innovación en el mundo de la tecnología y su importancia a raíz de la covid-19 y la pospandemia, resulta relevante el concepto de *creative destruction*,

que cobra actualidad a partir de la obra de Schumpeter *The theory of economic development. An inquiry profits, capital, credit, interest, and the business cycle*, escrito hace más de un siglo. Se profundiza la endogeneidad del dinero y el riesgo del empresario al innovar un producto cuya vida será desplazada por nuevas combinaciones. La innovación, característica fundamental del desenvolvimiento capitalista, es en sí una relación intrínseca entre los bancos y el empresario. La consideración importante en relación con la innovación es la vida de un producto que será desplazado por otro producto diferente al que está circulando en el mercado. A su vez, la innovación y su efecto en nuevas tecnologías y productos está incrustada en el ciclo económico por medio del crédito otorgado para el financiamiento de nuevos productos donde la tasa de interés, la mayor [tasa] entre las tasas propias de interés, la que gobierna el gallinero (porque es “la mayor de estas tasas”) [Keynes, 1936: 149], se relaciona con la creación de dinero por parte de los bancos para satisfacer la liquidez del empresario. A partir de la perspectiva de Minsky de que “cualquiera puede crear dinero” [Wray, 2011: 13] y la Gran Crisis Financiera (GCF) internacional (2007-2008), no sólo los bancos financiaron a los empresarios o grandes corporativos (como señala el “éforo del capitalismo” de Schumpeter), sino que la innovación financiera facilitó la financiarización y la expansión del *shadow banking system*.

Se trata de una relación dialéctica entre la demanda de liquidez para satisfacer el proceso de innovación por parte del empresario transformando la vida económica, política y social de nuestras sociedades. Para abordar el concepto de *creative destruction* o creación destructiva en relación con la concepción de la innovación, de la vasta obra de Schumpeter sólo abordamos su libro *The theory of economic development. An inquiry profits, capital, credit, interest, and the business cycle* y los artículos “The explanation of the business cycle”, “The instability of capitalism” y “The creative response in economic history”. Hay varias preguntas: ¿por qué es importante el concepto de innovación y su relación con el proceso de financiarización?, ¿quién detona los cambios en el desenvolvimiento económico? Por último, ¿cuál es la importancia de la figura del empresario en su relación con el ciclo económico?

INNOVACIÓN Y FINANCIAMIENTO

La aportación al proceso de innovación desde la perspectiva schumpeteriana, más allá de partir de la *creative destruction* en el desenvolvimiento del capitalismo, es la articulación del financiamiento al proceso continuo de búsqueda de nuevos productos y nuevas ganancias. De allí la importancia del vínculo entre el financiamiento y el proceso de innovación. En primer lugar, se plantea la obsesión de Schumpeter en torno al inventor y el empresario; en segundo, se aborda cómo Oscar Lange adopta la concepción de innovación a la teoría de la firma y Minsky profundiza en el financiamiento.

Autores como Castellacci y cols. [2005] mencionan que el “estudio de la innovación es una rama relativamente joven y de rápido crecimiento de las ciencias sociales”. Principalmente inspirado por el trabajo de Joseph Schumpeter y por otras tradiciones de investigación fuera de la corriente principal de la economía, se ha desarrollado como un campo interdisciplinario que trata las relaciones entre los cambios económicos, tecnológicos, organizacionales e institucionales.

En su teoría del desarrollo económico, Schumpeter señaló que la función principal de los empresarios en el sector privado es combinar los recursos existentes para proponer “nuevos usos y nuevas combinaciones” o “innovaciones” [Castellacci *et al.*, 2005: 91]. Por su parte, Sweezy, al reflexionar sobre el artículo “Business cycle”, menciona que “el factor causante del cambio, según el profesor Schumpeter, es la ‘innovación’, que se define como ‘hacer las cosas de manera diferente en el ámbito de la vida económica’” [“Business cycles”, Nueva York, 1939, vol. I: 84]. Se trata de una cuestión fundamental, según Sweezy, en su trabajo “Teoría de la innovación del profesor Schumpeter” publicado en *The Review of Economics and Statistics* [Sweezy, 1943: 93]. Por su parte, en su artículo “The creative response in economic history”, escrito en *The Journal of Economic History* [1947], Schumpeter menciona que si bien desde la visión neoclásica un aumento de la población reduciría el ingreso per cápita, hay cambios al interior del proceso de reproducción social que ayudan al incremento y mejoramiento de la vida en la sociedad. El desenvolvimiento en el que se da el capitalismo es un proceso de *adaptive response* que está respondiendo a una *creative response*. Schumpeter señala que la *creative response* tiene tres características esenciales y a continuación las enumera.

Primero, desde el punto de vista del observador que está en plena posesión de todos los hechos relevantes, siempre puede entenderse *ex post*, pero prácticamente nunca puede entenderse *ex ante*; es decir, no puede predecirse aplicando las reglas ordinarias de interferencia del hecho preexistente. Por tanto, el “cómo” en lo que más arriba se han llamado los “mecanismos”, debe investigarse en cada caso. En segundo lugar, la respuesta creativa da forma a todo el curso de los acontecimientos posteriores y su resultado a largo plazo.

No es cierto que ambos tipos de respuestas dominen sólo lo que a los economistas les gusta llamar “transiciones”, dejando que el resultado final lo determinen los datos iniciales. La respuesta creativa cambia las situaciones sociales y económicas para bien, o dicho de otro modo, crea situaciones en las que no hay puente hacia aquellas situaciones que podrían haber surgido en su ausencia. En tercer lugar, la respuesta creativa —la frecuencia de su ocurrencia en un grupo, su intensidad y éxito o fracaso— obviamente tiene algo que ver (mucho o poco) con: a) la calidad del personal disponible en una sociedad; b) la calidad relativa del personal; es decir, la calidad disponible para un campo particular

de actividad en relación con la calidad disponible, al mismo tiempo, para otros, y c) con decisiones, acciones y patrones de comportamiento individuales. “En consecuencia, un estudio de la respuesta creativa en los negocios se vuelve colindante con un estudio del espíritu empresarial” [Schumpeter, 1947: 151].

En el desenvolvimiento del capitalismo, Schumpeter señala nuevas articulaciones al interior del proceso de acumulación de capital donde hace hincapié en el papel del empresario y el administrador. “Una distinción necesaria es la que existe entre la empresa y la gestión: evidentemente, una cosa es establecer una empresa que incorpore una nueva idea y otra cosa es encabezar la administración de una empresa en marcha, por mucho que las dos se mezclen entre sí” [Schumpeter, 1947: 151]. Incluso menciona cómo la función empresarial es diferente a la del capitalista. “Nuevamente, es esencial señalar que la función empresarial, aunque facilitada por la propiedad de los medios, no es idéntica a la del capitalista”² [Schumpeter, 1947: 151-152]. A continuación, agrega la diferencia entre el inventor y el emprendedor:

Se necesita urgentemente nueva luz sobre la relación entre los dos, especialmente debido a las ideas que son actuales sobre este tema. En tercer lugar, es particularmente importante distinguir al emprendedor del “inventor”. Muchos inventores se han convertido en empresarios y la frecuencia relativa de este caso es sin duda un tema interesante para investigar, pero no existe una conexión necesaria entre las dos funciones. El inventor produce ideas, el empresario “hace que las cosas se hagan” lo que puede, pero no necesariamente, incorporar nada que sea científicamente nuevo [Schumpeter, 1947: 151-152].

Aunque en algunos casos de la vida real el inventor se vuelve empresario, en su teoría de la firma Oscar Lange incluye al empresario, inventor, *manager* y capitalista diferenciados por su tipo de actividad. Schumpeter [1947] cita a Oscar Lange, quien en su artículo “A Note on Innovations” [1943] recoge el concepto de *innovation* con relación al ciclo económico.³ Por su parte, Lange trae el concepto y lo adapta a la *theory of the firm*. Lange menciona que:

El impacto económico de una innovación depende de la forma en que afecta el costo marginal del producto, así como la productividad física marginal del insumo planeado para

² Se puede dar una definición exacta mediante el concepto de funciones de producción. Sobre esto, véase Oscar Lange, “A note on Innovations”, *Review of Economic Statistics*, XXV [1943]: 19-25.

³ El profesor Schumpeter dice: “Simplemente definiremos una innovación como el establecimiento de una nueva función de producción”. Véase su *Business Cycles, a theoretical, historical, and statistical analysis of the capitalist process* (Nueva York, 1939), vol. I: 87.

cualquier momento (actual o futuro). Esto proporciona una base para la clasificación de las innovaciones en términos de su efecto sobre la oferta de productos de la empresa y la demanda de factores de producción [Lange, 1943: 21].

Siguiendo los conceptos vertidos por Schumpeter, más adelante Lange menciona que “los efectos económicos de tales innovaciones se pueden dividir aproximadamente en dos periodos: un periodo de uso de factores de ‘gestación’ y un periodo de ‘operación’ de la innovación que aumenta la producción” [Lange, 1943: 21].⁴

Cuando la industria productora del bien considerado opera en condiciones de competencia perfecta y, además, está sujeta a libre entrada,⁵ el aumento en el valor descontado de la ganancia efectiva atrae nuevas empresas a la industria. La afluencia de nuevas empresas continúa hasta que la producción agregada de la industria planificada para algunas o todas las fechas aumenta⁶ lo suficiente como para reducir el valor descontado de la ganancia efectiva de las empresas al nivel cero [Lange, 1943: 23].⁷

Un producto deja de ser innovador cuando es utilizado por la mayoría de los consumidores y además ha bajado de precio por la competencia cuando “alguna consideración especial se debe a la naturaleza de las innovaciones en empresas que operan en condiciones de oligopolio y oligopsonio” [Lange, 1943: 23]. Lange se centra en las facultades que tiene el oligopolio para bajar los precios de los productos y favorecer las innovaciones tanto en la empresa como en la industria ahorrando los costos. A partir de Lange, podemos entender el concierto de las grandes corporaciones tecnológicas en comunicación y sus extraordinarias ganancias: “the so-called ‘magnificent seven’ —Apple, Microsoft, Meta, Amazon, Alphabet, Nvidia and Tesla— have been propping up the SyP 500 index of blue-chip US companies for most of the year because of investor excitement about the growth of artificial intelligence” [*Financial Times*, 2023]. Estas empresas han transformado las relaciones sociales en la vida diaria a nivel global.

⁴ “Esto ha sido señalado por el profesor Schumpeter, quien sobre esta base explica el mecanismo del ciclo económico, siendo el periodo de uso de factores responsable de la prosperidad y el periodo de aumento de la producción de la recesión” [Lange, 1943: 21].

⁵ La libre entrada puede estar ausente aunque la competencia sea perfecta en el sentido de ser atomista; es decir, ninguna empresa puede influir en los precios mediante la variación individual de sus productos e insumos.

⁶ Se supone que todas las curvas de demanda del producto tienen pendiente negativa.

⁷ El beneficio “normal” es igual a la suma de todas las primas de riesgo. Así, el beneficio efectivo, que es el beneficio después de la deducción de las primas de riesgo, es cero cuando el beneficio sin ajustar por la incertidumbre es “normal”.

¿QUIÉN FINANCIA LOS PROCESOS DE INNOVACIÓN?

A lo largo de la obra de Minsky, los bancos cobran un papel fundamental en el proceso de innovación. Minsky, alumno de Schumpeter y Lange, menciona que “los sistemas económicos no son sistemas naturales. Una economía es una organización social creada ya sea por medio de la legislación o por un proceso evolutivo de invención e innovación” [Minsky, 2008: 7]. La constante búsqueda de ganancia de los bancos se readapta permanentemente por medio de la innovación financiera. Minsky afirma que:

Las ganancias obtenidas por los banqueros aumentan a medida que los banqueros descubren formas de aumentar el rendimiento de sus activos o disminuir el costo de sus pasivos. Para hacer esto, los bancos innovan introduciendo nuevas formas de financiar negocios y recaudar fondos: nuevos instrumentos, nuevos tipos de contratos y nuevas instituciones surgen regularmente en un sistema financiero compuesto por unidades con fines de lucro [Minsky, 2008: 81].

La función del banquero es prestar al empresario creando nuevos productos de financiamiento bajo la presión de una constante innovación financiera para obtener mayores ganancias.

Un banquero siempre está tratando de encontrar nuevas formas de prestar, nuevos clientes y formas de adquirir fondos, es decir, de pedir prestado; en otras palabras, está bajo presión para innovar. La retención de utilidades conduce a una tasa mínima de crecimiento objetivo de las utilidades. Para que la tasa de ganancia de un banco se sostenga, si las ganancias por dólar de los activos no cambian, entonces los activos y los pasivos que no son de capital deben crecer al mismo ritmo que el valor en libros del capital [Minsky, 2008: 263].

El proceso de innovación financiera es una necesidad ante las nuevas demandas de financiamiento de las corporaciones. Los bancos satisfacen la demanda de crédito buscando ofrecer diferentes productos en los mercados financieros sin parar el proceso de inversión hasta que llega el momento de la inestabilidad financiera en el que, ante una crisis de insolvencia unida a un ciclo económico en descenso, entrará el banco central. Minsky señala que:

El proceso de inversión depende de la flexibilidad que le da la banca al sistema financiero. Pero los banqueros y otros operadores del mercado de dinero, al estar interesados en las ganancias, siempre están buscando nuevas formas de incrementar un dólar. Es necesario

que el sistema financiero responda a las cambiantes demandas comerciales de financiamiento, pero si la innovación financiera y la búsqueda agresiva de prestatarios superan las demandas de fondos para el financiamiento de inversiones, habrá fondos excedentes disponibles para financiar la demanda de bonos existentes, acciones comunes y bienes de capital [Minsky, 2008: 278].

Los bancos siempre estarán dispuestos a financiar al empresario ante nuevas innovaciones y satisfacer la demanda del financiamiento para continuar el ciclo económico. En cuanto las innovaciones de nuevos productos desplazan a viejos productos, estos dejan de ser consumidos y enfrentan al empresario al incumplimiento del crédito ante los bancos. Esta situación incita a los empresarios a contratar nuevos créditos para pagar los anteriores hasta llegar a un *Minsky Moment* en el que los empresarios se enfrentan a la quiebra de sus propias empresas ante el proceso de innovación y búsqueda de nuevas ganancias de competidores emergentes.

Minsky concluye que:

En una economía capitalista moderna con una estructura financiera compleja, las innovaciones resultan de las oportunidades de ganancias. La banca central es un juego de aprendizaje en el que el banco central siempre está tratando de afectar el desempeño de un sistema cambiante. La banca central sólo puede tener éxito si los banqueros centrales saben cómo se comporta la estructura institucional y evalúan correctamente cómo afectan los cambios al sistema. Los bancos centrales deben dirigir la evolución de la estructura financiera [Minsky, 2008: 359].

Para concluir este apartado, sólo resta mencionar que la destrucción creativa es inherente al desenvolvimiento tanto en el proceso de la producción y circulación como en la esfera financiera. Por último, en *Stabilizing an Unstable Economy* Minsky reconoce: “mis deudas intelectuales son muchas: desde mi educación tengo una gran deuda con Oscar Lange, Henry Simmons y Joseph Schumpeter” [Minsky, 2008: 96].

CICLO ECONÓMICO, AUGES Y QUIEBRAS BANCARIAS

Más allá de una teoría de la crisis, para Schumpeter la explicación de los ciclos de los negocios responde a un periodo de auge, una depresión y el inicio de un nuevo auge, incluso se puede observar el ciclo económico a partir del seguimiento estadístico de diferentes variables macroeconómicas como el GDP, la tasa de interés, las carteras vencidas y las ganancias de las empresas. Para Schumpeter, las crisis económicas no son crisis de sobreproducción ni devienen de causas externas como un conflicto

bélico o una restricción de la demanda o la oferta. Atrás de las crisis económicas se encuentran las innovaciones al interior del desenvolvimiento del sistema capitalista. En este sendero, el empresario, a partir de la innovación y la competencia por nuevos productos que sustituyen a los productos que se encuentran en circulación y en función de una mayor ganancia, desplaza a empresarios cuyas innovaciones se han vuelto obsoletas mediante nuevas participaciones de empresarios que han entrado *en masse* con nuevos productos. Schumpeter lo explica en una frase: “Y un nuevo auge sucede a la depresión cuando finaliza el proceso de reabsorción de las innovaciones” [Schumpeter, 1947: 213].

El ciclo económico, desde la óptica de Schumpeter, tiene tropiezos, retrocesos, quiebres, destrucción de empresas, desempleo y cambios estructurales que arrastran al pánico e incluso al *Minsky moment*, cuando las empresas contratan deuda para pagar deudas anteriores con la esperanza de sobrevivir. Esto conduce a un esquema Ponzi en el que el estado de la corporación se vuelve insostenible. Schumpeter destaca:

Si las innovaciones no son eventos individualmente pequeños ni aislados, las complicaciones se aglutinan sobre nosotros. La actividad empresarial afecta entonces a los salarios y a los tipos de interés desde el primer momento y se convierte en un factor —un factor fundamental en mi opinión— de los auges y depresiones. Ésta es una razón, pero no la única, por la que las ganancias empresariales no son rendimientos netos (1) para todo el conjunto de personas que intentan proyectos empresariales, (2) para el sector industrial en el que se producen las innovaciones, (3) para el capitalista interesado en financiar la actividad empresarial y para la clase capitalista en su conjunto [Schumpeter, 1947: 156].

Continúa:

Las ganancias del empresario exitoso y de los capitalistas que lo financian —pues siempre que el capital financia una empresa, el interés se paga con las ganancias empresariales, un hecho que es muy importante para nuestra comprensión del fenómeno del interés— deben estar relacionadas no con su esfuerzo y su préstamo, sino con el esfuerzo y los préstamos de todos los empresarios y capitalistas que intentaron y perdieron [Schumpeter, 1947: 156].

Al retomar los conceptos de Schumpeter, vertidos en el capítulo “The business cycle” del libro *The theory of economic development*, se observa que previamente al inicio de la Gran Crisis Financiera (GCF) de 2008 hubo años de prosperidad y crecimiento económico en los que la expansión del crédito y las ganancias en la esfera financiera, así como la internacionalización de los sectores productivos y de distribución, crearon burbujas en

los mercados financieros que, ante la quiebra de Lehman Brothers, incidieron en la necesaria intervención de la Reserva Federal de Estados Unidos para limpiar las carteras vencidas ante la fractura de los grandes corporativos bancarios, “muy grandes para quebrar, muy grandes para salvar” a nivel internacional.

Se trató de una crisis precedida por innovaciones financieras y cambios tecnológicos que posibilitaron un proceso de internacionalización de la producción y de la circulación del capital; flujos de capital sin mayores regulaciones; mercados financieros integrados en operaciones especulativas; y una brecha entre los poseedores de las acciones de los grandes corporativos frente a los trabajadores. Una crisis del neoliberalismo donde la financiarización y la globalización fueron los instrumentos para la obtención de grandes ganancias por medio de la innovación tecnológica en innumerables sectores como el financiero y las comunicaciones.

En el libro *The crisis of neoliberalism*, los autores introducen la innovación como un elemento clave en la construcción de la fragilidad e inestabilidad financiera después de varias décadas de crecimiento.

Esta explosión fue el efecto combinado del crecimiento de los mecanismos ya existentes y de la introducción de procedimientos innovadores. El libre comercio, la libre circulación de capitales en todo el mundo (inversión en el extranjero) y la globalización de los mecanismos financieros y monetarios son los pilares de la globalización neoliberal. Estas tendencias hacia la globalización fueron amenazantes y financiarizadas. En general, la financiarización y la globalización significaron la construcción de una estructura financiera frágil y difícil de manejar [Duménil y Lévy, 2011: 36].

La tendencia del ciclo económico que se inició con un profundo resquebrajamiento a partir del quiebre de 2007-2008 y continuó hasta la Gran Crisis del Confinamiento (GCC) y la pospandemia, siguió sin un futuro promisorio en el mediano plazo según el propio World Economic Outlook del Fondo Monetario Internacional [IMF, 2022].

En la actualidad, el pensamiento de Schumpeter está en sus innumerables artículos. El inicio de la Gran Crisis Financiera (GCF) internacional y el desenvolvimiento de la Gran Crisis del Confinamiento (GCC) y la pospandemia son espejo del artículo “The explanation of the business cycle” publicado en la revista *Economica* [1927], donde destaca que “la única causa de la depresión es la prosperidad” [Schumpeter, 1927: 294].

Para Bernanke, el entonces secretario del Tesoro de Estados Unidos, una de las principales causas del periodo de la moderación

se centra en el desempeño posiblemente mejorado de las políticas macroeconómicas, en particular la política monetaria. El patrón histórico de cambios en las volatilidades del

crecimiento de la producción y la inflación da cierto crédito a la idea de que una mejor política monetaria puede haber sido un factor importante para una mayor estabilidad económica [Bernanke, 2004].

Bernanke⁸ caracteriza esta época como un periodo de tasas de crecimiento sostenido que dieron la pauta para la GCF internacional y el desenvolvimiento de una etapa que Larry Summers describió como *secular stagflation*, antes del advenimiento de la covid-19. A raíz de las medidas implementadas por los bancos centrales durante el confinamiento, se revierte el ciclo económico a partir de los apoyos financieros para reactivar la economía.

En su artículo de la revista *Economica* [1927], Schumpeter menciona:

nuestra cuarta proposición es la del juglar, “la única causa de la depresión es la prosperidad”. Es decir que los fenómenos que tenemos por costumbre llamar “depresión” no son un amasijo irregular de perturbaciones, sino que pueden entenderse como la reacción de la vida empresarial a la situación creada por el *boom* o, más precisamente, como el movimiento de la vida empresarial hacia un nuevo estado de equilibrio conforme a los datos creados por el auge, siendo tal lo que puedo llamar depresión “normal” a diferencia de los estragos “anormales”, provocados incidentalmente por el pánico, y que producen sus propias consecuencias [Schumpeter, 1927: 294].

Después de un ciclo económico de largo crecimiento sin perturbaciones mayores como el periodo que Bernanke llama la “Gran moderación”, sin lugar a duda el periodo de estabilización creó las bases de la inestabilidad, una prosperidad reflejada en la transformación de un mundo global y financierizado. El auge que se vivió durante el periodo previo a la Gran Crisis Financiera (GCF) internacional fue de grandes procesos de innovación en diferentes sectores.

Esos auges consisten en la realización de innovaciones en el organismo industrial y comercial. Por innovaciones, entendí tales cambios de las combinaciones de los factores de producción que no pueden ser afectados por pasos infinitesimales o variaciones en el margen. Consisten principalmente en cambios en la organización industrial, o en la producción de un nuevo artículo, o en la apertura de nuevos mercados o de nuevas fuentes de material.

⁸ En su ponencia *The great moderation*, Bernanke caracteriza al periodo que antecede a la GCF con una tasa promedio de crecimiento del PIB de 3.71 % (1984-2006), acompañada de una política monetaria centrada en el control de la inflación (1995-2006), una tasa promedio de inflación de 6.09 % en comparación con la tasa de inflación de 22.85 % del periodo previo (1985-1995).

Los periodos recurrentes de prosperidad del movimiento cíclico son la forma que toma el progreso en la sociedad capitalista [Schumpeter, 1927: 295].

Más allá del ciclo de negocios y la teoría de la vida del producto, el proceso de innovación constante crea la inestabilidad económica. Al mismo tiempo, la innovación está ligada a una demanda de crédito.

Este proceso de innovación en la industria por la agencia de los empresarios proporciona la clave de todos los fenómenos del capital y del crédito. Sin embargo, como la innovación, al ser discontinua e involucrar un cambio considerable y ser un capitalismo competitivo, típicamente encarnado en nuevas empresas, requiere un gran gasto previo a la aparición de cualquier ingreso, el crédito se convierte en un elemento esencial del proceso [Schumpeter, 1928].

La complejidad que arroja el estudio de la innovación y la inestabilidad económica después de un periodo de moderación, anteriormente señalado, nos lleva a profundizar los cambios en las nuevas tecnologías donde la IA y la *blockchain*, como parte de un proceso de innovación constante, están relacionadas con el crédito y la financierización. La innovación constante en el campo de la tecnología hacia un proceso de una economía digital tiene una relación directa con el crédito y la tasa de interés. La digitalización es un proceso de innovación financiera que está ocurriendo en varios sectores de la economía. Al mismo tiempo, el desenvolvimiento de nuevos productos y la salida de combinaciones tanto en el circuito de la producción como en el de la circulación tienen una relación directa con la política de tasas de interés del banco central. Esto fue lo que sucedió en marzo de 2023 con las grandes ganancias que tuvieron Silicon Valley Bank, First Republic Bank y Signature Bank, que apostaron por inversiones digitales como las criptomonedas y otros servicios financieros cuyos depósitos no estaban garantizados por la Reserva Federal de Estados Unidos (Fed). A raíz del aumento de la tasa de interés de la Fed para bajar la inflación, sus activos se vieron afectados y en pocos meses el efecto de la quiebra de estos bancos medianos repercutió en la caída de los activos de UBS, Deutsche Bank, BNP Paribas y Credit Suisse. La intervención de la Fed, el Departamento del Tesoro y Federal Deposit Insurance Corp. aseguró los depósitos y tuvo el efecto de fortalecer a JPMorgan, Bank of America, Citigroup, Wells Fargo, Morgan Stanley y Goldman Sachs, lo que evitó una catástrofe financiera como la de Lehman Brothers.

INTELIGENCIA ARTIFICIAL (IA⁹) Y BLOCKCHAIN

La innovación a partir de la IA está transformando nuestro entorno no solo en relación con el mercado de trabajo, sino también en la manera en que los nuevos patrones de consumo de las generaciones más jóvenes, a partir de la covid-19, aceleraron el uso de las nuevas tecnologías. La *creative destruction* está inmersa en los grandes conglomerados tecnológicos como Alphabet, Amazon, Apple, Meta y Microsoft, base del crecimiento del *stock market* en Estados Unidos. Estas empresas han otorgado a la economía digital un lugar prioritario y se han fortalecido por medio de sus innovaciones en la vida diaria durante las dos últimas décadas. A partir de la pandemia y “la nueva normalidad”, sus capitalizaciones de mercado han caído colectivamente 37 % en lo que va del año. Se han evaporado alrededor de 3.7 billones de dólares de valor [The Economist, 2022a]. Una recomposición interna basada en la IA está profundizando la competencia entre ellas para recuperar sus ganancias mediante nuevas inversiones.

Los inversionistas de alto riesgo invirtieron 67 000 millones de dólares en empresas que afirman especializarse en IA. Según PitchBook:

Entre enero y octubre, se acuñaron 28 nuevos unicornios IA (*startups* privadas valoradas en mil millones de dólares o más). Se dice que Microsoft está en conversaciones para aumentar su participación en Openai, un constructor de modelos básicos y proveedor de ChatGPT. Se informa que Alphabet, la empresa matriz de Google, planea invertir 200 millones de dólares en Cohere, un rival de Openai. Al menos 22 nuevas empresas de inteligencia artificial han sido lanzadas por exalumnos de Openai y Deepmind, uno de los laboratorios de inteligencia artificial de Alphabet, según un informe de Ian Hogarth y Nathan Benaich, dos empresarios británicos [The Economist, 2022b].

Dispositivos con IA, como Siri y Alexa, por nombrar dos de los más comunes, ahora forman parte de nuestra vida cotidiana. En los mercados financieros, en la agricultura y en la medicina se están realizando grandes aportes mediante una carrera por la innovación tecnológica. Al inicio de este año, Eichengreen hizo referencia a ChatGPT como “a new artificial-intelligence chatbot” [Eichengreen, 2023] a partir del cual podemos tener toda la información para responder inquietudes del conocimiento de un tema en específico. Pero

⁹ De acuerdo con el *Oxford Dictionary*, la inteligencia artificial está basada en “la teoría y el desarrollo de sistemas informáticos capaces de realizar tareas que normalmente requieren inteligencia humana, como la percepción visual, el habla que requiere el ser humano, el reconocimiento del habla, la toma de decisiones y la traducción entre idiomas”.

también podemos terminar con el *college essay* o incluso superar el *research article* de los principales *top journals*. Por otro lado, el creciente uso de la IA deberá ser apoyado por las políticas públicas en beneficio del bien común de la sociedad [Ramos y Mazzucato, 2022]. La creación de vacunas, servicios de salud y educación son prioridades para enfrentar los riesgos a raíz de la pandemia.

Por otro lado, en los próximos años la inteligencia artificial desplazará a una gran cantidad de empleos en múltiples áreas. En diversos sectores, la IA puede ayudar a:

- *Salud*. Mejorar la detección temprana de enfermedades, el diagnóstico y la monitorización de pacientes.
- *Negocios*. Tomar decisiones mejor informadas, automatizar procesos y mejorar la eficiencia.
- *Transporte*. Aumentar la seguridad, diseñar rutas y optimizar el uso de recursos.
- *Agricultura*. Optimizar sus prácticas, mejorar la producción y reducir el impacto ambiental.
- *Seguridad*. Mejorar la seguridad en las ciudades y prevenir delitos.
- *Educación*. Personalizar el aprendizaje y mejorar la eficacia de la educación.
- *Servicios financieros*. Detectar fraudes y mejorar la seguridad en las transacciones.
- *Comunicación*. Crear contenido y experiencias más personalizadas.
- *Gobierno*. Tomar decisiones más informadas y mejorar la eficiencia en la asignación de recursos.
- *Ciencia*. Analizar grandes cantidades de datos y descubrir patrones que podrían pasar desapercibidos.

Por último, en el corto plazo la innovación tecnológica del *blockchain* será una herramienta para contratos inteligentes. Los bancos centrales están estudiando la forma de tener sus propias monedas digitales partiendo de esta plataforma. Se ha creado una burbuja especulativa alrededor de las criptomonedas, principalmente de la criptomoneda bitcoin y de una gama de monedas criticadas por Roubini y otros académicos. Ante el senado, Roubini [2018] afirmó que “cripto es la madre de todas las estafas y (ahora reventadas) burbujas [especulativas], mientras que *blockchain* es la tecnología más exagerada, no mejor que una hoja de cálculo/base de datos”. Innumerables autores están en contra del bitcoin [Pack, 2022; Gerard, 2017]. Incluso la reciente quiebra de FTX ha puesto en el debate a las criptomonedas, no así al *blockchain*.

Blockchain, la tecnología subyacente a bitcoin, tiene el potencial de impactar en una gran variedad de áreas ya que puede ayudar a:

- *Finanzas*. Reducir los costos y mejorar la eficiencia en el sistema financiero al eliminar la necesidad de intermediarios confiables.

- *Cadena de suministro.* Mejorar la trazabilidad de los productos a lo largo de la cadena de suministro y reducir la contaminación y otros problemas ambientales.
- *Identidad digital.* Proteger la privacidad y seguridad de los datos personales al permitir el control y gestión de la identidad digital.
- *Propiedad intelectual.* Garantizar y gestionar los derechos de propiedad intelectual en industrias como la música y el cine.
- *Gobierno.* Mejorar la transparencia y la seguridad en la votación y la gestión de los recursos públicos.
- *Internet de las cosas.* Mejorar la seguridad y la privacidad en las conexiones de dispositivos IoT.
- *Gaming.* Crear juegos descentralizados y permitir la compra, venta e intercambio de activos virtuales.
- *Notariado.* Agilizar y automatizar el proceso de notariado, permitiendo una mayor eficiencia y seguridad en la gestión de documentos legales y contratos.
- *Recursos humanos.* Mejorar la verificación de antecedentes laborales y la gestión de certificaciones profesionales.
- *Seguros.* Mejorar la transparencia y la eficiencia en la gestión de siniestros y la emisión de pólizas.

El *blockchain* revolucionará el mundo del comercio, del mismo modo que la Web2 transformó el acceso a la información. Los activos físicos y digitales se negociarán en un mercado digital abierto y líquido basado en *blockchain*. En los primeros tiempos de internet, la información se encontraba en su mayor parte en silos dentro de redes propietarias en línea. Sin embargo, el coste marginal cero de la distribución, combinado con la demanda de los consumidores, condujo a la internet única, consultable y abierta de la información que disfrutamos hoy. Como es lógico, el comercio ha tardado más en dar el salto. Con el intercambio de activos físicos, la necesidad de gestionar el riesgo de las contrapartes, mediar en las disputas y asegurar la liquidación requiere confianza. Esta confianza se deposita en intermediarios o vendedores de confianza. En consecuencia, las transacciones de comercio electrónico están en su mayoría aisladas dentro de uno de los muchos sistemas cerrados y patentados. La llegada de la tecnología *blockchain* permite la automatización de la liquidación mediante contratos inteligentes y la tokenización de las transacciones comerciales de activos físicos en un estándar universal como las NFT. Al igual que las aplicaciones de “lego monetario” de las finanzas descentralizadas han comenzado a desagregar las finanzas tradicionales, un ecosistema de protocolos y aplicaciones de “lego comercial” descentralizado basado en *blockchain* evolucionará para crear un mercado abierto para las cosas, en el que todos puedan compartir el valor que crean.

Las *fintech* (tecnología financiera) y las tecnologías descentralizadas como el *blockchain* y los protocolos *DeFi* (Finanzas Descentralizadas) jugarán un papel importante en permitir que quienes han sido ignorados por las instituciones financieras tradicionales tengan acceso a créditos. Esto se debe a que las *fintech* y las tecnologías *DeFi* están utilizando tecnologías innovadoras para crear nuevos modelos de negocio y ofrecer servicios financieros a un grupo diverso de clientes que previamente no tenían acceso a ellos. Por medio de la utilización de datos y tecnologías como el aprendizaje automático, la inteligencia artificial y el *blockchain*, las *fintech* y las tecnologías *DeFi* están capacitadas para analizar y evaluar el riesgo de manera más precisa y eficiente, lo que les permite ofrecer productos financieros a individuos y pequeñas empresas que tradicionalmente han sido ignorados por las instituciones financieras tradicionales debido a su perfil de riesgo considerado alto. En consecuencia, las *fintech* y las tecnologías *DeFi* están ayudando a democratizar el acceso al crédito al proporcionar opciones de préstamo a un grupo más amplio de personas y empresas mediante un sistema transparente, descentralizado y sin intermediarios.

En resumen, la innovación es esencial en la creación de nuevas tecnologías en todos los sectores de la economía. Estas tecnologías tienen el potencial de ocasionar disrupciones en los modelos de negocio existentes, pero también pueden crear nuevas oportunidades de inversión y quiebras bancarias en el proceso constante de destrucción creativa.

REFLEXIÓN

La innovación es el eje de todo el pensamiento de Schumpeter. Su libro *The theory of economic development. An inquiry profits, capital, credit, interest, and the business cycle* postula y sostiene que la innovación es inherente al proceso natural de desenvolvimiento del capitalismo. Su teoría del ciclo de vida del producto sugiere que la innovación es el motor de la renovación económica y acarrea consigo cambios sociales y culturales, así como problemas económicos. En el caso de la pandemia de covid-19, la necesidad de trabajar de forma remota aceleró la adopción de tecnologías de colaboración y comunicación en línea, lo que generó un cambio en los hábitos de los consumidores y en la economía en general. Este cambio ha propiciado una serie de problemas económicos para las empresas y organizaciones que no estaban preparadas, pero al mismo tiempo ha permitido el surgimiento de nuevas empresas y modelos de negocio relacionados con estas tecnologías. En ese sentido, se podría argumentar que la pandemia de covid-19 fue un catalizador de la *creative destruction* (propuesta por Schumpeter) que aceleró la adopción de nuevas tecnologías. Esto ha generado un cambio en la economía y, por tanto, futuras crisis vendrán ante los riesgos globales manifestados por el Davos Forum [World Economic Forum, 2023].

La innovación y la endogeneidad del dinero son parte de una relación dialéctica, relacionada con los cambios que se van dando a partir de la aparición de nuevas combinaciones. Los productos y servicios son desplazados del mercado por nuevas ofertas que permiten un crecimiento de las ganancias de los accionistas o de los empresarios. Detrás de la innovación, el crédito posibilita el financiamiento para productos que están mejorando diversos sectores del proceso de producción y distribución. El continuo proceso de destrucción creativa influye en la salida de empresas ante nuevas inversiones, lo cual crea desajustes en el crecimiento económico al dejar de lado la fuerza de trabajo no calificada y abrir paso a las nuevas oportunidades de empleo en productos tecnológicos recién creados que sustituyen a los anteriores.

Los factores externos que inhiben o fomentan la innovación y los cambios tecnológicos son la tasa de interés, en manos del banco central; las ganancias del empresario o de la gran corporación; y la estabilidad económica y financiera. El proceso de innovación representa una relación dialéctica expresada en el ciclo económico en el que las diferentes combinaciones se ven desplazadas ante los cambios tecnológicos que permiten la destrucción creativa, eje vertebral en la obra de Joseph A. Schumpeter.

BIBLIOGRAFÍA

- Benaich, N. y I. Hogarth [2022], *State of AI Report*, October 2011. <<https://www.stateof.ai/>>.
- Bernanke, B. [2004], "The great moderation", *Remarks by Governor at the meetings of the Eastern Economic Association*, Washington, D. C., February 20th. <<https://cutt.ly/EezjgQh6>>.
- Castellacci, F.; S. Grodal, S. Mendonca y M. Wibe [2005], *Advances and Challenges in Innovation Studies. Journal of Economic Issues*, vol. 39, núm. 1, marzo: 91-121. Taylor y Francis, Ltd. <<https://www.jstor.org/stable/4228115>>.
- Duménil, G. y D. Lévy [2011], *The Crisis of Neoliberalism*, Harvard University, Cambridge Massachusetts.
- Eichengreen, B. [2023], "Sympathy for the Algorithm", <<https://acortar.link/bMaAx2>>.
- Financial Times* [2023], "Central bank digital currency: blockchain could upend banking Premium", <<https://acortar.link/XtNw6l>>.
- Gerard, D. [2017], *Attack of the 50 Foot Blockchain, Ethereum and Smart Contracts* <<https://davidgerard.co.uk/blockchain/book/>>.
- International Monetary Fund [2022], *World Economic Outlook*, Washington, D. C., octubre <<https://www.imf.org/en/Publications/WEO>>.
- Keynes, J. [1936], *The General Theory of Employment, Interest and Money*, Kindle by Signalman Publishing, 2009.
- Lange, O. [1943], "A Note on Innovations". *The Review of Economics and Statistics*, febrero, 25(1): 19-25, The MIT Press. <<https://www.jstor.org/stable/1924543>>.

- McKinsey y Company [2022a], "The state of AI in 2022- and a half decade in review", 6 de diciembre. <<https://acortar.link/L4yKDL>>.
- McKinsey y Company [2022b], "Marketing in the Metaverse: An opportunity for innovation and experimentation", 24 de mayo. <<https://acortar.link/eaFBDC>>.
- Mega, N. [2023], "'Magnificent Seven' tech stocks drive US equity domination to new highs. Handful of companies propel all of this year's gains in the MSCI All-Country World index". *Financial Times*, 23 de octubre. <<https://acortar.link/8IsFej>>.
- Miao, H. [2023], "The Year Big Tech Stocks Fell from Glory. Momentum shifted in favor of defensive and energy shares amid sharply rising interest rates and inflation". *Wall Street Journal*, 1 de enero. <<https://acortar.link/Ooe41c>>.
- Minsky, H. [2008], *Stabilizing an Unstable Economy*. McGraw-Hill Education. Kindle Edition.
- Nelson, W. A. [1989], "Artificial Intelligence Knowledge Acquisition Techniques for Instructional Development authors(s)". *Educational Technology Research and Development*, 37(3): 81-94. <<https://www.jstor.org/stable/30218285>>.
- Oxford Dictionary <<https://cutt.ly/OeJzRmt>>.
- Pack, S. [2022], *The Political Economy and Feasibility of Bitcoin and Cryptocurrencies. Insights from the History of Economic Thought*. Edward and Elgar, EEUU.
- Ramos, G. y M. Mazzucato [2022], "AI in the Common Interest", *Project Syndicate, the World's Opinion Page*, 26 de diciembre. <<https://acortar.link/RTPuwW>>.
- Roubini, N. [2018], "US Senate Committee on Banking, Housing and Community Affairs, Senate Banking Committee Holds Hearing on Crypto", 11 de octubre. <<https://cutt.ly/OeJxdw8>>.
- Schumpeter, J. A. [2017], *The Theory of Economic Development. An Inquiry into Profits, Capital, Credit, Interest, and the Business Cycle*. Redvers Opie (trad.). Introducción de John E. Elliott. Routledge, Taylor and Francis Group. Kindle Edition.
- Schumpeter, J. A. [1947], The Creative Response in Economic History. *The Journal of Economic History*. Cambridge University Press on behalf of the Economic History Association. Noviembre, 7(2): 149-159. <<https://www.jstor.org/stable/2113338>>.
- Schumpeter, J. [1928], "The Instability of Capitalism". *The Economic Journal*, septiembre, 38(151): 361-386. Oxford University Press on Behalf of the Royal Economic Society. <<https://www.jstor.org/stable/2224315>>.
- Schumpeter, J. [1927], The Explanation of the Business Cycle. *Economica* 21, diciembre, pp. 286-311. Wiley on behalf of The London School of Economics and Political Science and The Suntory and Toyota International Centres for Economics and Related. <<https://www.jstor.org/stable/2548401>>.
- Summers, L. y A. Stansbury [2020], Whither Central Banking?, *Project Syndicate*. Praga, 23 de agosto de 2019. <<https://acortar.link/6Fa44t>>.

Sweezy, P. [1943], Professor Schumpeter's theory of Innovation. *The Review of Economics and Statistics*, febrero, 25(1): 93-96. <<https://doi.org/10.2307/1924551>>.

The Economist [2022a], "Facebook and the conglomerate curse. Beset by bloating and egomania, big tech would benefit from active boards and investors", 3 de noviembre. <<https://cutt.ly/Vezjbb8h>>.

The Economist [2022b], "Artificial intelligence is permeating business at last. The age of 'boring AI' will be anything but", 6 de diciembre. <<https://cutt.ly/SezjbCrS>>.

World Economic Forum [2023], The Global Risks Report 2023, enero. <<https://cutt.ly/qezjnu2T>>.

World Economic Forum [2022a], 17 ways technology could change the world by 2027, Fourth Industrial Revolution. <<https://cutt.ly/FezjnxPI>>.

World Economic Forum [2022b], The Global Risks Report 2022. <<https://cutt.ly/LezjnHgR>>.

World Economic Forum [2021], The Global Risks Report 2021. <<https://cutt.ly/sezjmwu9>>.

Wray, R. [2011], "Is There Room for Bulls, Bears, and States in the Circuit?", *Working Paper No. 700*. Levy Economics Institute of Bard College. <<https://goo.su/sXVmb>>.

3. Recursos humanos especializados en la economía digital en México y el mundo: un análisis bibliométrico

Jorge Méndez Astudillo

INTRODUCCIÓN

La economía digital incluye todas las tecnologías que permiten realizar comercio, ofrecer servicios y conectar personas, lo que requiere el uso de algoritmos complejos de inteligencia artificial y de tecnología de punta. De acuerdo con la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), la economía digital se construyó con base en el internet, lo que creó nuevos modelos de negocios, conexión y maneras de hacer transacciones financieras; además, se rompieron barreras geográficas, ya que es posible acceder al internet desde cualquier lugar del mundo [OCDE, 2022].

De acuerdo con la definición previa, existen dos componentes principales de la economía digital: la infraestructura tecnológica y los recursos humanos formados en el desarrollo y aplicación de algoritmos de inteligencia artificial. Para participar en la economía digital, es necesario contar con una buena infraestructura de telecomunicaciones que permita el intercambio rápido de datos, por ejemplo, la tecnología 5G permite comunicaciones inalámbricas de alta velocidad con un gran ancho de banda de entre 1-2 GHz [Gupta *et al.*, 2019]. Además, es necesaria la infraestructura para analizar y almacenar grandes volúmenes de datos, conocida en inglés como *big data analytics* [Sagiroglu y Sinanc, 2013].

La creación de la economía digital y de todas las tecnologías necesarias ha sido posible debido a la innovación que, según Schumpeter, se define como la introducción en el mercado de un nuevo producto o proceso con un elemento diferenciador [Schumpeter, 1967]. En el contexto de la economía digital, la innovación se presenta en la creación de nuevos algoritmos y en la aplicación de algoritmos en diversas áreas; por tanto, contar con recursos humanos capaces de hacer esto es imperativo para participar en la

economía digital. Dentro de los conocimientos necesarios del personal capacitado en la era digital destacan las matemáticas (cálculo integral y diferencial), la estadística (frecuentista y bayesiana), la computación (programación y comprensión del funcionamiento de la nube y del cómputo paralelo), así como la innovación por parte de los desarrolladores. La economía digital necesita de recursos humanos con habilidades digitales. De acuerdo con Coursera (una plataforma líder en educación en línea), las habilidades más importantes en 2022 fueron la visualización de datos, ciberseguridad y diseño de experiencia de usuario [Coursera, 2022].

El aumento de las velocidades de transmisión de datos y la capacidad de almacenamiento de datos han permitido la creación de servicios digitales de llamadas de video (Skype), de videoconferencias (Zoom, Microsoft Teams), de *streaming* de archivos audiovisuales (YouTube, Netflix, Amazon prime). Además, se han conseguido crear redes de sensores conectados mediante el internet (internet de las cosas, IoT) que, como ejemplo, pueden ser aplicados para la administración de las ciudades (*smart cities*) [Han y Kim, 2021; Singh *et al.*, 2022].

En tal contexto, esta investigación realiza un análisis bibliométrico para entender la distribución a nivel mundial de recursos humanos capaces de desarrollar la economía digital, ello mediante el estudio de publicaciones en *journals* científicos indexados en bases de datos de renombre como *Web of Science* y *Scopus*, que tratan sobre el desarrollo de algoritmos de *machine learning*, ya que estos algoritmos requieren los conocimientos previamente descritos. Se asume que los autores de textos científicos representan los recursos humanos más preparados. El estudio se hace a nivel mundial, pero también se hace énfasis en la posición de México para entender el estado actual del país, de manera que sea posible proponer políticas públicas encaminadas a incrementar la participación de personas físicas y morales en la economía digital a nivel mundial. De esta manera, se pueden generar riqueza y bienestar para las personas empleadas en el sector.

DATOS Y METODOLOGÍA

El 12 de septiembre de 2022 se buscaron todos los documentos disponibles en *Scopus* (SCO) [Elsevier, 2023] que contienen las palabras clave *machine learning* (ML) y aprendizaje automatizado (AA) en el periodo 2000-2022. La búsqueda se realizó con palabras clave en inglés porque es el idioma con más publicaciones científicas. En total se encontraron 4 520 023 documentos; sin embargo, esta búsqueda resulta muy general ya que se incluyen todos los artículos que discuten temas como ética o gobernabilidad de los algoritmos.

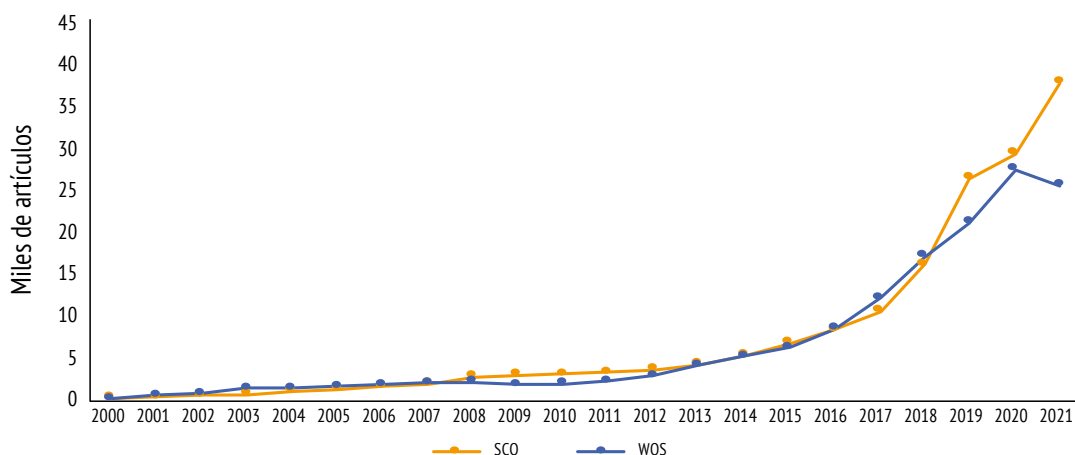
A continuación se redefinió la búsqueda usando las palabras clave *algorithm* y *machine learning* para encontrar los documentos que se refieran al desarrollo de algoritmos

de ML e incluso que describan nuevos usos de estos algoritmos en diferentes aplicaciones. La búsqueda arrojó 202 678 documentos desde el año 2000 hasta el 2022.

La misma búsqueda de las palabras clave *machine learning* y *algorithm* para el periodo 2000-2022 en *Web of Science* (wos) [Clarivate, 2023] arrojó 143 281 documentos. Cabe destacar que hay revistas científicas indexadas en sco que no lo están en wos.

RESULTADOS

Gráfica 1.
Publicaciones sobre desarrollo de algoritmos en *Scopus* (sco)
y *Web of Science* (wos) 2000-2021 (miles de documentos)

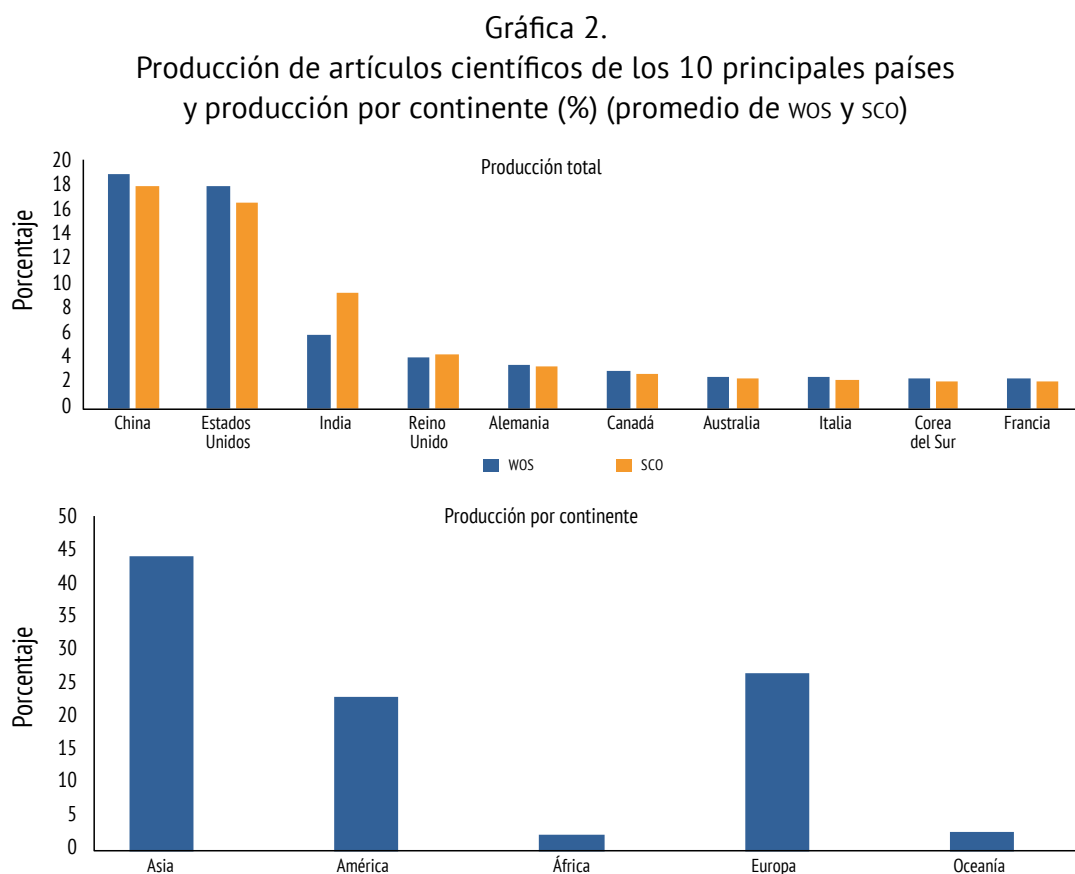


Fuente: elaboración propia con datos de sco y wos.

La gráfica 1 indica que durante el periodo 2000-2008 el número de artículos publicados en revistas indexadas en *Scopus* y *Web of Science* era casi constante con una ligera pendiente ascendente. En ambas plataformas, de 2008 a 2014 se nota un aumento suave en la cantidad de artículos publicados. Sin embargo, a partir de 2016 el aumento ha sido exponencial, de los 15 000 artículos en 2016 a 40 000 en 2022, lo que indica la importancia de métodos de ML en la investigación en los últimos seis años. El punto de inflexión en 2017 se puede explicar por el aumento de la posibilidad de almacenar, distribuir y procesar grandes volúmenes de datos, lo que permite que más personas participen en el desarrollo de algoritmos de aprendizaje automatizado e inteligencia artificial, así como de la creación de servicios por medio de la nube, que incrementa sustancialmente la capacidad de almacenamiento y procesamiento de datos. No se presentan datos de 2022 porque el análisis de datos no incluyó los meses de noviembre y diciembre de 2022.

PORCENTAJES DE PRODUCCIÓN CIENTÍFICA A NIVEL MUNDIAL Y POR CONTINENTE

Los resultados obtenidos se agruparon de acuerdo con el país donde se encuentra la afiliación del primer autor. En caso de que el primer autor presentara más de una afiliación, se consideró solamente la primera afiliación. Además, los países se agruparon por continente. Turquía y Rusia se consideraron dentro de Asia.



Fuente: elaboración propia con datos de wos y sco.

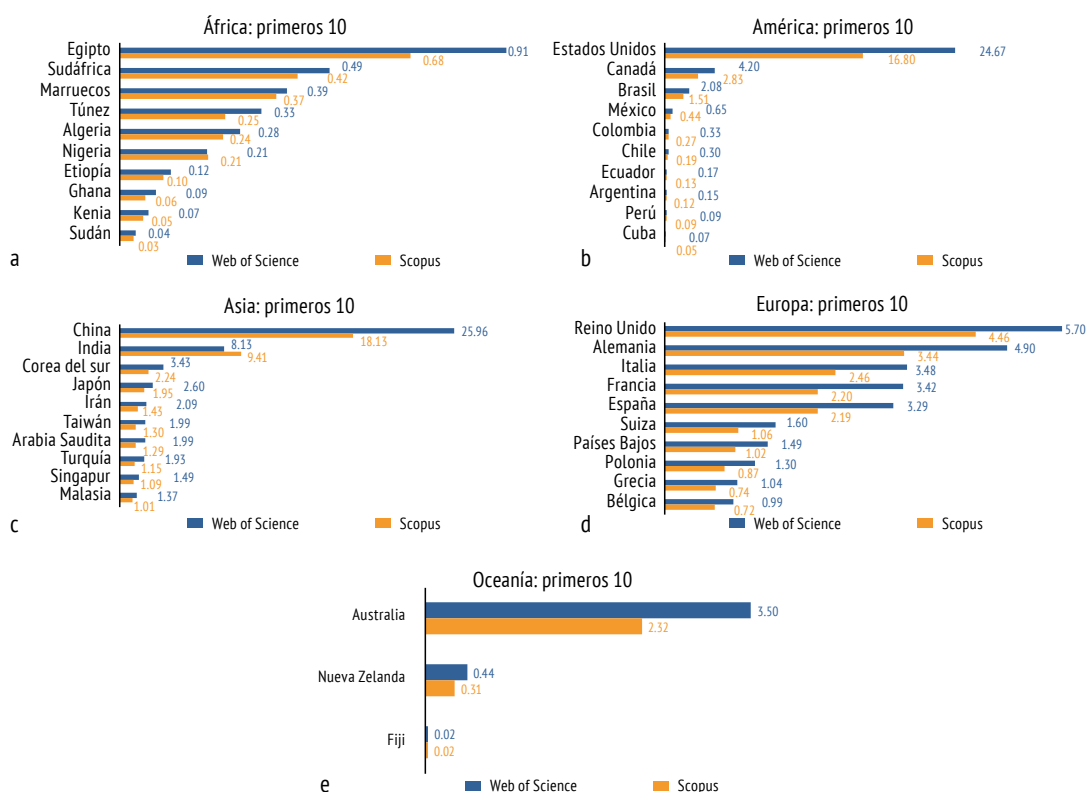
La gráfica 2 muestra que la mayoría de las afiliaciones de los autores que publicaron en revistas indexadas en *Web of Science* y *Scopus* son de China, Estados Unidos, India, Reino Unido, Alemania y Canadá. Las posiciones 7, 8 y 10 varían dependiendo del índice; en wos, las posiciones son ocupadas por Australia, Italia y Francia, respectivamente, mientras que en sco son Italia, Australia y España los que ocupan esas posiciones. Ningún país de Latinoamérica aparece dentro de los 10 principales.

La gráfica 2 muestra el promedio de artículos publicados en revistas indexadas en WoS y Scopus. La mayoría de los artículos sobre aprendizaje automático publicados en revistas indexadas fueron producidos por autores afiliados a instituciones en Asia (44.5 %), Europa (26.83 %) y América (23.34 %), mientras que los menos fueron de África y Oceanía, ambos con menos del 5 % del total de publicaciones. Esto muestra el liderazgo de las instituciones académicas de Asia en el desarrollo de algoritmos de aprendizaje automatizado y sus aplicaciones en diversas áreas del conocimiento.

Para entender mejor la distribución espacial de la producción científica en los diversos continentes, es necesario encontrar los 10 principales países de afiliación de los autores en cada continente, lo cual se muestra en la gráfica 3.

Nótese que en algunos casos los países que aparecen, o su orden, difieren si se analizan datos de *Web of Science* [Clarivate, 2023] o de *Scopus* [Elsevier, 2023], esto debido a que algunas revistas se encuentran indexadas solo en uno de los índices.

Gráfica 3.
Primeros 10 países con mayor producción científica
en el área de aprendizaje automatizado por continente



Fuente: elaboración propia con datos de *Web of Science* y *Scopus*.

La gráfica 3a muestra los 10 países de África con mayor producción científica indexada tanto en *wos* como en *sco* sobre algoritmos de aprendizaje automatizado. Destacan los tres primeros: Egipto, Sudáfrica y Marruecos en *wos*, y Egipto, Marruecos y Sudáfrica en *sco* (el orden de Sudáfrica y Marruecos varía dependiendo de la fuente). La diferencia porcentual entre el primer lugar y el segundo en términos de producción científica es de 0.42 % del total de artículos en *wos* y 0.26 % del total de artículos en *sco*.

Cabe destacar que se encontraron los mismos países tanto en *Web of Science* como en *Scopus*, pero en diferente orden.

La gráfica 3b muestra los primeros 10 países de América en términos de la producción total de artículos indexados en *wos* y *sco*. Es evidente que el primero es Estados Unidos, seguido por Canadá en ambos índices. La diferencia de producción entre ambas naciones es de 20.47 % del total de artículos indexados en *wos* y del 13.67 % del total de artículos indexados en *Scopus*, lo cual demuestra una disparidad sustancial en la producción científica. México es el cuarto país con tan sólo 0.64 % (*wos*) y 0.44 % (*sco*) de la producción total, muy debajo de Brasil, pero por encima de Colombia. Es necesario destacar que en ambos índices la posición de las naciones americanas es la misma.

La gráfica 3c muestra que la significativa diferencia entre la primera nación en Asia (China) y la segunda (India) es de 17.83 % en *wos* y 8.69% en *sco*. Esta distinción indica una disparidad entre países en el mismo continente y hace notar la brecha de la producción científica entre los mismos. En ambos índices, los países son los mismos excepto por los últimos tres lugares, que en *wos* corresponden a Turquía, Singapur y Malasia, mientras que en *sco* a Malasia, Rusia y Singapur.

En Europa (gráfica 3d), la diferencia entre el primer lugar (Reino Unido con 4.46 %) y el segundo (Alemania con 3.44 %) es de 1.02 % en ambos índices. Nótese que en Europa la producción científica se encuentra distribuida más uniformemente que en los otros continentes. De acuerdo con los datos de *wos*, el último lugar es Bélgica y, según datos de *sco*, el último lugar corresponde a Portugal.

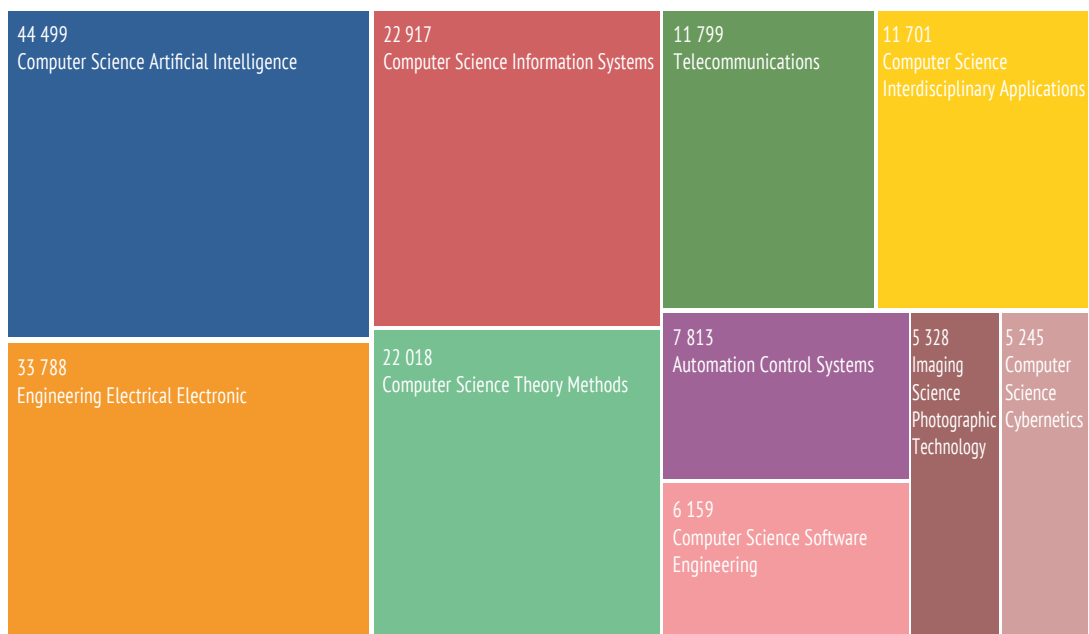
La gráfica 3e muestra que la mayoría de la producción en Oceanía se da en Australia y Nueva Zelanda. La diferencia entre ambos es de 3.06 % (*wos*) y 2 % (*sco*).

TEMAS DE PUBLICACIÓN A NIVEL MUNDIAL

La figura 1 muestra la clasificación por tema de los artículos encontrados en *Scopus* y *Web of Science* sobre algoritmos de aprendizaje automático. Llama la atención que, en su gran mayoría, los artículos sobre algoritmos de aprendizaje automatizado se catalogan dentro del tema de la inteligencia artificial, lo que indica que allí se encuentran las bases teóricas para construir sistemas de inteligencia artificial. El

segundo tema en el que pueden ser clasificados estos algoritmos es el de la ingeniería eléctrica y electrónica, lo que da pauta a la implementación de la inteligencia artificial en el desarrollo de tecnología electrónica (incluyendo productos de consumo final como teléfonos inteligentes). Cabe resaltar que el tema de aplicaciones interdisciplinarias es también importante y es el que más ha crecido en los últimos años, ya que los algoritmos de aprendizaje automatizado se empiezan a emplear en diversas áreas de la investigación o de los negocios, donde previamente no se habían utilizado.

Figura 1.
Clasificación de artículos publicados sobre algoritmos
de aprendizaje automatizado por tema



Fuente: elaboración propia con datos de *Scopus* y *Web of Science*.

DISTRIBUCIÓN DE PUBLICACIONES POR JOURNAL ACADÉMICO

Los cuadros 1a y 1b muestran el porcentaje de publicaciones por *journal* académico indexado en *Web of Science* (cuadro 1a) y *Scopus* (cuadro 1b); solo se muestran los *journals* que han publicado 1 % o más del total de artículos por cada índice.

Cuadro 1a.
Distribución porcentual de las publicaciones sobre algoritmos
de aprendizaje automatizado en *journals* indexados en *Web of Science*

<i>Journal</i>	<i>Porcentaje wos</i>
<i>Lecture Notes in Computer Science</i>	2.766
<i>Proceedings of Machine Learning Research</i>	2.298
<i>IEEE Access</i>	2.263
<i>Lecture Notes in Artificial Intelligence</i>	1.774
<i>Journal of Machine Learning Research</i>	1.113
<i>Proceedings of SPIE</i>	1.084
<i>Sensors</i>	1.036

Cuadro 1b.
Distribución porcentual de las publicaciones sobre algoritmos
de aprendizaje automatizado en *journals* indexados en *Scopus*

<i>Journal</i>	<i>Porcentaje</i>
<i>Lecture Notes in Computer Science</i>	11.80
<i>IEEE Access</i>	4.17
<i>ACM International Conference Proceeding Series</i>	3.55
<i>Neurocomputing</i>	3.40
<i>Advances in Intelligent Systems and Computing</i>	3.30
<i>Communications in Computer and Information Science</i>	2.61
<i>Proceedings of SPIE The International Society for Optical Engineering</i>	2.10
<i>Plos One</i>	1.97
<i>Lecture Notes in Networks and Systems</i>	1.90
<i>Journal of Physics Conference Series</i>	1.83
<i>Ceur Workshop Proceedings</i>	1.81
<i>Lecture Notes in Electrical Engineering</i>	1.68
<i>Expert Systems with Applications</i>	1.47
<i>Scientific Reports</i>	1.44
<i>Applied Sciences Switzerland</i>	1.28
<i>Remote Sensing</i>	1.28
<i>Sensors Switzerland</i>	1.23
<i>Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks</i>	1.16
<i>Sensors</i>	1.03

Fuente: elaboración propia.

En ambas tablas, la serie de libros de Springer denominada *Lecture Notes in Computer Science* aparece en primer lugar, ya que algunas conferencias de alta influencia en el área de AA publican sus memorias en esa serie editorial. Otros *journals* que aparecen en ambas listas son *IEEE Access* (publicado por la IEEE), *Proceedings of SPIE* (publicado por la SPIE) y *Sensors* (publicado por MDPI). Resulta de gran interés tener acceso a estos *journals* para estar al día en los avances de la investigación académica en AA y sus aplicaciones.

RELACIÓN ENTRE CANTIDAD DE PUBLICACIONES Y EL ÍNDICE DE INNOVACIÓN

Cada año, la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual [WIPO, 2022] presenta un índice de innovación de los países tomando en cuenta varios factores. Para entender si existe una relación evidente entre innovación y producción científica, se recolectó el índice de innovación reportado en 2021 para todos los países reportados por la WIPO, que incluye los efectos de la pandemia de covid-19 y el conflicto bélico entre Rusia y Ucrania. El índice de innovación se define entre los valores 1-100 e indica de manera cuantitativa el nivel de innovación basado en el número de patentes registradas y el ambiente en la economía para propiciar la innovación en bienes y servicios. En 2021, el país con el mayor índice de innovación de acuerdo a la WIPO fue Suiza (65.5) y el menor fue Angola (15). En el mismo año, el país de América Latina (países en el continente americano de habla española o portuguesa) con mayor índice de innovación fue Chile en la posición 53 a nivel mundial con 35.1 puntos. En 2021, los datos de la WIPO colocaron a México en la posición 56 con 34.5 puntos por encima de Brasil (posición 57 con 34.2 puntos) y por debajo de Costa Rica (posición 55 con 34.5 puntos).

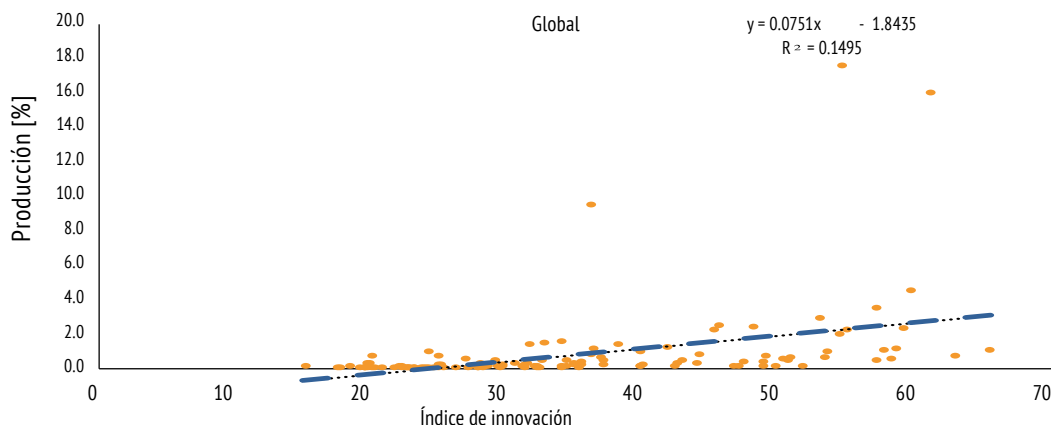
De manera cuantitativa, la relación entre la cantidad de artículos producidos (medida como porcentaje de la producción total) y el índice de innovación (reportado por la WIPO como índice con valores entre 1-100) se estudia con un modelo de regresión que se muestra en la gráfica 4.

La gráfica 4 muestra que, a mayor porcentaje de producción de artículos sobre algoritmos de aprendizaje automatizado, mayor es el índice de innovación. Sin embargo, de acuerdo con el modelo de regresión lineal, el índice de innovación explica solamente 15 % de la cantidad de producción científica. Por tanto, el desarrollo y la aplicación de algoritmos de aprendizaje automatizado es un área que contribuye marginalmente a la innovación.

La gráfica 4 muestra tres puntos que se encuentran muy alejados del resto de los puntos (*outliers*) correspondientes a China, India y Estados Unidos. China tiene un número muy elevado de producción de artículos científicos indexados (18 %) y un índice de innovación de casi 60, mientras Estados Unidos tiene un porcentaje menor de producción (17 %), pero un índice de innovación mayor que el de China (62 puntos). India

tiene también una producción elevada de artículos científicos (9 %) y un índice de innovación bajo, de cerca de 40.

Gráfica 4.
Relación entre producción científica e índice de innovación



Fuente: elaboración propia con datos de *Scopus* y *WIPO*.

El análisis previo indica que la innovación y la producción científica en el área de aprendizaje automatizado están relacionadas, de manera que a mayor producción científica, mayor innovación. Esto es un componente clave en la economía digital. Se podría plantear la hipótesis de que los países con mayor innovación son los que más han desarrollado aplicaciones de la economía digital y han integrado sus procesos económicos a la economía digital con la industria 5.0 [Kraaijenbrink, 2022], o hacen uso de tecnología para la administración de ciudades inteligentes [European Commission, 2022].

LA PRODUCCIÓN CIENTÍFICA DE MÉXICO EN EL CONTEXTO DE LA ECONOMÍA DIGITAL

El análisis previo muestra que los principales productores de artículos científicos indexados con el tema de algoritmos de aprendizaje automatizado son China y Estados Unidos. Así que ahora el enfoque se da en la producción en México para entender el estatus actual de ese país en el contexto global de la economía digital.

Durante el periodo 2000-2022, en instituciones mexicanas se han producido 1 009 artículos indexados en *WOS* y 1 141 artículos indexados en *Scopus* sobre algoritmos de aprendizaje automatizado (AA); esto corresponde al 0.44 % del total de los artículos producidos en ese periodo a nivel global. En el contexto continental, investigadores con afiliaciones en instituciones de educación superior han colocado al país en el cuarto lugar de los países en América y el Caribe productores de artículos indexados. México es

precedido por Estados Unidos (16.80 %), Canadá (2.83 %) y Brasil (1.51 %) en términos del porcentaje de la producción total global de artículos indexados.

En el cuadro 2, se muestra la distribución de la producción científica por instituciones mexicanas, con 10 o más artículos publicados en revistas indexadas en wos y sco.

Cuadro 2.
Número de artículos indexados sobre algoritmos de aprendizaje automatizado
producidos por investigadores afiliados a instituciones mexicanas
en el periodo 2000-2022

<i>Institución</i>	<i>Posición wos</i>	<i>Posición sco</i>
Instituto Politécnico Nacional	1	1
Tecnológico de Monterrey	2	2
Universidad Nacional Autónoma de México	3	3
Instituto Nacional de Astrofísica Óptica y Electrónica	4	4
Universidad de Guadalajara	5	6
Centro de Investigación y de Estudios Avanzados	6	5
Universidad Autónoma de Baja California	7	8
Universidad de Guanajuato	8	11
Universidad Autónoma Metropolitana	9	>9
Tecnológico Nacional de México	10	7
Universidad Veracruzana	11	13
Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada	12	10
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla	13	15
Universidad Autónoma de San Luis Potosí	14	16
Universidad Autónoma de Querétaro	15	17
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo	16	20
Universidad Autónoma de Zacatecas	17	24
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez	18	27
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco	19	22
Universidad Panamericana	20	12
Instituto Tecnológico Autónomo de México	21	23
Universidad de Colima	22	26
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología México	23	9
Tijuana Institute of Technology	24	19
Universidad Autónoma de Nuevo León	25	28
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo	26	29
Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas	>26	14
Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico, México	>26	18
Universidad Autónoma de Yucatán	>26	21
Universidad Autónoma del Estado de México	>26	25

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con el análisis realizado sobre las afiliaciones de los investigadores asociados a instituciones mexicanas que han publicado artículos científicos en *journals* indexados en WOS, SCO o ambos, las cuatro principales instituciones que realizan investigaciones en el área de AA son el Instituto Politécnico Nacional (IPN), el Tecnológico de Monterrey (Tec de Monterrey, todos sus campus publican con el mismo nombre de afiliación), la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE).

La Universidad de Guadalajara y el CINVESTAV son las dos instituciones que ocupan las posiciones 6 y 7 en distinto orden según el índice de referencia. Las primeras instituciones se encuentran en la Ciudad de México, Monterrey, Puebla y Guadalajara. El resto de las instituciones se ubica también en el norte o centro del país. Muy pocas se ubican en el sureste mexicano, lo que indica una distribución desigual de los recursos humanos especializados en AA.

En cuanto a los tipos de instituciones, el análisis muestra que 85.18 % de los artículos producidos fue realizado en instituciones públicas, mientras que 14.82 % se llevó a cabo en instituciones privadas. Las cinco instituciones privadas que destacaron son el Tecnológico de Monterrey (las publicaciones de todos los campus se registran con el mismo nombre de la institución), la Universidad Panamericana, el Instituto Tecnológico Autónomo de México, la Universidad de las Américas Puebla y la Universidad de Monterrey. En *Web of Science*, la diferencia porcentual entre el primer lugar y el segundo es de 2 %, mientras que en *Scopus* es de 4 por ciento.

DISCUSIÓN

El desarrollo de la economía digital y sus aplicaciones requiere de especialistas en el área de la inteligencia artificial capaces de desarrollar algoritmos de aprendizaje automatizado y de aplicarlos en diversas áreas de la investigación científica y de los negocios. De esta manera, las aplicaciones de la economía digital pueden generar nuevos negocios e incluso nuevas industrias o mercados que pueden ser aprovechados para generar bienestar en la población mexicana. Además, el uso de la inteligencia artificial puede favorecer a las empresas y mejorar sus rendimientos económicos.

En el ámbito social, aplicaciones como gobierno abierto, seguridad pública, administración de ciudades, administración de justicia, entre otras áreas, se pueden beneficiar del uso de técnicas de aprendizaje automatizado para desarrollar sistemas inteligentes. En todos los casos, es imperativo contar con los recursos humanos formados en técnicas de manejo y análisis de grandes volúmenes de datos. Las habilidades más demandadas de formación en estas áreas del conocimiento son ciencia de datos, programación en Python, estadística, estadística bayesiana, métodos numéricos, cálculo diferencial y matrices.

Resulta necesario y urgente formar recursos humanos con estas habilidades. En este estudio se analizaron las publicaciones indexadas sobre el tema de algoritmos de AA como indicador de la formación de recursos humanos especializados, ya que la producción de artículos implica que las instituciones tienen personal altamente especializado y la capacidad de formar profesionistas en esta área. El análisis arrojó que China es el país donde se produce la mayor cantidad de artículos indexados sobre aprendizaje automatizado seguida por Estados Unidos. Esto se refleja en el número de compañías que obtienen ganancias económicas a partir de aplicaciones de la economía digital. Nótese que China tiene versiones propias de varios productos y servicios provistos por empresas estadounidenses, como Baidu, equivalente de Google.

México tiene que participar en la economía digital para generar bienestar y crecimiento económico. En el ámbito mundial, México se encuentra en la posición 38 en términos de la producción de artículos indexados (por debajo de Finlandia, pero por encima de Emiratos Árabes Unidos) sobre algoritmos de AA, y en la posición 56 en términos del índice de innovación (por encima de Brasil, pero por debajo de Costa Rica). El modelo de regresión lineal entre el índice de innovación y el número de artículos producidos indica que hay una relación lineal débil y que se podría explicar 14 % del índice de innovación con el número de artículos publicados sobre AA.

En el contexto continental, México se ubica en la cuarta posición de producción de artículos indexados por debajo de Brasil y por encima de Colombia. La diferencia entre el principal productor en el continente (Estados Unidos) y el segundo (Canadá) es de 14 %, lo que indica una gran disparidad en el número de artículos producidos. En México, las instituciones públicas son las que han producido más artículos en el periodo 2000-2022. Las principales instituciones productoras de artículos son el Instituto Politécnico Nacional (IPN), el Tecnológico de Monterrey (Tec) y la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), instituciones concentradas en el centro y norte del país.

La formación de recursos humanos especializados en la economía digital es un proceso prolongado que requiere atenderse desde temprana edad. Esto implica enseñar álgebra, cálculo integral, cálculo matricial, ecuaciones diferenciales, diseño de algoritmos, probabilidad y estadística, y programación a un nivel más avanzado. Las materias de ciencia y tecnología (STEM, por sus siglas en inglés) deben enseñarse con gran rigor desde la educación media superior.

CONCLUSIONES

Para potenciar los posibles beneficios de la economía digital en el bienestar de las familias mexicanas, es necesario crear las condiciones favorables para su desarrollo. Esto implica construir la infraestructura necesaria (instalación de redes de comunicación y de

centros de cómputo y almacenamiento de grandes volúmenes de datos) y la formación adecuada de recursos humanos. La formación de los expertos en inteligencia artificial y *big data* requiere invertir en la formación de computación, matemáticas y materias de ciencia y tecnología, así como el fortalecimiento de grupos de investigación en universidades públicas y privadas para que produzcan investigaciones e innovaciones basadas en análisis de grandes volúmenes de datos que puedan generar nuevos productos o servicios y, a su vez, crear bienestar y crecimiento económico.

Debido a la concentración de las instituciones líderes en AA en el centro de México, es necesario invertir en grupos de investigación en instituciones del sureste y norte del país, ya que la aplicación de la inteligencia artificial puede generar nuevos negocios o mercados que produzcan ingresos y bienestar a la población.

BIBLIOGRAFÍA

- Clarivate [2023], *Web of Science*. <<https://cutt.ly/Aezj8lpZ>>.
- Coursera [2022], *The Job Skills of 2022*. <<https://n9.cl/6nvwu>>.
- Elsevier [2023], *Scopus*. Recuperado el 8 marzo de: <<https://www.scopus.com/home.uri>>.
- European Commission [2022], *Smart cities*. <<https://cutt.ly/Hezj7el0>>.
- Gupta, R.; S. Tanwar, S. Tyagi y N. Kumar [2019], "Tactile internet and its applications in 5G era: A comprehensive review". *Int J Commun Syst*, 3: e3981. <<https://cutt.ly/Zezj7jgr>>.
- Han, M. J. N. y M. J. Kim [2021], "A critical review of the smart city in relation to citizen adoption towards sustainable smart". *Habitat International*, 108. <<https://cutt.ly/fezj7Lpi>>.
- Kraaijenbrink, J. [2022], *Qué es la Industria 5.0 y cmo cambiará a las empresas?* Forbes. <<https://cutt.ly/nezj5dWc>>.
- OCDE [2022], "Digital enablers of the global economy: Background paper for the CDEP Ministerial meeting". *OECD Digital Economy Papers*, Issue.
- Sagiroglu, S. y D. Sinanc [2013], Big data: A review 2013 International Conference on Collaboration Technologies and Systems (CTS), San Diego, CA.
- Schumpeter, J. [1967], *Teoría del desenvolvimiento económico*. Fondo de Cultura Económica.
- Singh, T.; A. Solanki, S. K. Sharma, A. Nayyar y A. Paul [2022], "A Decade Review on Smart Cities: Paradigms, Challenges and Opportunities". *IEEE Access*, 10, 68319-68364. <<https://cutt.ly/oezj5LR1>>.
- WIPO [2022], *Global Innovation Index (GII)*. <<https://cutt.ly/Pezj6i5M>>.

Revolución tecnológica-industrial, núcleos dinámicos y México*

Sergio Ordóñez Gutiérrez

INTRODUCCIÓN

La potencialidad transformadora de la producción y la vida social de la revolución tecnológica-industrial en curso —que incluye desarrollos como los procesos de digitalización y la inteligencia artificial— es tan grande que posibilita la creación ideológica del “mito de una cuarta revolución industrial” [Moll, 2021].

La revolución tecnológica-industrial es el sustrato material de una nueva fase de desarrollo del capitalismo que implica una inédita preeminencia económica de los procesos de conocimiento, aprendizaje e innovación, los cuales se convierten en la fuerza productiva principal; y supone la formación de un nuevo ciclo industrial, cuyo núcleo dinámico está constituido por el sector electrónico-informático y de las telecomunicaciones (SE-IT). La consolidación del nuevo ciclo industrial implica el desarrollo de una capacidad de revolucionamiento tecnológico-productivo del nuevo núcleo dinámico sobre el núcleo dinámico precedente propio de la fase fordista-keynesiana y particularmente de la industria automotriz.

Ese revolucionamiento origina, a su vez, una reconfiguración espacial y jerárquica de la industria que implica la formación de nuevos subsectores productivos y nuevas redes productivas globales (RPG) de proveeduría interindustrial del nuevo núcleo dinámico al núcleo precedente, donde pueden reconocerse seis nodos mundiales incluido el de México.

* Investigación realizada gracias al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) IN305022 de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

En lo que sigue se estudian los fundamentos de la revolución tecnológica-industrial en curso —ubicando a los procesos de digitalización e inteligencia artificial— como marco del proceso de revolucionamiento tecnológico-productivo del nuevo núcleo dinámico sobre el precedente, que sitúa a México en los nodos mundiales de las RPG de proveeduría interindustrial.

Para llevar a cabo lo anterior, en la sección siguiente se estudian los fundamentos y el alcance de la revolución tecnológica-industrial en curso; en la segunda sección se analizan los momentos principales del revolucionamiento tecnológico-productivo del nuevo núcleo dinámico sobre el precedente; para en la tercera abordar los aspectos distintivos del nodo de México y sus RPG de proveeduría interindustrial.

Revolución tecnológica-industrial actual: ubicación de los procesos de digitalización y la inteligencia artificial

Antecedentes: primera y segunda revoluciones industriales

En la literatura especializada sobre el tema se tiende a referirse indistintamente a revolución tecnológica y a revolución industrial como procesos que dan cuenta de algún modo a los mismos fenómenos. Pero ya Marx, en su estudio sobre maquinaria y gran industria, hacía la distinción esencial entre ambas al plantear que “la propia máquina de vapor, tal como fue inventada a fines del siglo ^{xvii}, durante el periodo manufacturero, y tal como siguió existiendo hasta comienzos del decenio de 1780, no provocó revolución industrial alguna. Fue, a la inversa, la creación de las máquinas-herramientas lo que hizo necesaria la máquina de vapor revolucionada” [Marx, 1979: 456].

Así, una *revolución tecnológica*, como “constelación de innovaciones técnicas estrechamente interrelacionadas” [Pérez, 2004: 32], se convierte en *revolución industrial* cuando irrumpe en la transformación de las máquinas-herramientas como uno de los componentes del equipo de producción. Ese hecho resulta decisivo en la medida en que hace necesaria, tanto una fuerza motriz y un mecanismo de transmisión revolucionados en el equipo de producción, en el aspecto técnico; como, en el aspecto socioespacial, un cambio en la forma de organización y solución del antagonismo social entre capital y trabajo en el proceso de trabajo, que supone, simultáneamente, una nueva forma de organización, dirección y despliegue espacial (*layout*) del sistema de trabajo, acorde con la transformación de las máquinas-herramientas como su soporte material. Ese cambio socioespacial constituye, a su vez, el punto de partida de una nueva construcción histórico-social en términos de fase de desarrollo del capitalismo [Ordóñez, 2021].

Según Hobsbawm [1999] la primera revolución industrial tuvo lugar en su mayor parte de 1780 a 1840, basada en la mecanización a partir de la máquina de vapor como fuerza motriz de nuevas máquinas-herramientas en la industria textil, primero; y su extensión a otras

industrias como los medios de consumo primarios, carbón, fierro y acero después. Sus consecuencias inmediatas fueron la pauperización extrema de la clase obrera, la intensificación del trabajo y la extensión de la jornada laboral como métodos para consolidar a la nueva industria capitalista emergente y desplazar definitivamente a la manufactura y la producción artesanal.

No fue sino hasta después de 1848 cuando se conforma el sistema fabril en el que impera una tendencia a la equiparación de trabajos entre operarios distribuidos entre máquinas especializadas y, posteriormente, el surgimiento de operarios calificados en actividades de rápida expansión como la ingeniería, la construcción de máquinas, barcos, etc., que constituye una “aristocracia obrera”, como punto de partida de una nueva construcción social, primero, en Inglaterra y luego en el resto de los países metropolitanos del último tercio del siglo XIX [Marx, 1979, y Hobsbawm, 1986].

La segunda revolución industrial consistió en la automatización mecánica y tuvo lugar aproximadamente entre 1870 y 1914, basada en la generación de electricidad mediante un dispositivo autónomo o dínamo eléctrico, como fuerza motriz de máquinas-herramientas automatizadas y especializadas de mayor precisión. Constituyó el fundamento de la línea de montaje introducida por Henry Ford en 1913, la cual posibilitó la producción en serie a partir de partes intercambiables y redujo el tiempo de ensamble de los automóviles a 12.5 horas. Ello, a su vez, requirió de una provisión más rápida de partes y componentes, mediante máquinas-herramientas de todo tipo que operan a mayor velocidad, con dispositivos de alimentación más automatizados y con una precisión sustancialmente mejorada [Carlsson, 2004].

La línea de montaje fue el fundamento tecnológico del fordismo que reúne en un mecanismo único automatizado los sistemas de máquinas que el taylorismo había dejado aislados. Su base organizacional, al igual que la del taylorismo, está constituida por la separación entre la concepción, la programación y el control de calidad del trabajo, de un lado, y su ejecución, de otro; así como por la parcialización y la estandarización del trabajo [De Felice, 1977].¹

El fordismo, a su vez, estableció una nueva forma de hegemonía en el proceso productivo: la autoridad y el prestigio personal de los antiguos obreros calificados del sistema fabril fueron sustituidos por el reconocimiento en la conciencia del obrero individual de la necesidad “técnica” de la parcialización del trabajo, que supone la pérdida de la

¹ El surgimiento del taylorismo, y ulteriormente del fordismo, implicó una lucha por parte de la patronal contra los antiguos obreros calificados, quienes, en el antiguo sistema fabril, eran los depositarios de la dirección del proceso productivo [Hobsbawm, 1986]. Tal disputa fue por el control del *know how* del proceso, el cual, finalmente, se deposita en un nuevo estrato de técnicos de la producción (o cuellos blancos), quienes, junto con los supervisores, constituyen los representantes de la patronal en el proceso productivo.

visión de conjunto del proceso, de modo tal que la contribución individual aparece como despreciable y sustituible en cualquier momento [Gramsci, 1934]. El depositario de tal necesidad “técnica” es, entonces, el nuevo estrato de técnicos de la producción, el cual ejerce un control directo sobre el trabajador, que le impone ritmos y cadencias con base en el manual de tiempos y movimientos [Coriat, 1991].

Así, tiene lugar una intensificación del trabajo, pero con salarios más elevados, los cuales posibilitan el acceso de los operarios al consumo de “sus” productos, con lo cual se extiende el proceso hegemónico de la producción a la distribución.

Lo anterior constituirá el punto de partida de la nueva construcción social del fordismo-keynesianismo en Estados Unidos, el cual se extendería a Europa occidental y Japón en la segunda posguerra, y en América Latina asumiría la forma de la industrialización por sustitución de importaciones.

La tercera revolución industrial y sus re combinaciones

La tercera revolución industrial proporciona una base electrónico-informática y de telecomunicaciones a la automatización, a partir de los fundamentos tecnológicos del circuito integrado, el *software* y la digitalización, desde los años sesenta y aun en la actualidad, no obstante las posturas que identifican los desarrollos tecnológicos en curso como una cuarta revolución industrial, como se discutirá a continuación.

El circuito integrado es inútil sin el *software* (programa) y las instrucciones contenidas que regulan y guían sus operaciones; a la inversa, un *software* no puede correrse sin la conducción, semiconducción y aislamiento de los electrones que proporciona el circuito integrado.

La primera vez que *hardware* y *software* adquirieron una existencia separada fue en 1964 con la primera familia de computadoras y *software* intercambiables (S/360), lo que además de implicar la evolución del circuito integrado en microprocesador (o circuito integrado reprogramable), potenciaría enormemente el alcance de la industria electrónica, al posibilitar que el circuito integrado se orientara a la naciente industria de la computación, con el consiguiente desarrollo de ésta desde los años ochenta; además de permitir la inserción del microprocesador en aparatos, equipos, instrumentos y objetos convencionales de muy diversa índole, que llevó a un control electrónico de su funcionamiento [Ordóñez, 2004].

Lo anterior aunado a la digitalización, esto es, la conversión de señales analógicas en señales digitales (binarias), constituirá el fundamento de cuando menos tres procesos que no se desarrollarían plenamente sino hasta los años noventa y durante lo que va del siglo XXI: 1) la convergencia entre la computación y las telecomunicaciones; 2) la intercomunicación e interacción entre dispositivos electrónicos de la más diversa índole que se

efectúa de modo creciente por medio de las redes de interconexión y sobre todo internet; 3) la posibilidad de los dispositivos electrónicos de captar información cambiante del medio ambiente circundante y reaccionar ante ello de un modo programado.

Así, desde los años sesenta y setenta los sistemas de diseño, arquitectura y manufactura del producto computarizados —conocidos como CAD-CAE-CAM— en el equipo de producción, que de a poco fueron integrándose, posibilitaron que plasmar una idea en un dibujo realizado manualmente se transformara en un diseño legible para una máquina que podía modificarse subsecuentemente y traducirse de manera directa en un prototipo en el cual todas sus partes ajustarán recíprocamente; y de ahí llevar el proceso al piso de fábrica con máquinas-herramientas automatizadas, reprogramables y controladas electrónicamente, con las consecuentes enormes economías de tiempo y logísticas, además de la multiplicación exponencial de las posibilidades del diseño, con el resultante incremento en la productividad del trabajo [Ordóñez, 2023].

Lo anterior proporcionó una nueva base tecnológico-productiva al toyotismo —desarrollado inicialmente en Japón desde los años cincuenta a partir del fundamento tecnológico de la segunda revolución industrial— como punto de partida de una nueva construcción social que resultaría en el capitalismo del conocimiento actual.

El toyotismo persigue objetivos contrarios al fordismo, al buscar la producción de pequeñas series de productos diferenciados y variados, que incorpora las propuestas de mejora del proceso de trabajo y del producto por parte de los operarios [Coriat, 1991: 41-51]; esto es, implica la búsqueda “consciente” por el capital de la apropiación y valorización del conocimiento de los operarios, en especial su conocimiento tácito, lo que no puede tener lugar sin su activa implicación productiva.

Esa implicación ocurre a cambio de un enriquecimiento del contenido del trabajo como actividad humana que contrarresta, en cierta medida, su carácter enajenado,² al convertirse en una nueva profesión que sólo puede validarse colectivamente, en tanto que supone un saber hacer individual materializado en productos parciales cuya integración resulta en un producto colectivo reconocible. Se trata, por tanto, de una actividad orientada a un fin (producto diferenciado), que es variada (multifuncionalidad), incluye diversas dosis de creatividad (incorpora iniciativas teórico-prácticas de los operarios), y cuya gestión se encuentra, en alguna medida, bajo el control del operario individual o el equipo de trabajo [Coriat, 1991].

² La teoría de la enajenación del individuo y la cosificación de las relaciones sociales de Marx se refiere a que en las sociedades divididas en clases sociales los individuos entran en relaciones sociales ajenas a su voluntad y que los dominan, lo cual adquiere un carácter extremo en el capitalismo, con su correlato en la teoría de la enajenación de la actividad productiva del individuo (el trabajo, como trabajo abstracto indiferenciado) y de su producto (la mercancía) [Juanes, 1982: 439-442].

Después de una primera etapa basada en el desarrollo de la computadora personal, la tercera revolución industrial ha sufrido dos series de re combinaciones de sus fundamentos tecnológicos bajo nuevas formas disruptivas con posterioridad a las crisis que se han sucedido durante su trayectoria: la crisis global de 2001-2002 centrada en las nuevas empresas emergentes de la revolución industrial (índice NASDAQ), y la crisis financiero-productiva global de 2007-2009 centrada en las *securities* respaldadas en hipotecas.

La primera re combinación trajo consigo la extensión y profundización de la trayectoria tecnológica básica de la revolución industrial, a partir de la dilatación del radio de acción del microprocesador, la digitalización y la conectividad en redes entre los distintos dispositivos, que permitió ampliar la capacidad de procesamiento e interacción informáticos a una enorme cantidad de nuevos dispositivos, estructuras y procesos de diferentes tipos (cerebros electrónicos, memorias, sensores, instrumentos de control, medidores, etc.). Entre los nuevos dispositivos con capacidad de procesamiento e interacción informática destacaban los de telecomunicaciones, electrónica de consumo e instrumentos de precisión.³

Lo anterior conlleva un proceso de convergencia tecnológica-digital que, vinculado al amplio e intenso desarrollo de las redes y de internet, posibilitaron la interconexión entre dispositivos en espacios de naturaleza, dimensiones y localización muy diferentes. Ello tenía lugar, tendencialmente, sin la intermediación de cables (la comunicación inalámbrica, por ejemplo, posibilitaba nuevas formas de organización de actividades humanas relativamente independizadas del territorio), lo que implicaba, a su vez, una profundización de la convergencia de la computación con las telecomunicaciones.

La incidencia del *software* en el proceso de re combinación estaba íntimamente relacionada con el desarrollo de internet —en la medida en que el contenido de internet es básicamente *software*—, el cual implicaba, en sus aspectos más generales, tres procesos fundamentales: 1) el desarrollo de nuevas y más veloces tecnologías de conexión y acceso; 2) la constitución de internet como ámbito tecnológico y económico de articulación de la operación de múltiples dispositivos electrónicos, contenido y servicios asociados, y 3) la profundización de internet en la intermediación de la reproducción económica y social [Dabat y Ordóñez, 2009].

El desarrollo de internet dio origen a las primeras nociones de “economía digital” en la segunda mitad de los años noventa, las cuales básicamente daban cuenta de ese proceso. En palabras de Tapscott [1996], uno de los precursores en el uso de la noción, la

³ Los cuales, gracias a ese proceso, pasan a formar parte del sector electrónico-informático y de las telecomunicaciones tanto tecnológica como contablemente [Dabat y Ordóñez, 2009].

“economía digital” comprendía dos generaciones de actividad económica: la primera era informacional e incluía tareas básicas como subir información estática en sitios *web*; mientras la segunda implicaba la comunicación y reflejaba la habilitación de la interactividad por el desarrollo de internet [Bukht y Heeks, 2017].

Pero, a medida que la trayectoria tecnológica de la revolución industrial se ha ido extendiendo y profundizando, la noción de “economía digital” se ha ampliado y hecho más imprecisa y vaga, hasta llevar al extremo el efecto económico-social de la digitalización, desvinculando su articulación intrínseca con el desarrollo de los otros fundamentos tecnológicos de la revolución industrial. Así, la “economía digital” ha pasado a incluir en gran medida al conjunto de actividades económicas en la actualidad. Por ejemplo, la definición de Bukht y Heeks [2017] —surgida después de revisar más de 20 definiciones de otros tantos estudios y reportes internacionales sobre el proceso de 1996 a 2017— es una de las más amplias e incluye: al “sector digital” o sector productor de “bienes y servicios digitales”; la “verdadera economía digital”, que comprende lo anterior más los servicios digitales y de plataforma emergentes; y la “economía digitalizada” que añade el uso de las tecnologías de la información y las comunicaciones en todas las actividades económicas.

Pero, no obstante su imprecisión, la anterior definición ubica de modo correcto el proceso de digitalización como parte de la tercera revolución industrial;⁴ sin embargo, en otras definiciones, como la de Mamatzhonovich y colaboradores [2022], la “economía digital” aparece como reflejo de la transición entre la tercera y la cuarta revoluciones industriales, esta última basada en la “revolución digital” (*sic*) [Mamatzhonovich *et al.*, 2022].

La segunda recombinación de los fundamentos tecnológicos de la revolución industrial ha traído consigo una nueva extensión y profundización de su trayectoria básica, pero de alcance mucho mayor, al estar sustentada en una socialización de la capacidad productiva, de la operación y el desarrollo, así como del uso de tecnologías convergentes, y su proyección a un nuevo nivel de interactividad e imbricación con el mundo físico y el biológico; lo cual expresa un nivel cualitativamente superior de confluencia entre la computación y las telecomunicaciones, a partir, sobre todo, del desarrollo de la computación

⁴ “En la década de 1990, los cambios económicos se asociaron principalmente al surgimiento de internet, y esto sigue siendo la base del crecimiento de la economía digital. Pero durante las décadas de 2000 y 2010, una sucesión de nuevas tecnologías de la información y la comunicación (TIC) difundió y apoyó el cambio económico. Esto incluye la integración de sensores conectados en más y más objetos (el internet de las cosas); nuevos dispositivos de usuario final (teléfonos móviles, teléfonos inteligentes, tabletas, *netbooks*, computadoras portátiles, impresoras 3D); nuevos modelos digitales (computación en la nube, plataformas digitales, servicios digitales); creciente intensidad del uso de datos mediante la difusión de *big data*, análisis de datos y toma de decisiones algorítmicas; y nuevas tecnologías de automatización y robótica” [OCDE, 2015 citado en Bukht y Heeks, 2017: 2].

centrada en el análisis de enormes cantidades de datos (*big data*), y el llamado internet de las cosas (*internet of things: IoT*).

Lo anterior, a su vez, posibilita el surgimiento de una “economía de la compartición” (*sharing economy*) como la producción colaborativa del *crowdsourcing-crowdfunding* y el consumo colectivo de productos durables privados a partir del acceso a la capacidad ociosa de esos productos; así como de una nueva capacidad “molecular” de captar información cambiante del medio (físico o biológico) circundante y de reaccionar de manera programada incidiendo en su transformación.

La computación centrada en el análisis de enormes cantidades de datos, junto con otros desarrollos, como la comunicación entre máquinas (M2M) (que consolida procesos de la primera recombinación) y el *cloud computing*,⁵ constituyen los fundamentos de una nueva era en la capacidad de aprendizaje de las máquinas con base en la creación de las redes neuronales profundas (*deep neural nets*); lo cual proporciona el sustrato de la inteligencia artificial, esto es, el proceso de entrenamiento de algoritmos a partir de la provisión de enormes volúmenes de información en la nube y la exposición posterior del algoritmo mediante algún dispositivo sensorial en el borde de la red a los datos provenientes del mundo real para la toma de decisiones por inferencia, es decir, resultado de la interacción entre los nuevos *inputs* de datos y el sustrato del entrenamiento previamente recibido. En el caso de los procesos que implican interactividad con el medio físico o biológico, lo anterior se lleva a cabo mediante sensores que miden múltiples propiedades físicas y constituyen las interfases entre el mundo físico y el biológico, por una parte, y el electrónico, por la otra; y actuadores que convierten señales electrónicas en fenómenos físico-biológicos que transforman el medio circundante [OCDE, 2015a: 245].⁶

El aprendizaje avanzado de máquinas favorece el desarrollo de una gama de aplicaciones para máquinas inteligentes o agentes y cosas autónomas (*autonomous agents and*

⁵ Se refiere a la computación basada en el desarrollo de las redes y el uso de internet, en la cual las aplicaciones informáticas y de telecomunicaciones ya no se encuentran en la computadora, el servidor o las redes del usuario, sino en servidores y redes externas (de la empresa u organización que provee el servicio), los cuales proporcionan servicios de infraestructura a múltiples usuarios [Ordóñez y Bouchain, 2018].

⁶ El otro aspecto de esta tendencia de desarrollo son los materiales impresos en tercera dimensión (*3D printing materials*), cuyo avance se ha traducido, por un lado, en el uso de una amplia gama de materiales, que incluyen aleaciones avanzadas de níquel, fibras de carbón, vidrio, tinta conductiva, y materiales electrónicos, farmacéuticos y biológicos; y por el otro, en la ampliación de sus aplicaciones prácticas a varias industrias, tales como la aeroespacial, médica, automotriz, energía y militar. Estos avances requerirán el rediseño de las líneas de ensamblaje y de las cadenas de suministro para explotar el *3D printing* [Ordóñez, 2020].

things), incluidos robots, vehículos, asistentes personales virtuales (VPA, por sus siglas en inglés) y consejeros inteligentes (*smart advisors*).⁷

Lo anterior, en combinación con las máquinas a control remoto, abre la posibilidad al desarrollo de máquinas autónomas y sistemas inteligentes (como la industria 4.0) capaces de operar sin la intervención del hombre. En su lugar, las máquinas son controladas, ya sea interna o remotamente, mediante una computadora situada en otro lugar. Así, las máquinas y los sistemas inteligentes del cual forman parte usan una combinación de gran capacidad de análisis de datos, *cloud computing*, comunicación entre máquinas, sensores y actuadores para operar y aprender [OCDE, 2015a: 246].

Por su parte, el internet de las cosas supone, a su vez, el desarrollo del *cloud computing* y los sensores y actuadores, en donde el primero implica el desarrollo de la computación mediante su desplazamiento desde la computadora personal y las redes internas privadas, y su centralización y potenciamiento en grandes servidores en red, en lo cual las aplicaciones informáticas y de telecomunicaciones son proporcionadas como servicios en red, a partir de nuevas arquitecturas y plataformas de *hardware-software* necesarias para soportar negocios digitales y algorítmicos, mediante los cuales los individuos acceden a aplicaciones e información, o interactúan con otras personas, comunidades, oficinas gubernamentales o empresas en espacios virtuales.

A su vez, el *IoT* constituye una red de dispositivos que contiene sensores y actuadores distribuidos a todo lo largo en aparatos móviles, dispositivos de vestimenta (*wearables*), aparatos electrónicos de consumo o del hogar, y dispositivos automovilísticos y ambientales, que proporciona una nueva capacidad “molecular” de captar información del medio circundante y actuar sobre él; en donde los dispositivos están crecientemente conectados a sistemas terminales por medio de diferentes redes, y actúan con frecuencia en aislamiento, pero en una perspectiva evolutiva hacia la expansión de modelos de conexiones y una creciente cooperación interactiva entre dispositivos [Ordóñez, 2020].

Por consiguiente, la supuesta emergencia de una nueva revolución industrial sustentada en “...una fusión de tecnologías que está opacando las líneas entre las esferas física, digital y biológica [, lo cual] representa no meramente una prolongación de la tercera revolución industrial sino más bien el arribo de una cuarta revolución distintiva [, debido a] la velocidad, el alcance e impacto en los sistemas [de las transformaciones]” [Schwab, 2015: 3], tal como lo promueven Klaus Schwab y el World Economic Forum (WEF), resulta a todas luces errónea, en tanto que —como se ha visto— los desarrollos actuales obedecen a un proceso continuo y acumulativo de construcción de bloques de conocimiento

⁷ Las máquinas inteligentes basadas en *software* tienen una aplicabilidad más próxima y de más amplio rango, tales como los VPA Google Now, Cortana, de Microsoft, o Siri, de Apple [Ordóñez, 2020].

ya existentes o en proceso de conformación de la tercera revolución industrial que se re-combinan en forma disruptiva.

Pareciera ser, en cambio, que el “mito de una cuarta revolución industrial”⁸ responde a la necesidad de crear una nueva “utopía social” frente a la crisis financiero-productiva global de 2007-2009 y su secuela de lento crecimiento con bajas tasas de inversión y de ganancia, agravadas recientemente por la irrupción del virus y la guerra en Ucrania; que abra la perspectiva de una nueva era de prosperidad sin poner en discusión la liberalización de las fuerzas del capital que ha caracterizado al neoliberalismo, del cual el WEF es ferviente promotor.

REVOLUCIÓN TECNOLÓGICO-INDUSTRIAL: NUEVO CICLO INDUSTRIAL Y NÚCLEOS DINÁMICOS⁹

La nueva construcción social que tiene como punto de partida la articulación de la nueva base tecnológico-productiva resultante de la tercera revolución industrial con el toyotismo, hacia la década de 1980, implica una inédita preeminencia económica de los procesos de conocimiento, aprendizaje e innovación, los cuales se convierten en la fuerza productiva principal y suponen la formación de un nuevo ciclo industrial cuyo núcleo dinámico está constituido por el sector electrónico-informático y de las telecomunicaciones (SE-IT), estrechamente articulado con la industria eléctrica [Ordóñez, 2004]. El nuevo núcleo dinámico sustituye y se superpone al complejo industrial automotriz-metal/mecánico-petroquímico propio del ciclo industrial de la fase de desarrollo fordista-keynesiana precedente, vigente desde la década de 1930 hasta la de 1970 [Mandel, 1997; Ordóñez, 2004, 2009; Dabat y Ordóñez, 2009].

La consolidación del nuevo ciclo industrial implica el desarrollo de una capacidad de revolucionamiento tecnológico-productivo del nuevo núcleo dinámico sobre el núcleo dinámico precedente, que al mismo tiempo incide sobre la trayectoria de desarrollo tecnológico del primero, lo cual se traduce en la formación de nuevos subsectores productivos (conocidos genéricamente como auto-electrónicos) y nuevas redes productivas globales (RPG) de proveeduría interindustrial del primero al segundo, lo que va aparejado a la transición de una base tecnológica mecánico-eléctrica a otra electrónico-informática

⁸ Ian Moll titula su artículo aparecido en la revista *Theoria* “The myth of the fourth industrial revolution” (núm. 167, vol. 68, enero de 2021) y en él muestra, de manera pormenorizada, rastreando sus orígenes, que las tecnologías que se plantean como características de una cuarta revolución industrial (inteligencia artificial, digitalización, *3D printing*, *big data*, *IoT*, *machine learning*, robótica, etc.), constituyen desarrollos propios de la tercera revolución industrial.

⁹ Este capítulo retoma lo desarrollado en Ordóñez [2023] y profundiza en la incidencia de los procesos de digitalización e inteligencia artificial.

y de las telecomunicaciones del núcleo industrial precedente, particularmente de la industria automotriz [Ardebili *et al.*, 2019].

En lo que sigue se llevará a cabo una primera aproximación al estudio de esa capacidad de revolucionamiento tecnológico-productivo sobre el núcleo dinámico precedente, lo que implica simultáneamente una incidencia de este último en la trayectoria tecnológica del primero que no será abordada de manera explícita.¹⁰ Se trata de una primera aproximación, puesto que no se incluye al conjunto de actividades industriales que componen el núcleo dinámico precedente; esto es, las industrias automotriz, metalmeccánica y petroquímica; en cambio, el análisis está centrado en la industria automotriz, al constituir la actividad donde se concentra el efecto de ese revolucionamiento y debido a su papel articulador y dinamizador sobre las otras industrias al interior de ese núcleo. Esa articulación entre actividades tiende a cambiar como resultado del mismo proceso, como se verá.

El revolucionamiento tecnológico-productivo de la industria automotriz ha tenido lugar simultáneamente al desarrollo tecnológico-productivo del SE-IT, si bien ese efecto ha tendido a acelerarse con los desarrollos tecnológicos más recientes de éste, al tiempo que aquélla ha profundizado su incidencia sobre la trayectoria tecnológica del sector.

Se pueden distinguir seis grandes momentos del revolucionamiento tecnológico-productivo de la industria automotriz por el SE-IT, con diversos desarrollos distintivos cada uno. El primer momento tuvo lugar con la *entrada del microprocesador al equipo de producción y de los sensores al automóvil* a partir de la década de 1960, proceso que tuvo como antecedente la invención del propio microprocesador; esto es, un circuito integrado reprogramable que posibilitaba su inserción en instrumentos y objetos convencionales para controlar electrónicamente su funcionamiento [Ordóñez, 2004]. Fueron cinco los desarrollos distintivos de este momento:

- i. *Sistemas CAD-CAE-CAM2 en el equipo de producción.* Los sistemas computarizados de diseño, arquitectura y manufactura del producto trajeron consigo enormes economías de tiempo y logísticas, además de la multiplicación exponencial de las posibilidades del diseño e incremento en la productividad del trabajo en la industria automotriz. En lo inmediato, el proceso se tradujo en una importante reducción del número de plataformas, al posibilitar que una sola sirviera para diversos modelos de autos, lo que trajo consigo una tendencia a la unificación técnica de la industria, la disminución de las barreras entre fabricantes y una enorme reducción de costos de inversión [Shimokawa, 2010].

¹⁰ Es decir, cómo el revolucionamiento de la industria automotriz incide sobre la trayectoria tecnológica de actividades como los semiconductores, el *software* o los procesos de digitalización-virtualización.

- ii. *Sistemas de inyección electrónica*. Resolvía los problemas de ignición de los motores de gasolina y diésel mediante sensores que miden el flujo y la temperatura del aire, además de contar con un sistema computarizado que analiza esos datos y ajusta la cantidad de combustible provista al motor. No fueron los fabricantes sino el proveedor de partes eléctrico-electrónicas alemán Bosch el que impuso el nuevo estándar tecnológico en la industria a unos fabricantes reticentes que comenzaron a ceder ante las primeras disposiciones regulatorias sobre la calidad del aire aplicadas en Estados Unidos entre 1963 y 1968 [Martínez, 2021].¹¹
- iii. *Sistemas de encendido sin distribuidor (Distributionless Ignition Systems: DIS)*. Consiste en sensores que proporcionan datos de la posición de las bobinas de encendido individuales, a partir de lo cual un *software* incrustado acciona las bobinas individuales conectadas a las bujías de encendido con precisión exacta. Se trató del punto de partida de la extensión del uso de sensores y *software* a otras partes y componentes, y el inicio de la concepción del automóvil como un sistema computarizado, donde el fabricante estadounidense General Motors dio el paso como primer innovador en la década de 1980 [Martínez, 2021]. Los antecedentes inmediatos fueron la invención de la computadora personal en la década de 1980, que significó el arribo de la computadora al hogar y al usuario personal, lo que entrañó su masificación y el crecimiento exponencial de la industria de cómputo [Ordóñez, 2004]; además del lanzamiento del estándar Groupe Special Mobile (GSM) por la Comunidad Europea, que en la década de 1990 se convertiría en el estándar mundial predominante de la telefonía móvil digital [Ordóñez, 2021].
- iv. *Diagnóstico a bordo (On Board Diagnostics: OBD)*. Se trata de la programación de los sistemas de motores para autodiagnosticar y reportar fallas automáticamente. En un inicio, se construyeron para garantizar el control de calidad en la línea de montaje y se convirtieron en obligatorios bajo el efecto de regulaciones medioambientales: primero en California en 1998 y luego en 2006 para todos los estados en Estados Unidos. En 2001 y 2004, sucedió lo mismo en la Unión Europea (motores de gasolina y diésel, respectivamente) y en 2006 en Australia y Nueva Zelanda [Martínez, 2021].

¹¹ El éxito del modelo Volkswagen 1600 de 1967 condujo más adelante a Mercedes y BMW a co-desarrollar sistemas similares con Bosch. Años más tarde, el Cadillac Sevilla de 1976, el Toyota Supra de 1979 y el Chrysler Imperial de 1981 fueron modelos que llegaron al mercado con esta tecnología transformadora del paradigma [Martínez, 2021].

- v. *Sistemas de seguridad combinados: cinturones de seguridad y bolsas de aire.* Tras un impacto, los sensores de las bolsas de aire reducen la tensión de los cinturones de seguridad para disminuir la presión cinética sobre el cuerpo humano, al tiempo que se bloquea el tablero de control. El fabricante alemán Mercedes Benz fue el primero en vincular ambos sistemas en una sola solución en 1981, y el estadounidense Chrysler en ofrecer bolsas de aire en todos sus vehículos vendidos en Estados Unidos en 1988 [Martínez, 2021].

El segundo momento consistió en el desarrollo de una *capacidad de reaccionar ante el ambiente circundante mediante actuadores* (a partir de la información proporcionada por los sensores), con dos momentos distintivos de su desarrollo:

- i. Control electrónico de la estabilidad (*Electronic Stability Control: ESC*). Creado bajo el supuesto de que el conductor tiende a entrar en pánico y frenar cuando pierde el control del vehículo, consiste en sensores que detectan señales de una posible pérdida de control del vehículo y hacen entrar en operación actuadores (algoritmos) que lo estabilizan, lo que implica un paso hacia la automatización del vehículo. Fue desarrollado inicialmente hacia finales de la década de 1980 por el fabricante alemán BMW en conjunto con los proveedores Bosch y de neumáticos Continental-Teves, que evolucionó a desarrollar sistemas de frenos y otros componentes fundamentales [Martínez, 2021].¹²
- ii. Llaves inteligentes. Sensores en las cerraduras y los sistemas de encendido detectan la presencia cercana de las llaves, con lo que desbloquean la cerradura y activan el sistema de encendido, el cual se inicia oprimiendo un botón. Inicialmente, BMW lo introdujo hacia finales de la década de 1990.

El tercer momento fue *el infotainment y la navegación GPS* que transformaron la concepción del automóvil no sólo como un sistema computarizado, sino como un espacio móvil de entretenimiento y navegación georreferenciada mediante satélite, con la intermediación inicial del teléfono móvil inteligente como dispositivo de control hacia la década de 2010.¹³ Esa transición trae consigo la convergencia y confluencia de cuando menos cuatro industrias, además de la industria proveedora de servicios telemáticos:¹⁴ la

¹² Los fabricantes estadounidenses desarrollan tardíamente ESC debido al peso en su producción total de las *pick-ups* y las *SUV*, y su preferencia por los consumidores, en tanto que la separación del suelo de esos vehículos dificulta la operación de los sensores de estabilidad [Martínez, 2021].

¹³ En un inicio, el teléfono móvil inteligente actuó como dispositivo de control del *infotainment*, lo que evolucionaría posteriormente al auto conectado a las redes móviles.

¹⁴ Sin embargo, los TSP (*Telematic Service Providers*) representaron un cambio importante: la introducción de los servicios de seguridad integrados por parte de los fabricantes de automóviles expandió sus

automotriz; la de semiconductores —previamente ya imbricada con la primera—; la de telecomunicaciones, particularmente los operadores móviles; y la de contenido.¹⁵

La entrada en escena del teléfono inteligente como dispositivo de control de otros dispositivos interconectados inauguró la carrera entre los fabricantes móviles por imponer su sistema operativo en el nuevo “ecosistema”, donde Nokia en alianza con Intel se ponen en la delantera para desarrollar un sistema operativo basado en *software* de fuente abierta que garantizaba rápida escalabilidad para los dispositivos móviles: MeeGo. Pero como preludio de la adquisición por Microsoft de la división móvil de Nokia que tendría lugar en 2014, ésta se alía con aquélla en 2011 en un intento por recuperar su dominio reciente del mercado, anunciando que adoptaría como principal sistema operativo Windows Phone, lo que implicó el relegamiento de su sistema operativo Symbian (hasta hacía poco el dominante en Europa y Asia) y el de MeeGo. Esto abrió las puertas al dominio de los sistemas operativos Android de Google y iOS de Apple [Martínez, 2021].

El cuarto momento fueron los *vehículos en red* en la década de 2010, que tiene como fundamento el escalamiento en la capacidad de transmisión de las redes de interconexión, particularmente de las 3a y 4a generaciones,¹⁶ y la más reciente y actual de 4a a 5a (5G), con tres momentos distintivos.

- i. Computación en la nube y en el borde de red (*cloud/edge computing*). Con el antecedente directo del aprendizaje profundo de máquinas y la inteligencia

modelos de negocios más allá de la fabricación y venta minorista de productos hacia la provisión de servicios, los puntos de contacto a lo largo del ciclo de vida del cliente y la capacidad de recaudar ingresos recurrentes [Deloitte University Press, 2015].

¹⁵ ATyT Mobility continúa reforzando su presencia mundial en automóviles conectados, ha anunciado varios acuerdos con fabricantes de automóviles europeos en el evento Mobile World Congress. El operador de telecomunicaciones nacional informó de un acuerdo con Vodafone para respaldar el despliegue del servicio telemático OnStar de General Motors en vehículos Opel y Vauxhall en mercados europeos seleccionados. Los fabricantes de automóviles, que forman parte de GM, aprovecharán los servicios LTE proporcionados por Vodafone para ofrecer conectividad Wi-Fi en el automóvil; servicios de emergencia, como asistencia en carretera y respuesta automática en caso de colisión; asistencia para vehículos robados; diagnóstico de vehículos; y descarga de destino («*Connected Cars*» ATyT speeds up connected car business, 26/02/2016, <<https://goo.su/1a4XaH>>).

¹⁶ Las redes eran estables y funcionaban con velocidades de datos 3G lo suficientemente buenas como para cumplir la promesa de los teléfonos inteligentes de transmitir música e internet en cualquier lugar y enviar correos electrónicos, además de *bluetooth* (frecuencia de radio para objetos cercanos). El internet finalmente fue móvil: una torre 3G podría ofrecer una señal estable y rápida a alrededor de 60 a 100 usuarios de celulares, mientras una 4G podría hacer lo mismo, pero para 300 a 400 personas al mismo tiempo [Martínez, 2021].

artificial como tendencias de desarrollo recientes del SE-IT [Ordóñez, 2020], que conforman el último paso en la conversión de señales analógicas en digitales y viceversa, tiene lugar un intenso proceso de entrenamiento de algoritmos a partir de la provisión de enormes volúmenes de información en la nube a nivel de las fábricas automotrices que prefiguran la toma de decisiones con cero errores. Una vez que los algoritmos han sido entrenados y confirmados, son incrustados en el automóvil y expuestos a los datos provenientes del mundo real para la toma de decisiones, en tanto que el automóvil constituye en sí mismo un dispositivo computacional en el borde de la red. En ese proceso, la tendencia es hacia el desplazamiento de la capacidad de aprendizaje de la nube al borde de la red, en una dinámica que extenderá el uso de la inteligencia artificial a casi todos los dispositivos, incluso a aquéllos con poca capacidad computacional —como el microprocesador y los microcontroladores se habían generalizado previamente—, con importantes áreas potenciales de aplicación a futuro como el mantenimiento preventivo, la personalización del funcionamiento del automóvil y actividades que van más allá de las capacidades humanas [Sperling, 2023].¹⁷

- ii. Intercomunicación e interacción entre vehículos (IoV) e infraestructura digital. El antecedente del IoV se remonta a la primera recombinación de los fundamentos tecnológicos de la tercera revolución industrial fundamentada en el aumento del radio de acción del microprocesador, la digitalización y la conectividad entre los distintos dispositivos [Dabat y Ordóñez, 2009].

La convergencia tecnológica resultante proporcionaría el fundamento de la constitución de redes interactivas de dispositivos que incorporaría a los vehículos a partir del desarrollo de la tecnología específica automotriz de comunicación de corto alcance (*Dedicated Short Range Communication: DSRC*), creada desde finales de la década de 1990,¹⁸ que conforma una

¹⁷ En el mantenimiento preventivo, se tratará de detectar patrones anómalos de vibraciones y ruidos provenientes de motores y otros equipos, y captar cuándo ha cambiado algo. Hasta ahora, las fases temprana y media de la inteligencia artificial se han centrado en tratar de duplicar las cosas que los humanos pueden hacer en los dispositivos, pero el futuro está en ir más allá y ser capaz de predecir cuándo ocurrirá una falla considerando modalidades y estilos de conducción, además de la interacción con otros vehículos que ningún ser humano puede hacer. Más aún: ser consciente de todo el tráfico en todas las carreteras y tomar la mejor elección posible [Sperling, 2023].

¹⁸ El segmento de Comunicaciones Dedicadas de Corto Alcance (DSRC) será el de mayor y más rápido crecimiento dentro del mercado V2X, actualmente liderado por grandes empresas como Robert Bosch GmbH (Alemania), Continental AG (Alemania), Qualcomm Technologies, Inc. (Estados Unidos), Autotalks Ltd. (Israel) y Delphi Technologies (Reino Unido). Los gobiernos y reguladores han desempeñado su papel

red computarizada en la cual los vehículos y nodos basados en sensores a lo largo del camino se intercomunican y proporcionan advertencias de seguridad e información del tráfico.

Lo anterior rompe con el paradigma de “el camino controla al automóvil”, bajo el cual tuvieron lugar los primeros desarrollos de la infraestructura digital con los proyectos de la *Radio Corporation of America* (RCA) o el proveedor de partes Bendix, que se remontan a la década de 1950 en Estados Unidos y estaban basados en la magnetización y electrificación de los caminos [Martínez, 2021].¹⁹

El desarrollo de la infraestructura digital confluye con el de las “ciudades inteligentes” (*smart cities*) que proporcionan un ambiente de conectividad interna y externa entre: 1) individuos; 2) entre individuos y objetos, y 3) entre los objetos mismos, ello a partir de un desarrollo de la capacidad de procesamiento (y almacenamiento) de enormes cantidades de información y del volumen, la velocidad y el alcance de la transmisión de esa información por las redes de interconexión [Ordóñez, 2020].

- i. *Biométrica*. Tiene el antecedente inmediato del desarrollo de la telemedicina, la cual ofrece un horizonte totalmente nuevo para la impartición de salud, por medio de la conexión remota entre personal médico y paciente con la intermediación de datos, dispositivos y aplicaciones, que extiende enormemente el radio de acción del personal médico, con las consecuentes economías en inversión y gastos en infraestructura. Ello le confiere poder y una participación activa al paciente en el cuidado de su salud, el tratamiento de enfermedades crónicas y el monitoreo de signos y funciones vitales [WEF, 2015: 87].²⁰

La biométrica lleva al automóvil el monitoreo de signos y funciones vitales, se complementa con el uso de biosensores de gestos faciales, movimientos oculares y actividad cerebral, con capacidad para reconocer estados mentales y signos sobre el estado de salud y de alerta del conductor. Así, tiene lugar una confluencia y nuevas articulaciones entre las industrias automotriz y de salud. Por ejemplo, empresas de salud como Medtronic y Free Logic han, respectivamente, adaptado sus sensores de latidos cardiacos a los cinturones de seguridad y creado bio-neuromonitores en forma de descansa-cabezas, con capacidad para

para permitir el crecimiento y el atractivo de este sector mediante la asignación de espectros específicos a los DSRC [Martínez, 2021].

¹⁹ En Estados Unidos, la Administración Federal de Carreteras y un consorcio de empresas privadas y universidades trabajaron para Demo '97, en un evento de prueba que se llevó a cabo en agosto de 1997. Para ello, convirtieron una de las carreteras interestatales de la ciudad de San Diego, la número 15 Norte, en una pista de prueba para “sistemas automatizados de carreteras” [Martínez, 2021].

²⁰ Además, proporciona la posibilidad de conformar una historia clínica personal enriquecida constantemente con datos en tiempo real, que en todo momento puede estar a disposición de cualquier personal médico u hospital para una atención a la salud individualizada [WEF, 2015: 87].

detectar estados de cansancio, estrés, relajación, etcétera, lo que se traduce en el envío de señales de alerta al conductor o la entrada en acción de controles electrónicos de estabilidad del vehículo [Martínez, 2021].²¹

El quinto momento consistió en *el paso del vehículo de motor de combustión interna al vehículo basado en energías limpias*, entre las cuales la más difundida en la actualidad es *la energía eléctrica generada a base de baterías*,²² que comenzó a comercializarse hacia 2010. Asumiendo como trasfondo la necesidad de reaccionar frente al cambio climático generado por el hombre, está teniendo lugar esa transición que implica un cambio de paradigma tecnológico-productivo en la industria automotriz, el cual se traduce en la irrupción de nuevos fabricantes junto a los ya existentes; el cambio del patrón de competencia de la industria a uno nuevo que tiene como referente a las industrias electrónica e informática; la completa modificación de las cadenas de valor y redes de proveeduría, con el consiguiente reposicionamiento internacional de macrorregiones y países, así como la irrupción de nuevos países.

Los vehículos eléctricos (VE) cuentan con un sistema de generación de energía simple con tres componentes básicos: el motor eléctrico, un controlador y la batería, donde el controlador toma la energía de la batería y la conduce al motor que transforma la electricidad en energía mecánica; a diferencia de los vehículos de combustión interna (VCI), cuyo sistema es complejo e incluye el motor, carburador, bombas de aceite y de agua, sistema de enfriamiento, marcha, sistema de escape de gases, etcétera (INL, s. f.; JAMA, s. f.).

El controlador es un dispositivo electrónico consistente en microprocesadores que regulan el paso de energía de la batería al motor. Interviene en la velocidad y la aceleración (como lo hace el carburador en un VCI), pero además invierte la rotación del motor para poder ir en reversa y convierte el motor en un generador de electricidad cuando se aplica el freno, al transformar la energía cinética del motor en movimiento en electricidad que recarga la batería.²³

²¹ Los fabricantes de automóviles como Nissan, Ford y Volkswagen son posiblemente los vendedores clave en el mercado global de biosensores automotrices [Martínez, 2021].

²² Existen tres tipos básicos de vehículos de energías limpias: los vehículos híbridos (CI y eléctricos), los vehículos eléctricos a base de baterías y los vehículos eléctricos a base de celdas de hidrógeno. En estos últimos, el hidrógeno entra a la celda del lado del ánodo y es ionizado (separado de sus electrones), lo que genera un flujo de electrones que es enrutado y produce energía eléctrica. El hidrógeno ionizado pasa del lado del cátodo, donde se mezcla con oxígeno, lo que produce agua residual [Worthman, 2016].

²³ El vehículo como generador de energía ha traído consigo el desarrollo de tecnologías de conexión del vehículo a la red eléctrica, no sólo para recibir sino para proporcionar electricidad, con variantes de conexión como vehículo-hogar o vehículo-edificio, que posibilitan la generación y distribución integrales de electricidad bajo demanda en tiempo real [Martínez, 2021].

El motor no difiere mucho de otros motores eléctricos que funcionan por la interacción de un campo magnético con la electricidad, resultante del movimiento de un rotor. Existen motores de corriente alterna (CA) que son los más usados a medida que se reduce el costo de los microprocesadores de los controladores, dado que éstos convierten la corriente directa (CD) de la batería en CA, además de los motores de CD [INL, s. f.].

El componente clave más costoso en torno al cual se reconfiguran las redes de suministro de la industria (en los VCI éstas se configuran en torno al motor y la transmisión) y del cual depende el futuro mismo del VE es la batería. Entre los diversos tipos de batería, la de ion de litio constituía 70 % del mercado de baterías recargables en 2016, con tres estadios de producción: las celdas, los módulos y el empaque, como se detalla a continuación.

- a) Celdas. Es el dispositivo que genera electricidad a partir de los componentes básicos del ánodo, cátodo y electrolito, y sus materiales constituyentes como el grafito (ánodo), el litio, cobalto o manganeso del cátodo, cuyas fuentes de aprovisionamiento mundial son muy limitadas, con la consecuente presión sobre los precios a medida que la demanda se incrementa: Sudamérica (principalmente Argentina, Brasil y Chile) es el principal proveedor de litio, mientras República Democrática del Congo produce más de la mitad del cobalto, seguida por China y Canadá con menos de 6 % cada uno. China produce poco menos de tres cuartos del grafito; 20 % del valor agregado y 75 % del costo total de las baterías empacadas (incluyendo materias primas) lo constituyen las celdas, para cuya producción los fabricantes de VE (los tradicionales y los emergentes) tienden a asociarse con empresas OEM electrónicas, las cuales son proveedoras de varios fabricantes. Algunos ejemplos para el mercado estadounidense son: Tesla-Panasonic, Chevrolet-LG Chem, Nissan-Automotive Energy Supply Corp., Fiat-SB Limotiv, vw-Samsung SDI, Ford-LG Chem, BMW-Samsung SDI y Kia-SK Innovation [Coffin y Horowitz, 2018].²⁴
- b) Módulos. Múltiples celdas con terminales unidas dentro de un contenedor forman un módulo, que puede contener cantidades diferentes de celdas (4 a 12, por ejemplo), lo que constituye 11 % del costo total de las baterías empacadas. Los módulos pueden usarse en diferentes empaques de baterías para diversos vehículos y generalmente se ensamblan en el mismo establecimiento donde se em-

²⁴ La principal capacidad de producción instalada de celdas y sus componentes se encuentra en China, mientras Estados Unidos cuenta con 0 % de la producción de componentes del cátodo, 10 % de los del ánodo, 6 % de los separadores y 2 % de los del electrolito [Coalition for a Prosperous America, 2022].

pacan las baterías, por lo que existe poco comercio interindustrial de este estadio de producción [Coffin y Horowitz, 2018].

- c) Empaques de baterías. Consisten en la reunión de varios módulos, conexiones eléctricas y equipo de enfriamiento²⁵ en un solo dispositivo que puede ensamblarse manualmente o mediante equipo automatizado. Constituyen 14 % del costo total de las baterías empaçadas, son específicos para un modelo de vehículo y comúnmente se ensamblan cerca de la planta de ensamble del vehículo [Coffin y Horowitz, 2018].

Hasta el advenimiento del VE sólo se había desarrollado parcialmente la nueva división interindustrial e interempresarial del trabajo en la industria automotriz, como resultado del proceso de globalización de la industria en las décadas de 1980 y 1990. Se partía de una situación de integración vertical de los fabricantes, donde éstos realizaban el diseño de buena parte de las partes y componentes *in house* y contaban con numerosos proveedores. Los fabricantes en Estados Unidos diseñaban las partes fundamentales, mientras los europeos delegaban el diseño de secciones de esas partes a los proveedores. El objetivo de la división interindustrial del trabajo, con el efecto facilitador de la introducción de los sistemas CAD-CAE-CAM, era acercarse al modelo japonés de generación de capacidades y ascenso de los proveedores al diseño y desarrollo de partes y componentes, además de la reducción significativa de su número [Shimokawa, 2010].²⁶

Con el VE tiene lugar un cambio radical en el patrón de competencia de la industria con las siguientes características: a) el componente clave, esto es, la batería, deja de estar bajo el dominio tecnológico de los fabricantes (salvo en algunos casos de fabricantes emergentes) y pasa al dominio de empresas electrónicas (fuera de la industria); b) la principal red de proveeduría se establece en torno a la batería y se simplifica, verificándose una reducción drástica de los ingresos posventa durante la vida útil del vehículo en partes, componentes y mantenimiento, lo cual es compensado por los ingresos generados por la actualización del *software* del controlador y el conjunto creciente de los dispositivos electrónicos contenidos; y c) tienden a establecerse estrategias empresariales de cercamiento al estilo de las llamadas empresas tecnológicas, donde sólo el fabricante produce las partes automotrices, el propietario no tiene acceso al código fuente del *software* y a sus actualizaciones —los cuales pueden ser modificados al arbitrio y sin previo aviso por parte del fabricante—, las ventas tienden a ser

²⁵ Los sensores de temperatura dentro del paquete de baterías aseguran que si una celda se sobrecalienta, ésta se aísla inmediatamente para que las otras celdas a su alrededor se conserven, bombeando líquido a través de las áreas requeridas para mantener la temperatura fresca [Martínez, 2021].

²⁶ Por ejemplo, GM cuenta con 6 000 proveedores, Ford con 2 000, en relación con los aproximadamente 200 proveedores principales de una empresa japonesa [Shimokawa, 2010].

en línea en el sitio web del fabricante o en distribuidores físicos propios —sin la habitual red de distribuidores— en el caso de los fabricantes emergentes,²⁷ además de la existencia de redes de supercarga exclusiva para la marca, que operan como redes de validación de los vehículos que se mantienen en los parámetros electromecánicos y legales establecidos por el fabricante.²⁸

El sexto momento consiste en *el desarrollo de la utopía del vehículo autónomo*. La utopía del vehículo autónomo (VA) consiste en la síntesis de los momentos del revolucionamiento de la industria automotriz por el nuevo núcleo dinámico en pos del objetivo —aún no realizado— de un vehículo que se guía a sí mismo sin la intervención del hombre. Tiene lugar el desarrollo y la multiplicación de los tipos de sensores que implica un número considerable de cámaras individuales, unidades de radares, sensores láser de corto, medio y largo alcance, GPS, etcétera, los cuales, combinados con otro tipo de sensores sobre el estado de alerta del conductor o asistentes para estacionar, y en interacción con la infraestructura digital —en caso de que esté presente—, envían señales sincronizadas a los procesadores de control, donde el algoritmo previamente entrenado es expuesto a los datos provenientes del mundo real y toma decisiones por inferencia, esto es, resultado de la interacción entre los nuevos *inputs* de datos y el sustrato del entrenamiento recibido [Koon, 2022; Martínez, 2021].

Anteriormente a 2010, los VA fueron usados primeramente en la industria minera bajo la forma de sistemas autónomos de transporte minero [Martínez, 2021], para posteriormente experimentarse en barrios citadinos céntricos en trayectos cortos y a muy baja velocidad como flotillas de entrega de alimentos en las cercanías, y luego en las calles como servicio de taxi en zonas y horarios restringidos, junto a la incorporación de los siguientes grados o niveles de autonomía en los autos comerciales: 1) el vehículo frena o acelera según la velocidad del vehículo que lleve delante, maniobra para estacionar y detecta cuando se sale del carril; 2) el vehículo puede frenar, acelerar y virar por sí solo aun cuando el conductor debe supervisar y tomar el control si es necesario (el grado de autonomía de la mayor parte de los autos en la actualidad); 3) el vehículo percibe su ubicación en el contexto, es capaz de hacer predicciones y sustituir al conductor en determinadas situaciones como en una carretera en recta, pero el conductor debe supervisar y estar atento para tomar el control si es necesario (sólo en

²⁷ En un esfuerzo por competir con el modelo de distribución y ventas de Tesla, recientemente Ford estableció nuevas reglas para la venta de sus VE por los minoristas, que incluyen límites a los precios de sus vehículos y la necesidad de realizar inversiones para instalar centros de carga en sus establecimientos [Eckert, 2022].

²⁸ Cuando un asegurador da de baja un Tesla, la empresa deja de respaldar el vehículo al negarle el acceso a la red Supercharge, incluso si se logró reparar el automóvil y pasó la inspección por parte del propio personal de reparación de la empresa. Se cancela este acceso a distancia, sin que el usuario tenga voz al respecto [Martínez, 2021].

algunos autos de gama alta) [Martínez, 2021]. Lo anterior ha ido aparejado con la incursión de grandes empresas en el desarrollo de sistemas de piloto automático como Google, Uber, Tesla y, más recientemente, Amazon con la adquisición de Zoox, con la consiguiente marginación de los fabricantes tradicionales.

EL NODO MUNDIAL DE MÉXICO

El revolucionamiento tecnológico-productivo de la industria automotriz, en particular la transición al *VE* y la utopía del vehículo autónomo, está trayendo consigo una reconfiguración espacial y jerárquica de la industria que implica la ya indicada formación de nuevos subsectores productivos y nuevas *RPG* de proveeduría interindustrial, lo cual se traduce en tendencias como la de la macrorregión asiática a posicionarse a la vanguardia con China y sus fabricantes emergentes, además de los tradicionales que llevan a cabo una rápida transición y se posicionan; de países antiguamente líderes en la industria como Estados Unidos, donde, no obstante su rezago, irrumpen nuevos fabricantes y se colocan a la vanguardia; de Japón y Alemania, líderes en la producción de *VCI* que inician tardíamente la transición; y la irrupción de nuevos países competidores como Taiwán o Vietnam [Ordóñez, 2023].

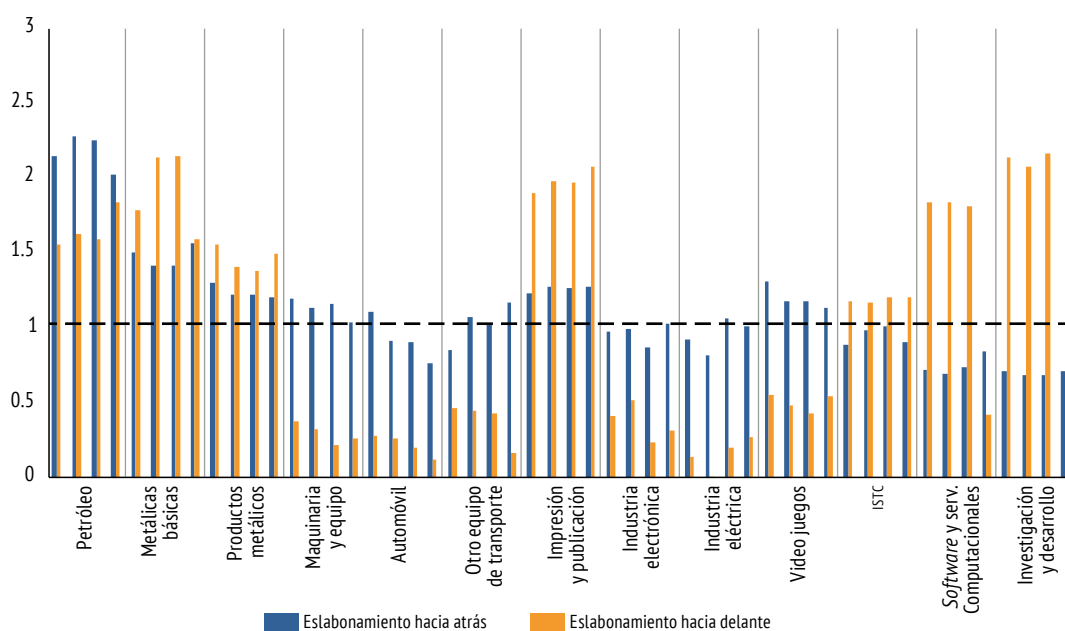
En el despliegue de esas nuevas *RPG* pueden reconocerse seis nodos mundiales (incluido el de México) liderados por China, donde ha tenido lugar una rápida transición tecnológico-productiva de la industria automotriz y el posicionamiento del país con la industria más desarrollada bajo sus nuevos fundamentos, además del mayor volumen de comercio mundial. Por su parte, Japón emprende tardíamente la transición tecnológico-productiva, pero cuenta con un segmento de proveedores de partes y sistemas electrónicos consolidado y con posicionamiento mundial, mientras Corea desarrolla tecnología propia para la producción de *VE* que se comercializan en los principales mercados mundiales y, después de China, es el segundo país en importancia con una base doméstica de producción de baterías para *VE*, cuyos productores se asocian con los fabricantes mundiales de automóviles para internacionalizar su localización y comercio.

Estados Unidos se encuentra con un considerable retraso en relación con China, Japón y Corea, pero cuenta con la marca emergente y líder mundial Tesla, lo cual es resultado de una transición que tiene lugar como respuesta competitiva de los grandes fabricantes y no como parte de una estrategia estatal de enfrentamiento más amplio de la crisis ecológica, hasta la reciente Inflation Reduction Act. Por su parte, el nodo de Alemania es más pequeño que el de México, en cuanto a volumen de comercio mundial, debido a la tardía transición [Ordóñez, 2023].

En el modo de acumulación de capital en México, el núcleo dinámico del ciclo industrial propio de la industria por sustitución de importaciones (*ISI*) sigue teniendo una

significativa, aun cuando declinante, capacidad articuladora y dinamizadora del crecimiento (véase mitad izquierda de la gráfica 1), mientras el nuevo ciclo industrial en torno al SE-IT (mitad derecha) no se ha consolidado aún y mantiene una capacidad de nuclear el crecimiento comparativamente menor, acorde con su modalidad específica de desarrollo, intrínsecamente ligada a la vía neoliberal. Además, en las actividades que forman el núcleo precedente, la capacidad articuladora y dinamizadora hacia atrás, o de arrastre sobre otras actividades (barras claras), es predominante sobre la misma capacidad hacia delante (barras oscuras), mientras en las actividades del nuevo núcleo ocurre lo contrario; esto es, predomina su capacidad de impulso sobre el resto de las actividades (gráfica 1).

Gráfica 1.
México. Núcleos industriales: capacidad articuladora y dinamizadora
1995, 2000, 2005, 2011



Nota: cada par de barras corresponde a cada año en forma ascendente: 1995, 2000, 2005 y 2011.

Fuente: IOT OCDE.

Por lo que se refiere al ciclo industrial de la ISI, sus actividades componentes de productos metálicos, maquinaria y equipo, y la industria automotriz, muestran capacidades articuladoras y dinamizadoras débiles (sólo las articulaciones de productos metálicos hacia delante son cercanas a 1.5, mientras las de las otras actividades son cercanas o bastante

menores a la unidad)²⁹ y decrecientes de 1995 a 2011, tanto hacia atrás como hacia delante; mientras que las del petróleo son crecientes hacia delante y las de metálicas básicas lo son hacia atrás, ambas con capacidades articuladoras y dinamizadoras importantes (mayores a dos en algunos años),³⁰ en tanto que otro equipo de transporte muestra capacidades débiles crecientes hacia delante.

En el nuevo ciclo industrial, la industria electrónica y la industria eléctrica muestran capacidades articuladoras y dinamizadoras débiles, pero levemente crecientes hacia atrás, a lo que corresponde, en el caso de la primera, una capacidad de articulación débil pero creciente de la segunda hacia delante (al constituir ésta una industria proveedora principal de aquélla). Parte de la industria de contenido (impresión y publicación) cuenta con capacidades hacia delante y hacia atrás crecientes (las primeras son importantes), al igual que en la industria del *software* y los servicios computacionales, aunque aquí esa capacidad hacia adelante decrece drásticamente en el último año; mientras la industria de servicios de telecomunicaciones muestra una capacidad hacia adelante creciente aun cuando es débil, y en los videojuegos la misma se mantiene. Finalmente, las actividades de investigación y desarrollo (muy asociadas al nuevo ciclo industrial, aunque no de modo exclusivo) muestran una capacidad creciente hacia adelante, lo que indica una tendencia a la articulación del sector científico-educativo (SC-E) con la producción (véase gráfica 1) [Ordóñez, 2021].

En ese marco, el nodo de México implica que la integración de la industria automotriz del país a la de Estados Unidos se traduce en que el revolucionamiento tecnológico-productivo de la primera sigue al de la segunda, lo cual se acelerará en los próximos años bajo el efecto del T-MEC, debido a la necesidad del incremento de los contenidos regionales mediante los siguientes procesos: a) la proveeduría de partes y componentes a los fabricantes de VE en Estados Unidos, en particular Tesla; b) las iniciativas de varios fabricantes de instalar plantas ensambladoras de VE en el país; c) otras iniciativas para instalar fábricas de desarrollo de los módulos y el ensamble final (empaquete) de baterías, así como de sus partes y componentes; d) iniciativas de contratistas manufactureros electrónicos para instalar fábricas que provean a la industria automotriz en Estados Unidos y México; y e) la incorporación de las reservas de litio del país a la proveeduría de la fabricación de baterías.

En 2018, el país tuvo un volumen de comercio mundial de cerca de 2.4 mil millones de dólares a la exportación y más de 6 mil millones a la importación, con más de 5 mil

²⁹ La línea punteada horizontal de la gráfica 1 indica la repercusión que tiene sobre el resto de la economía, ya sea hacia atrás o hacia delante, el incremento de la producción de una determinada actividad en una unidad.

³⁰ En el primer caso hacia atrás y en el segundo hacia adelante.

millones de libre importación para casi 2.2 mil millones de reexportación [OCDE, 2021], lo cual indica que el mayor volumen de comercio está implicado en la proveeduría de partes y componentes para los fabricantes de VE en Estados Unidos, donde el fabricante Tesla cuenta con un carril aduanero exclusivo de Nuevo León a Texas para el aprovisionamiento más expedito de su megaplanta en ese estado [El Financiero, 2022]; además de la iniciativa recientemente anunciada por el mismo fabricante de construir una planta de ensamble en el mismo estado mexicano, que se agrega a la producción del fabricante Ford de VE en su planta de Cuatitlán (Mustang Mach-E) y la iniciativa de otros fabricantes de construir o renovar plantas de ensamble para la producción de VE [El Financiero, 2022].³¹

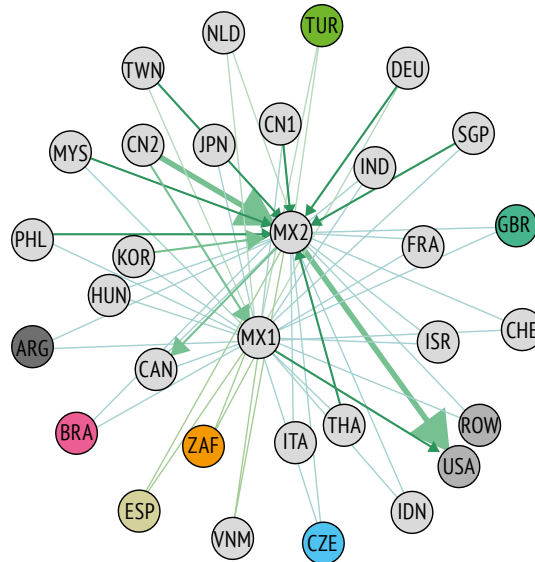
Asimismo, el fabricante chino de baterías CATL ha revelado su iniciativa para construir plantas de fabricación de baterías para proveer a Tesla y Ford, a lo que se suman iniciativas del proveedor automotriz alemán Tesa para proveer partes plásticas para baterías desde México, así como la del contratista manufacturero taiwanés Compal de fabricación de componentes electrónicos para la industria automotriz en el país en 2023 [Digitimes Asia, 2023; Incomex, 2023]. A lo anterior se incorporan las reservas de litio existentes en el país que podrían llegar a constituir 2 % de las reservas mundiales,³² las cuales han sido recientemente nacionalizadas, por lo que su explotación se llevará a cabo por una empresa estatal en asociación mayoritaria con empresas privadas que proporcionarán la tecnología para su extracción y procesamiento, las cuales se asentarán en Sonora (donde se ubican los yacimientos) y serán insumo exclusivo de la industria automotriz [Xataka México, 2022].

Las RPG de productos electrónicos en torno al nodo de México, tanto en el sentido de importaciones de la industria automotriz localizada en el país como de exportaciones hacia las industrias automotrices en otros países, confirman que el principal proceso es la libre importación desde países como China (I_Re: CN2), Estados Unidos, Corea, Malasia, Taiwán, China (no I_Re: CN1), Tailandia, Japón, Filipinas, Alemania y Singapur para la reexportación (I_Re: MX2) principalmente a Estados Unidos y en menor medida a Canadá, China (no I_Re: CN1), Alemania, Francia, Japón y Corea, como lo muestra la figura 1.

³¹ Stellantis NV planea renovar su planta de Saltillo para la producción de vehículos híbridos y eléctricos [El Financiero, 2022].

³² México tiene aproximadamente 1.7 millones de toneladas del mineral, mientras Bolivia 21 millones de toneladas, Argentina 19.3 millones y Chile 9.6 millones [Xataka México, 2022].

Figura 1.
RPG en torno a México (exportaciones e importaciones), 2018



Fuente: elaboración propia a partir de información proporcionada por la ICIO.

De modo complementario, tiene lugar el despliegue de RPG de importación a México bajo un régimen de no I_Re (MX1) desde los mismos países, aunque con un mayor dinamismo de China en su conjunto (I_Re y no I_Re: CN2 y CN1), y de RPG de exportación, igualmente de forma principal a Estados Unidos, y secundariamente a Canadá, China no I_Re (CN1), Alemania, Japón, Francia y Corea.

Por tanto, la capacidad articuladora y dinamizadora del crecimiento (significativa pero declinante) del núcleo dinámico precedente, así como la falta de consolidación y la capacidad comparativamente menor de nuclear el crecimiento del nuevo núcleo dinámico, se complementan con el predominio de las RPG de libre importación de productos electrónicos dirigidos a la industria automotriz desde diversos países para la reexportación principalmente a Estados Unidos, de acuerdo con la vía neoliberal seguida en México.

El revolucionamiento tecnológico-productivo actual de la industria automotriz por el nuevo núcleo dinámico es un proceso llamado a cobrar un gran dinamismo en el futuro próximo. Si no se aprovechan las tendencias mundiales en curso y el buen posicionamiento geográfico del país para endogenizar ese dinamismo y convertirlo en fuerza de desarrollo, México puede ser un mero espectador, como ya ha ocurrido con procesos similares en el pasado.

CONCLUSIÓN

La revolución tecnológico-industrial en curso incluye en sus desarrollos recientes la digitalización y la inteligencia artificial como resultado de sucesivas re combinaciones de sus fundamentos tecnológicos en el circuito integrado, el *software* y la digitalización. Esas re combinaciones han traído consigo una nueva extensión y profundización de la trayectoria básica de la tercera revolución industrial de gran alcance —por lo que no se trata de una supuesta cuarta revolución—, al estar sustentada en una socialización de la capacidad productiva, la operación y el desarrollo, así como del uso de tecnologías convergentes y su proyección a un nuevo nivel de interactividad e imbricación con el mundo físico y biológico.

De esa revolución industrial resulta una nueva base tecnológico-productiva cuya articulación con el toyotismo constituye el punto de partida de una nueva construcción social en términos de fase de desarrollo o capitalismo del conocimiento, el cual implica la formación de un nuevo ciclo industrial con un núcleo dinámico constituido por el SE-IT.

La consolidación del nuevo ciclo industrial implica el desarrollo de una capacidad de revolucionamiento tecnológico-productivo del nuevo núcleo dinámico sobre el núcleo dinámico precedente propio de la fase fordista-keynesiana, en particular sobre la industria automotriz, donde se pueden reconocer seis grandes momentos con diversos desarrollos distintivos cada uno, incluyendo la incidencia específica de la digitalización y la inteligencia artificial.

En ese proceso, la transición al VE y la utopía del vehículo autónomo originan una re-configuración espacial y jerárquica de la industria que implica la formación de nuevos subsectores productivos y nuevas RPG de proveeduría interindustrial del SE-IT a la industria automotriz, lo cual se traduce en nuevas tendencias como la de la macrorregión asiática a posicionarse a la vanguardia con China y sus fabricantes emergentes, además de los tradicionales que llevan a cabo una rápida transición y se posicionan; de países antiguamente líderes en la industria como Estados Unidos, donde, no obstante su rezago, irrumpen nuevos fabricantes y se colocan a la vanguardia; de Japón y Alemania, líderes en la producción de VCI, que inician tardíamente la transición; y la irrupción de nuevos países competidores como Taiwán o Vietnam. En el despliegue de esas nuevas RPG pueden reconocerse seis nodos mundiales (incluido el de México).

En el nodo de México, el núcleo dinámico del ciclo industrial propio de la ISI sigue teniendo una significativa, aunque declinante, capacidad articuladora y dinamizadora del crecimiento, mientras el nuevo ciclo industrial en torno al SE-IT no se ha consolidado aún y mantiene una capacidad de nuclear el crecimiento comparativamente menor, acorde con su modalidad específica de desarrollo, intrínsecamente ligada a la vía neoliberal seguida. Además, la integración de la industria automotriz del país a la de Estados Unidos

se traduce en que el revolucionamiento tecnológico-productivo de la primera sigue al de la segunda, lo cual resulta en el predominio de las RPG de libre importación de productos electrónicos dirigidos a la industria automotriz desde diversos países para la reexportación, principalmente a Estados Unidos.

Esa dinámica tenderá a acelerarse en los próximos años bajo el efecto del T-MEC, debido a la necesidad de incremento de los contenidos regionales, mediante los siguientes procesos: a) la proveeduría de partes y componentes a los fabricantes de VE en Estados Unidos, particularmente Tesla; b) las iniciativas de varios fabricantes de instalar plantas ensambladoras de VE en el país; c) otras iniciativas para instalar fábricas de desarrollo de los módulos y el ensamble final (empaquete) de baterías, así como de sus partes y componentes; d) iniciativas de contratistas manufactureros electrónicos para instalar fábricas que provean a la industria automotriz en Estados Unidos y México; y e) la incorporación de las reservas de litio en el país a la proveeduría de la fabricación de baterías.

El gran desafío para México es lograr endogenizar y convertir en fuerza dinámica de desarrollo el proceso de revolucionamiento tecnológico-productivo de la industria automotriz y las nuevas RPG que atravesarán su espacio nacional, mediante una política industrial de articulación productiva interna del nuevo núcleo dinámico, con el precedente³³ de integración interna de las nuevas cadenas de valor que resulten en el incremento del contenido nacional dentro del macrorregional estadounidense, y de incorporación en el proceso de la empresa nacional y particularmente las pymes.

Se abre nuevamente una gran oportunidad: ¿podrán generarse esta vez capacidades nacionales para aprovecharla?

BIBLIOGRAFÍA

Ardebili, H.; J. Zhang, y M. Pecht [2019], *Encapsulation Technologies for Electronic Applications*, William Andrew Publishing, 2a. ed.

ATyT [2014], The Future of the Connected Car. <<https://goo.su/wIWqR7PI>>.

³³ Una empresa ancla en el proceso podría ser el Grupo Carso-Conдумex, que está asentada directamente en la auto-electrónica al desarrollar componentes electrónicos para automóviles y *software* para la operación de las computadoras de los autos que controlan los tableros, radios, pantallas, etcétera, lo cual lo realiza mediante una *joint venture* con Delphi (Estados Unidos), que tiene el 40 %. Además, tiene implantación en la industria de autopartes (arneses eléctricos automotrices) y en la fabricación de infraestructura en redes para la industria de servicios de telecomunicaciones y la industria electrónica (fibra óptica para teléfonos, televisores, equipo de cómputo, redes de voz, datos y video) [Basave, 2016].

- Basave, J. [2016], *Multinacionales mexicanas: surgimiento y evolución*. México, Siglo XXI Editores, UNAM-IIEC.
- Bukht, R. y R. Heeks [2017], *Defining, Conceptualising and Measuring the Digital Economy*. Reino Unido: Development Informatics.
- Carlsson, B. [2004], "The Digital Economy: what is new and what is not?", *Structural Change and Economic Dynamics*, 15(3): 245-264.
- Coalition for a Prosperous America [2022], U.S. Challenges in EV Battery Production. <<https://cutt.ly/BezKsawP>>.
- Coffin, D. y J. Horowitz [2018], "La cadena de suministro de baterías para vehículos eléctricos", Estados Unidos. *Journal of International Commerce and Economics*.
- Coriat, B. [1991], *Pensar al revés*. Siglo XXI Editores.
- Dabat, A. y S. Ordóñez [2009], *Revolución informática, nuevo ciclo industrial e industria electrónica en México*. Distrito Federal, México. IIEC-UNAM-Casa Juan Pablos.
- De Felice [1977], "Rivoluzione passive, fascismo e americanismo in Gramsci", in *Politica e storia in Gramsci*.
- Deloitte University Press [2015], *Who owns the road? The IoT-connected car of today—and tomorrow*. Deloitte Touche Tohmatsu Limited.
- Digitimes Asia [2023], "Compal to build assembly plant for automotive electronics in Mexico", 13 de enero, <<https://n9.cl/farg1d>>.
- Eckert, N. [2022], "Ford reveals new EV-selling rules to dealers". *The Wall Street Journal*, 14 de septiembre, <<https://n9.cl/y7qpg0>>.
- El Financiero [2022], "Llegada de Tesla a México 'meterá segunda' a electromovilidad", 20 de diciembre, <<https://n9.cl/6xwh8>>.
- El Financiero [2021], "'Regalo de Navidad' de Musk: Tesla anunciará fábrica en Nuevo León la próxima semana", 16 de diciembre, <<https://acortar.link/kn2mXS>>.
- Gramsci, A. [1934], *Cuadernos de la cárcel*.
- Hobsbawm, E. [1999], *Industry and Empire. The Birth of the Industrial Revolution*. Canada: The New Press.
- Hobsbawm, E. [1986], *Lavoro, cultura e mentalita nella societa industriale*. Editorial Laterza.
- Incomex [2023], "Proveedor automotriz analiza planta en México", 21 febrero, <<https://acortar.link/OlyLW3>>.
- Juanes, J. [1982], *Capitalismo, Estado y comunismo en Marx. Marx o la crítica de la economía política como fundamento*. México: ICUAP.
- Koon J. New [2022], *Challenges for Connected Vehicles*, <<https://cutt.ly/RezKGNPs>>.
- Mamatzhonovich, O.; O. Khamidovich y M. Esonali O'g'li [2022], "Digital Economy: Essence, features and stages of development". *Academicia Globe: Inderscience Research*, 3(04): 355-359.
- Mandel, E. [1997], *El capitalismo tardío*, Flacso Argentina, Ediciones Era.

- Martínez, I. [2021], *El futuro de la industria automotriz*, Ginebra. Organización Internacional del Trabajo.
- Marx, K. [1979], *El Capital. Tomo I, El proceso de acumulación capitalista*. Siglo XXI Editores.
- Moll, I. [2021], The Myth of the Fourth Industrial Revolution, *Theoria*, núm. 167, volumen 68.
- OCDE [2021], OECD Inter-Country Input-Output (ICIO) Tables. <<https://cutt.ly/HezkKHLS>>.
- [2015], *Perspectivas de la OCDE sobre la economía digital*, 2015. <<https://cutt.ly/RezkLtul>>.
- Ordóñez, S. [2023], "Global production networks and dynamic cores in the world's main nodes: the technological-productive transition of the automotive industry". *World Review of Political Economy*. Ed. Pluto Journals.
- Ordóñez, S. [2021], *Nuevo ciclo industrial, núcleo dinámico y vías de desarrollo en el mundo actual: la originalidad de México*. IIEC-UNAM, México.
- Ordóñez, S. [2020], *Sector electrónico-informático y de las telecomunicaciones, y el desarrollo en México*. México, IIEC-UNAM.
- Ordóñez, S. [2009], "La crisis global actual y el sector electrónico-informático". *Problemas del desarrollo*, 40(158).
- Ordóñez, S. [2004], "La nueva fase de desarrollo y capitalismo del conocimiento: elementos teóricos". *Comercio Exterior*, 54(1).
- Ordóñez, S. y R. Bouchain [2018], *México en el mundo de las telecomunicaciones: más allá de Slim y la OCDE y la reforma actual*. México. IIEC-UNAM.
- Pérez, C. [2004], *Las revoluciones tecnológicas como grandes oleadas de desarrollo sucesivas. Revoluciones tecnológicas y capital financiero*: 23-102. México. Siglo XXI Editores.
- Sperling, E. [2023], Where and why AI makes sense in cars. *Semiconductor Engineering*, 2 de febrero, <<https://acortar.link/odgwWh>>.
- Shimokawa, K. [2010], *Japan and the global automotive industry*. Nueva York. Cambridge University Press.
- Schwab, K. [2015], *The Fourth Industrial Revolution*. Switzerland. World Economic Forum.
- Tapscott, D. [1996], *Digital Economy: Promise and Peril in the Age of Networked Intelligence*. McGraw-Hill.
- WEF [2015], "The Global Information Technology Report", Ginebra, World Economic Forum.
- Worthman, E. [2016], "Fuel Cells and the IoT". *Semiconductor Engineering*, <<https://cutt.ly/tezkXjaK>>.
- Xataka México [15 de noviembre de 2022], "Litio de México será sólo para las automotrices que inviertan en Sonora, pero no saldrá del país como materia prima", <<https://acortar.link/t2qcnB>>.

5. Agricultura 4.0 y su posible impacto sobre la pobreza rural de México

*Uberto Salgado
Luis Fernando González
Ulises Sánchez*

INTRODUCCIÓN

La cuarta revolución agrícola, o mejor conocida como agricultura 4.0, representa un cambio sustancial respecto de los métodos y las estrategias de producción tradicional, hacia una cadena de valor agroalimentaria que se sustenta en el uso de tecnologías emergentes que permiten hallar soluciones a cualquier disrupción que se presente en el sistema agroalimentario. La intención es aumentar la tasa de adopción de tecnologías en la agricultura para promover el uso eficiente de recursos que incrementan la productividad de forma sustentable y amigable con el medio ambiente, ello por medio de la robótica, la inteligencia artificial, las tecnologías digitales, las granjas verticales y los drones que utilizan energía solar para la producción de alimentos. Todas estas aplicaciones contribuyen a que los productores agrícolas incrementen los rendimientos de sus cultivos, abatan costos y la cantidad de mano de obra necesaria y, al mismo tiempo, reduzcan el desperdicio de agua y disminuyan el uso de pesticidas y fertilizantes [De Clercq *et al.*, 2018].

Sin embargo, las bondades de la nueva revolución tecnológica no se distribuirán de manera equitativa entre las diversas economías debido a los rezagos tecnológicos en las economías menos desarrolladas, y al interior de éstas; los mayores beneficiados serán los grandes productores que cuentan con una mayor capacidad de financiamiento para adquirir dichas tecnologías. En consecuencia, estas tecnologías pueden llegar a profundizar aún más la desigualdad entre países y productores agrícolas. Por tal motivo, es necesario comprender las problemáticas y desafíos que representa la adopción de estas tecnologías, así como el alcance y las limitaciones que su adopción conlleva, considerando el contexto del sector agrícola en México.

El campo mexicano cuenta aproximadamente con 24.6 millones de hectáreas que se destinan a la producción agrícola, 109 000 hectáreas a la ganadería [IICA, 2021], actividades que se desarrollan principalmente en el entorno rural donde habita cerca de 21 % de la población mexicana [Inegi, 2022]. En el campo mexicano, las unidades agrícolas familiares son fundamentales para el sistema productivo agropecuario, pues generan 54 % de los alimentos que se consumen en el país [Sader, 2020]; sin embargo, de los 5 millones de unidades productivas de tipo familiar, solamente 1.3 millones tienen una fuerte vinculación con el mercado [FAO-Sagarpa, 2012], situación que limita considerablemente los ingresos que perciben las familias rurales. Aunado a esto, es necesario considerar que la política agrícola de las últimas décadas (particularmente bajo el modelo neoliberal) benefició en mayor medida a los grandes productores con vocación exportadora, mientras que “a los pequeños se les dio sólo asistencialismo social, por considerarlos familias y pobres, y no cultivadores de la tierra con gran potencial para el país” [Lazos, 2020].

Esta situación explica en buena medida los altos niveles de pobreza que persisten entre la población rural. De acuerdo con cifras del Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (Coneval), en 2008 el porcentaje de población rural que padecía pobreza era de 62.5, mientras que en 2016 se redujo a 58.5 y para 2020 la cifra se ubicó en 56.8. En 12 años se han conseguido pequeños avances en el combate a la pobreza rural; sin embargo, no han sido suficientes, pues el informe anual “El desarrollo rural 2016” del Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola (FIDA) señala que el campo mexicano es uno de los más rezagados en el combate a la pobreza respecto de otras economías latinoamericanas [Baptista, 2016].

Aunado a esto, debemos tener en cuenta que los estragos del cambio climático en México empeorarán la condición de pobreza que padecen millones de familias rurales, pues un evento climatológico extremo puede provocar episodios de hambruna en las regiones que practican métodos agrícolas tradicionales por temporal, debido a que las pequeñas unidades de producción agrícola no van a poder hacerle frente a las pérdidas agrícolas [FIDA, 2010]. Esta situación es preocupante ya que, de acuerdo con la Encuesta Nacional Agropecuaria de 2017, cerca de 86 % de las unidades de producción agrícola utilizan la modalidad de producción por temporal, lo cual deja expuesta a buena parte de la población agrícola ante los embates climáticos, sobre todo si consideramos que las posibilidades de invertir en el campo son muy limitadas, debido a que sólo 9.9 % de las unidades de producción tienen acceso al crédito [Inegi, 2018].

Adicionalmente, es importante considerar que el cambio climático facilita la propagación de plagas y enfermedades en los cultivos que tienen severas repercusiones económicas para los productores agrícolas, debido a que provocan menores rendimientos y calidad de la producción agrícola; por tanto, se vulnera la seguridad alimentaria de una región o país. De acuerdo con el trabajo desarrollado por Savary *et al.* [2019], a nivel

mundial cinco cultivos principales (trigo, arroz, maíz, papa y soya) son afectados por 137 patógenos y plagas; de acuerdo con sus estimaciones, estos factores provocan pérdidas en promedio de 22 % de los cultivos de trigo, 30 % de los cultivos de arroz, 23 % de los cultivos de maíz, 17 % de los de papa y 21 % de los de soya. Además, estos autores señalan que las mayores pérdidas se presentan en países menos desarrollados donde las capacidades de inversión e infraestructura en el campo son limitadas.

En este sentido, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) señala que anualmente cerca de 40 % de los cultivos alimentarios se pierde a causa de los patógenos y las plagas vegetales, lo que provoca hambre e importantes pérdidas económicas para las familias rurales al afectar su principal medio de vida. Además, este organismo apunta que en los últimos años la propagación de las pestes ha aumentado drásticamente, pues la globalización, el comercio y el cambio climático principalmente han contribuido a que éstas se propaguen con mayor facilidad, ya que el incremento de las temperaturas crea condiciones para que las plagas prosperen en regiones donde antes no tenían acceso. Un ejemplo de esto es la roya del café; antes sólo se presentaba en cultivos que se ubicaban a 300 metros o menos sobre el nivel del mar; ahora este fenómeno ocurre en regiones con una altura superior a los 600 metros. Esto ha ocasionado un importante declive en la producción cafetalera desde 2012; así, México pasó de ser el cuarto productor de café a nivel mundial a posicionarse como el undécimo en 2017 [CEDRSSA, 2019].

Como resultado de las difíciles condiciones a las que se enfrenta el campo mexicano, se está presentando una importante pérdida de población rural. De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Geografía, la población rural de México ha mostrado un evidente descenso desde la década de 1950, al pasar de 57 % de la población que habitaba en una comunidad rural a sólo 21 % para 2020 [Inegi, 2022]. Esto se explica en buena medida por el proceso de industrialización y terciarización por el cual ha atravesado la economía mexicana, procesos económicos que dejaron al sector agropecuario en una situación de intercambio desigual de precios respecto de las manufacturas y los servicios. Aunado a esto, en la década de 1980, con el impulso del modelo neoliberal y la mayor apertura comercial con la firma del Tratado de Libre Comercio con América del Norte en 1994, el Estado limitó su participación en el sector agropecuario reduciendo la inversión pública en el sector, situación que generó una descapitalización y crisis en el sector rural, no sólo en términos monetarios, pues durante la década 1990 se intensificó el fenómeno de la migración indocumentada de campesinos mexicanos que se dirigieron principalmente hacia los Estados Unidos [Aragonés y Rubio, 2009], lo que provocó una importante pérdida de capital rural.

La pérdida de población rural en edad laboral ha tenido como consecuencia un envejecimiento poblacional en el campo mexicano. De acuerdo con la información de la Encuesta Nacional Agropecuaria de 2017, publicada por el Inegi, las personas que están al frente de las unidades productivas del sector rural tienen en promedio cerca de 55

años, mientras que casi 60 % de los responsables de dichas unidades tienen más de 50 años [Badillo, 2019]. Esta situación pone en riesgo el relevo generacional en el campo mexicano, pues los jóvenes ya no buscan desarrollar actividades agropecuarias, prefieren emigrar o desarrollar alguna actividad productiva fuera de la esfera agropecuaria. Esta situación es alarmante y tiene serias repercusiones sobre la seguridad alimentaria del país, pues se están perdiendo conocimientos agroecológicos milenarios que poseen los campesinos mexicanos, particularmente de aquéllos que provienen de comunidades indígenas [Lazos-Chavero y Jiménez-Moreno, 2022; Sagarpa, 2014; Lazos, 2020].

Éstas son algunas de las problemáticas a las que se enfrenta el sector agrícola mexicano. Considerando esto, este trabajo buscará analizar cuáles son los posibles alcances y limitaciones que involucraría la implementación de la agricultura 4.0 en el campo mexicano y su potencial impacto sobre la pobreza de las familias rurales.

El presente trabajo se encuentra dividido en tres secciones. En la primera, se expone el debate sobre los efectos positivos y negativos de la aplicación de las tecnologías asociadas a la industria 4.0 en la agricultura. En la segunda sección se desarrolla un análisis de diversos indicadores del campo mexicano, teniendo en cuenta los alcances y limitaciones relacionados con la adopción de estas nuevas tecnologías y, finalmente, se presentan las conclusiones.

EL DEBATE EN TORNO A LA AGRICULTURA 4.0

Las economías desarrolladas promueven activamente la aplicación de tecnologías modernas en la agricultura. Lo hacen precisamente porque éstas se encuentran inmersas en lo que se ha denominado como la “cuarta revolución industrial” o “industria 4.0”, concepto que define un cambio en los procesos productivos a partir del uso de tecnologías digitales y de conectividad, relacionadas con la automatización, producción a distancia, uso de inteligencia artificial y el internet de las cosas, entre otras. Esto con la finalidad de elevar los niveles de productividad, reducir costos e incrementar los rendimientos. Inicialmente, al proceso de adaptación de las innovaciones tecnológicas de la industria 4.0 hacia el campo se le denominó “agricultura de precisión”. Al respecto, la primera definición oficial de este término provino de la Cámara de Representantes de Estados Unidos en 1997, cuando la consideraron como un “sistema agrícola integrado basado en la información y la producción que está diseñado para aumentar el rendimiento a largo plazo, y que de acuerdo con el contexto regional, busca mejorar la eficiencia, la productividad y los rendimientos de las granjas, y de manera simultánea se minimizan los impactos sobre el medio ambiente” [Diem y Thuy, 2020: 103].

Es posible señalar que en buena medida las narrativas de la agricultura 4.0 se han basado fundamentalmente en un discurso positivo, haciendo énfasis en los beneficios para la

productividad y el medio ambiente; sin embargo, no les han prestado demasiada atención a sus implicaciones sociales, pues potencialmente pueden existir impactos negativos. Por ejemplo, las asimetrías económicas existentes entre productores agrícolas que limitarán el acceso a estas tecnologías, ya que esto puede profundizar aún más esas brechas, o las consecuencias que tendrán sobre los sistemas agroalimentarios a nivel mundial.

Debido a esto, en la presente sección se propone llevar a cabo una breve revisión sobre estas posturas para conocer cuáles son los alcances y las limitaciones a las que se enfrentan los productores agrícolas, y el sistema agroalimentario en su conjunto, cuando se adoptan este tipo de tecnologías en el campo.

LOS POSICIONAMIENTOS A FAVOR DE LA AGRICULTURA 4.0

En el presente siglo, se han presentado importantes avances tecnológicos a gran escala. Actualmente, se está viviendo otra etapa de innovaciones tecnológicas a tal grado que se habla de una cuarta revolución industrial o industria 4.0, especializada en el uso de la tecnología de la cadena de bloques, el internet de las cosas, la inteligencia artificial y la realidad inmersiva, entre otras [Trendov, 2019]. Estas innovaciones se están trasladando hacia los sectores de servicios y agropecuario. En este último, se ha impulsado lo que se denomina como agricultura 4.0, concepto que representa el impulso de diversas tecnologías que buscan impulsar la digitalización de los procesos agrícolas para aplicar las ventajas de las tecnologías móviles, los servicios de teledetección y robótica, para mejorar la productividad en el campo, ya que dichas tecnologías les permitirán a los productores obtener mayor y mejor información sobre el estado de los cultivos, el acceso a insumos, vincularse con el mercado, emprender capacitaciones, acceder a servicios financieros digitales, etcétera [USAID, 2018].

Se espera que la adopción de estas tecnologías permita satisfacer la creciente demanda de alimentos de la población mundial mediante la modificación de cada una de las partes que conforman la cadena agroalimentaria y, en general, la optimización de la gestión de los recursos al monitorear en tiempo real cada componente de las cadenas de valor y coordinarlas con detalle, a fin de que el sistema agrícola pueda mejorar su productividad de forma prospectiva y adaptable al cambio climático, lo que a su vez dotaría a la población mundial de una mayor seguridad y soberanía alimentaria [Trendov, 2019].

Se considera que la agricultura 4.0 permitirá mitigar los efectos negativos de los actuales sistemas de agricultura intensiva, pues mediante el uso de inteligencia artificial para el diagnóstico de enfermedades en los cultivos, sensores en el terreno, equipo automatizado (generalmente alimentado por energía solar), así como el uso de teledetección (por medio de imágenes satelitales o uso de drones), es posible determinar el estado de los cultivos en tiempo real y saber la cantidad precisa de insumos requeridos para el desarrollo de los

cultivos. Por medio de estas herramientas, los productores agrícolas pueden realizar acciones en tres ejes: tomar muestras de la tierra para equilibrar los minerales del suelo, poblar los microorganismos del suelo y analizar imágenes para vigilar el estado en el que se encuentran las plantaciones, lo que evita el desperdicio de agua y la reducción del uso de herbicidas y pesticidas en los cultivos al mínimo [ISTOE, 2019].

Existen varios ejemplos sobre la adopción de este tipo de tecnologías alrededor del mundo. Por ejemplo, el proyecto HandsFree Hectare, desarrollado en el Reino Unido, consistió en automatizar cada fase de la producción agrícola, desde la siembra y los cuidados hasta la cosecha de los productos agrícolas sin la intervención del trabajo humano, logrando una producción de 6.5 toneladas en su segundo año de operación. Por otra parte, la empresa Indigo Ag lanzó una plataforma que utiliza una base de datos de información de microbios genómicos para predecir qué tipo de microbios son más beneficiosos para la salud de los cultivos y luego los aplica en forma de recubrimiento de semillas, lo que permite a los agricultores reducir el riesgo de pérdidas, aumentar su rentabilidad y promover una siembra amigable con el medio ambiente. A su vez, la plataforma conecta a los consumidores directamente con los productores agrícolas; de esta forma, se brinda acceso al mercado garantizando la calidad y el origen del producto a los consumidores. Finalmente, la empresa de origen estadounidense AppHarvest se encuentra desarrollando uno de los invernaderos más grandes del continente americano con el objetivo de transformar las técnicas de agricultura tradicional hacia un modelo en el que se elimine la aplicación de agroquímicos u organismos genéticamente modificados para la producción agrícola [Endeavor, 2020].

En otros sectores del sistema agroalimentario se ha impulsado un conjunto de herramientas tecnológicas para mejorar la logística de almacenaje, distribución y consumo de los alimentos. Tal es el caso de la empresa multinacional Centaur, que creó la plataforma Internet-of-Crops, cuyo propósito es disminuir el desperdicio de alimentos, pues cada año se desperdician entre 33 % y 50 % de los alimentos producidos a nivel global con un valor equivalente a mil millones de dólares. Internet-of-Crops hace uso del análisis de datos y *machine learning* para pronosticar y monitorear los elementos perecederos mediante sensores que optimizan el tratamiento adecuado de los productos agrícolas con el objetivo de reducir el desperdicio de alimentos en las etapas de transporte y almacenamiento. Por otro lado, las tecnologías desarrolladas para la fase de consumo se centran en establecer una relación más directa entre el productor y los consumidores. Algunas de estas plataformas incluso aplican tecnologías *blockchain*,¹ que le permiten al consumidor rastrear

¹ Son tecnologías que utilizan una forma de libros contables digitales que permiten llevar a cabo el registro de transacciones. Los registros en esos libros son infalsificables debido a que utilizan bloques de información que se construyen utilizando criptografía (un tipo de algoritmo basado en inteligencias artificiales) [IBM, s. f.].

y verificar el origen de los alimentos con la finalidad de desarrollar economías solidarias y tener certeza sobre la calidad del alimento que está adquiriendo [IBM, s. f.].

Existen otros casos como el de Brasil, país con el mayor número de emprendimientos en agricultura 4.0 con casi 51 % del total que se desarrolla en Latinoamérica, seguido de Argentina con 23 % del mercado. En este último país se ha desarrollado la plataforma Siembro, dedicada a la colocación de créditos que busca poner en contacto directo a vendedores de maquinaria e insumos agrícolas con los productores que requieren financiamiento. Esta empresa se encarga de buscar líneas de crédito que se adapten a las capacidades de pago de los productores, todo esto bajo la construcción de simulaciones de préstamo para brindar mayor certidumbre a las empresas que otorgan los créditos. Otro ejemplo de innovación ha sido la creación de la *startup* Kilimo, dedicada a solucionar problemas de riego en parcelas monitoreando las condiciones climáticas y capacitando a los productores [IBM, s. f.].

POSICIONAMIENTOS EN CONTRA DE LA AGRICULTURA 4.0

Se espera que la adopción de estas tecnologías propicie un aumento de la productividad y los rendimientos en la producción agrícola; no obstante, estas bondades no están al alcance de todos, pues las pequeñas unidades productivas no cuentan con los recursos necesarios para adquirir o capacitarse sobre el uso de estas innovaciones. En contraste, los grandes productores sí cuentan con una mayor capacidad de financiamiento y desarrollo de capacidades para implementar esas tecnologías, situación que incrementará la desigualdad en el campo [UNDESA, 2018].

Por otro lado, se ha advertido que la agricultura 4.0 provocará un posible desplazamiento de las redes campesinas que producen cerca de 70 % de los alimentos a nivel mundial [Secretaría de Cultura, 2020]. Al adoptar procesos automatizados que generan grandes cantidades de información sobre el rendimiento de los cultivos, variaciones en el clima, el comportamiento de la demanda, los costos de semillas, pesticidas, fertilizantes, logística de almacenamiento, transporte y consumo, se corre el riesgo de que estos grandes corporativos tecnológicos “orienten” la cadena del sistema agroalimentario de acuerdo con sus intereses, que no necesariamente están vinculados con las necesidades alimentarias y nutricionales de la población. Además, no existe garantía de que estos corporativos eviten darle un uso comercial a la información recabada y analizada sobre las condiciones de los cultivos, lo que tendría como consecuencia que empresas como Monsanto o Bayer usen la información para expandir su mercado de fertilizantes, herbicidas y pesticidas que afectan la salud de las personas y deterioran el medio ambiente [Mooney, 2018].

Para muchos, la agricultura 4.0 implica el acaparamiento de tecnologías por parte de grandes corporativos, en los cuales los oligopolios del sector alimentario se fusionan a

empresas de información y tecnológicas de comunicación, perpetuando las actuales prácticas de uso de agrotóxicos y semillas genéticamente alteradas, lo cual acentúa la crisis ambiental debido al deterioro que estos métodos de producción provocan sobre los recursos naturales. Sumado a ello, la expansión del uso intensivo de estas tecnologías dejará con menos opciones productivas a los campesinos debido a que la mayor adquisición de datos sobre territorio, biodiversidad y recursos naturales pasará a manos de grandes corporativos tecnológicos, situación que provocará un desplazamiento de los campesinos y agricultores en la toma de decisiones sobre los sistemas de producción agrícola, donde los corporativos tecnológicos definirán el rumbo del sector a partir de datos estadísticos o algoritmos, y no basándose en saberes y conocimientos acumulados durante miles de años. El problema reside en que las decisiones corporativas se guían por la productividad y la ganancia, mientras que las decisiones del campesinado contemplan el respeto por la naturaleza a partir de prácticas sostenibles con el medio ambiente [Mooney, 2020].

Si bien la introducción de nuevas tecnologías en cualquier sector debe tener como principal objetivo el desarrollo y crecimiento del bienestar humano mientras se preserva el medio ambiente, en América Latina persisten condiciones sociales, económicas y políticas que impedirían la realización de este objetivo, ya que los niveles de corrupción y baja efectividad gubernamental, así como la inestabilidad política, juegan un papel decisivo para la automatización y el funcionamiento ideal de los procesos que integran la agroindustria de punta [Mooney, 2020]. Como resultado, dichas economías volverán a quedar rezagadas y las brechas de bienestar de las familias campesinas respecto de las que residen en países desarrollados se profundizarán aún más.

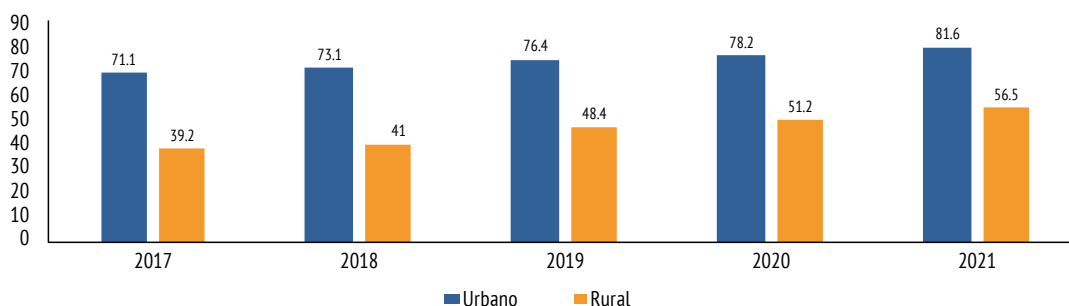
Tras conocer las implicaciones tanto positivas como negativas que puede tener la adopción de este tipo de tecnologías en el sector agrícola, en la siguiente sección se analizarán brevemente los alcances y las limitaciones a las que se enfrenta el impulso de este tipo de tecnologías en el campo mexicano, así como sus consecuencias en el sector. Este análisis se centra principalmente en información sobre indicadores asociados a las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) en el ámbito rural de México, esto debido a que buena parte de las innovaciones planteadas por la agricultura 4.0 requieren de este tipo de infraestructura y a la falta de registros oficiales sobre la adopción de dichas tecnologías.

LAS TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN EN EL SECTOR AGRÍCOLA MEXICANO

En los últimos años se ha observado un incremento considerable en el uso de las TIC entre la población rural de México. De acuerdo con datos de la Encuesta Nacional sobre Disponibilidad y Uso de Tecnologías de la Información en los Hogares (ENDUTIH) que elabora el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi), el número de usuarios de internet

en el entorno rural pasó de 39.2 % en 2017 a 56.5 % en 2021, lo que representa un incremento de 17 puntos porcentuales en cinco años. Tal como se observa en la gráfica 1, esto permitió reducir la brecha respecto de los usuarios en el entorno urbano.

Gráfica 1.
México. Usuarios de internet en el ámbito rural y urbano, 2017-2021

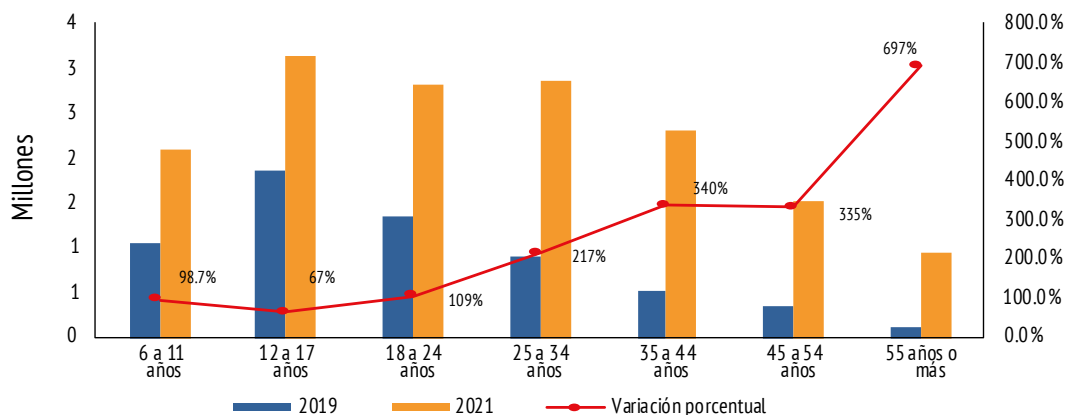


Fuente: elaboración propia con datos de Inegi, ENDUITH 2017, 2018, 2019, 2020 y 2021.

En el entorno rural, se ha presentado un proceso de envejecimiento debido a que la población en edad laboral ha migrado hacia las ciudades o al extranjero en busca de mejores condiciones económicas y, en consecuencia, los responsables de las unidades económicas rurales tienen edades avanzadas que son cercanas a los 50 años o superiores a esta edad [Sagarpa, 2014]. Al respecto, en el estudio presentado por el Banco Interamericano de Desarrollo [2021] se evidenció que, si bien los productores agrícolas de mayor edad que tradicionalmente se habían resistido a utilizar las tecnologías digitales, ya sea por falta de conocimientos y habilidades o por preferir un trato directo, durante la pandemia de covid-19 se vieron obligados a recurrir a los dispositivos digitales para establecer comunicaciones y buscar acceso a mercado. Por ejemplo, en el periodo de restricciones a la movilidad algunas aplicaciones como Jüsto presentaron un incremento de 500 %; esta aplicación reduce el número de intermediarios entre el productor agropecuario y el consumidor, lo que permite a los agricultores ofrecer precios más altos por sus productos.

El internet es el insumo básico que utilizan los dispositivos digitales. En este sentido, es importante resaltar que durante la pandemia de covid-19 se incrementó la cantidad de usuarios de internet en el entorno rural. Este comportamiento se presenta para todos los grupos de edad; sin embargo, la población rural de mayor edad fue la que presentó el mayor incremento respecto del resto de los grupos de edad. Tal es el caso de la población con 55 años o más que experimentó una variación porcentual de 697 % entre 2019 y 2021 (gráfica 2). Por tanto, es posible considerar que la pandemia aceleró la tendencia hacia la digitalización en el entorno rural de México.

Gráfica 2.
Usuarios de internet en zonas rurales (millones de personas),
2019 y 2021



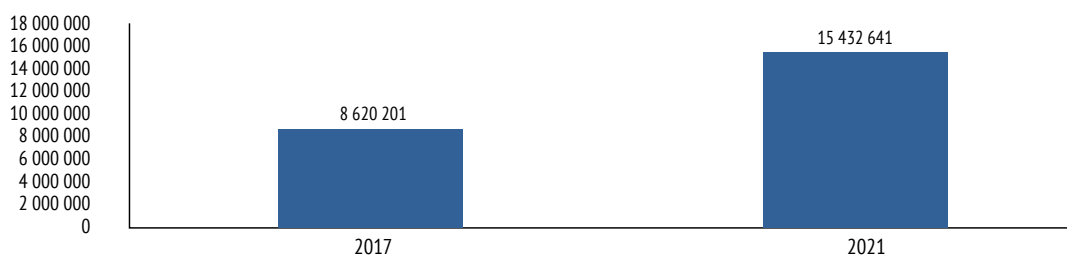
Fuente: elaboración propia con datos del Inegi, ENDUITH 2017 y 2021.

La telefonía móvil lidera la demanda entre las diversas alternativas de acceso a las tecnologías digitales en México. En este tenor, es importante señalar que los servicios móviles son clave para el impulso de la agricultura 4.0, ya que estos dispositivos pueden convertirse en una importante herramienta para los productores agrícolas al apoyarlos en diferentes aspectos de la cadena productiva. Por ejemplo, en la esfera de la producción agrícola se han creado aplicaciones de apoyo en la supervisión de los cultivos para llevar a cabo un uso eficiente de fertilizantes o para el control y prevención de plagas y enfermedades [Conadesuca, 2016]. En México, se pueden descargar aplicaciones multilingües que brindan servicios de asesoría para control de pestes y las principales enfermedades que afectan a cada cultivo, como Pesticides y Alternatives. Estas herramientas permiten reducir las pérdidas en los cultivos limitando el impacto a la salud y al medio ambiente al clasificar el uso de los plaguicidas menos tóxicos o proponiendo alternativas amigables con el ambiente [Iseal Alliance, 2020]. Otras aplicaciones utilizan algoritmos de inteligencia artificial para analizar imágenes de los cultivos y detectar cualquier peste o enfermedad en una etapa inicial, para que de esta manera se reduzca a un mínimo el uso de agentes químicos o pesticidas [Selvaraj *et al.*, 2019].

En la gráfica 3 se puede observar que en el entorno rural mexicano el principal dispositivo empleado para acceder a internet es el *smartphone*, ya que de acuerdo con cifras de la ENDUITH se presentó un incremento de casi 80 % en el número de usuarios durante 2017 y 2021, mientras que en el caso opuesto, la población rural que accede a internet por medio de una computadora se redujo durante el mismo periodo (gráfica 4). Esta situación se explica porque la infraestructura de internet fijo por medio de fibra óptica (que usualmente

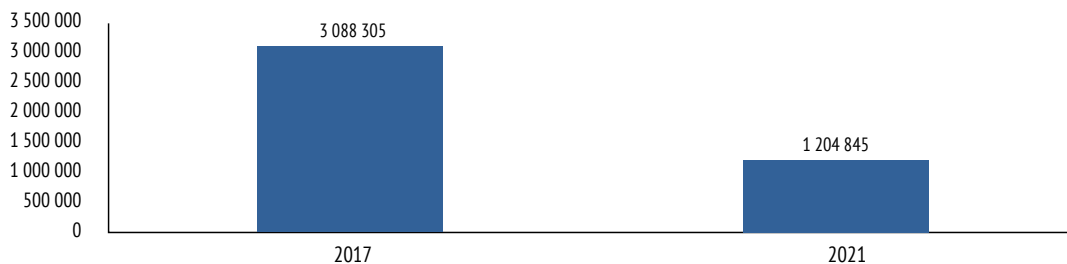
emplean los equipos de cómputo) representa una importante inversión para las empresas de telecomunicaciones. Además, la topografía en ciertas regiones del país y la dispersión de la población en algunas zonas rurales no hacen rentable ese tipo de inversión; por tanto, la cobertura de internet fijo es un tanto limitada [Ziegler, Arias, Bosio y Camacho, 2020].

Gráfica 3.
Sector rural. Total de población que se conecta a internet por medio de teléfono celular inteligente (*smartphone*)



Fuente: elaboración propia con datos del Inegi, ENDUITH 2017 y 2021.

Gráfica 4.
Sector rural. Total de población que se conecta a internet por medio de computadora de escritorio



Fuente: elaboración propia con datos del Inegi, ENDUITH 2017 y 2021.

Por tanto, la expansión de la conectividad a internet móvil en el ámbito rural es esencial para que los productores agrícolas puedan tener acceso a las nuevas tecnologías de la agricultura inteligente y que se puedan implementar de manera exitosa [IFT, 2019; BID, 2021]. Durante 2020, de los 2 457 municipios en México, 90.5 % contaba con cobertura móvil garantizada 3G que se utiliza principalmente para brindar servicios de voz, SMS y datos móviles con una velocidad de conexión limitada, mientras que la cobertura 4G permite prestar un servicio de datos de alta velocidad. En México, la compañía de telecomunicaciones Telcel es la que proporciona la mayor cobertura de internet móvil, con 87.6 % para la conexión 3G y 80.9.7 % para la 4G [IFT, 2019; 2020], mientras que la cobertura a la red 5G, con mayor

velocidad de conexión móvil, apenas está comenzando a desarrollarse en el territorio mexicano y su acceso es muy limitado, ya que se restringe a sólo 18 ciudades de la república mexicana [Rodríguez, 2022] (mapas 1, 2 y 3, en los originales se observa que las tonalidades verdes indican cobertura en esas regiones). Esta situación representa una importante limitación en infraestructura de telecomunicaciones para que en México sea posible impulsar las tecnologías asociadas a la agricultura 4.0, ya que los diversos componentes como sensores, drones y dispositivos robóticos requieren estar interconectados para recabar, transferir y analizar grandes volúmenes de información en tiempo real, por lo que las conexiones 3G y 4G no permiten desarrollar estos procesos eficientemente, mientras que la conectividad 5G brindará la potencia necesaria para que los procesos de la agricultura inteligente puedan ser aplicados sin mayores complicaciones [Naqvi *et al.*, 2022].

Mapa 1.
Cobertura 3G garantizada (UMTS)



Fuente: mapa de cobertura de Telcel América Móvil (2023).

Mapa 2.
Cobertura 4G garantizada (LTE)



Fuente: mapa de cobertura de Telcel América Móvil (2023).

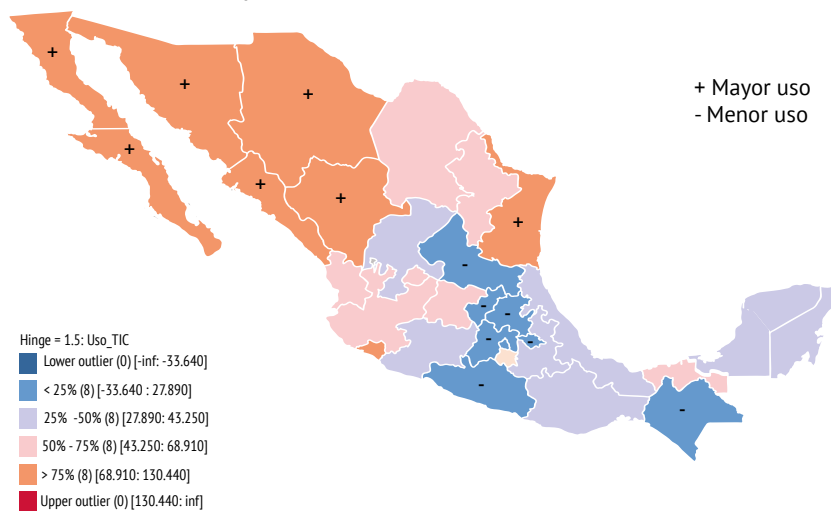
Mapa 3.
Cobertura 5G garantizada



Fuente: mapa de cobertura de Telcel América Móvil (2023).

Además de esto, es necesario considerar que el acceso a las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones en el campo mexicano es asimétrico y limitado. Esta situación puede tener importantes repercusiones sociales si se impulsan las innovaciones de la agricultura 4.0, ya que, de acuerdo con datos de la Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA) del Inegi [2018], el uso de las diversas tecnologías informáticas y de comunicación para aplicación productiva en el campo se concentra principalmente en la zona norte del país (+), mientras que en el sur su implementación es muy limitada (–, mapa 4).

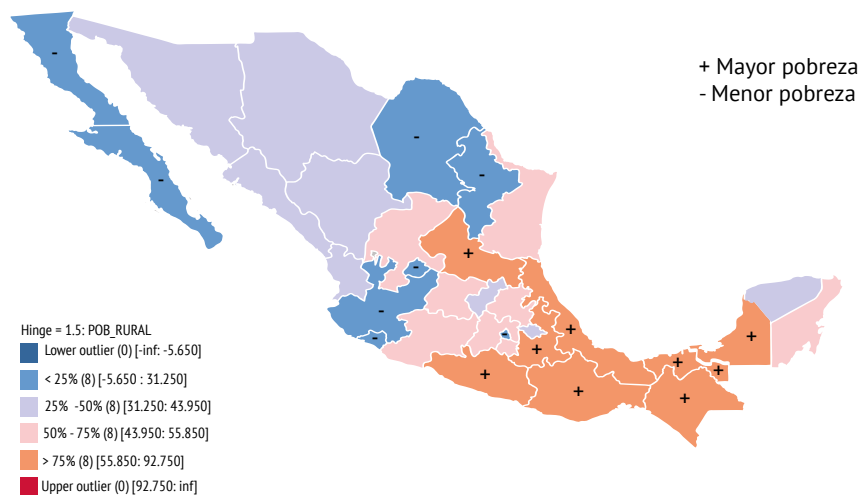
Mapa 4.
Implementación de TIC en México



Fuente: elaboración propia con datos de la Encuesta Nacional Agropecuaria del Inegi [2019].

Esta brecha tecnológica está enmarcada por los niveles de pobreza estructural que persisten entre las distintas regiones de México. Para 2018, las regiones del sur, que tienen menor acceso a las TIC, presentaban los mayores niveles de pobreza rural (+), mientras que las entidades del norte con mayor acceso a las TIC tenían menores niveles de pobreza (-), como se observa en el mapa 5.

Mapa 5.
Población que vive en condiciones de pobreza en el entorno rural
de cada entidad federativa (%), 2018



Fuente: elaboración propia con datos de Coneval, 2018.

Debido a esto, es importante considerar los costos sociales que conlleva la adopción de la agricultura 4.0 en el escenario del campo mexicano. El impulso de estos métodos de producción requiere que se considere la necesidad de incorporar la sostenibilidad social en las trayectorias tecnológicas y que se delimite un marco de innovación considerando a todos los actores del campo, ello con el objetivo de conocer los factores contextuales en términos naturales, económicos y sociales de cada región para llevar a cabo una transición sociotécnica responsable [Rose *et al.*, 2021]. Esto solo se logrará por medio de una política pública incluyente que permita mejorar el bienestar de toda la población rural considerando los conocimientos milenarios del campesinado mexicano, de manera que se propongan alternativas productivas que sean amigables con el medio ambiente y que se consideren para el desarrollo de estas plataformas tecnológicas.

CONCLUSIONES

Una parte de la literatura sobre la agricultura de precisión señala que el uso de tecnologías digitales e inteligencia artificial basada en procesos de aprendizaje automatizados representa una importante herramienta para que los campesinos tomen decisiones más precisas y desarrollen mejores prácticas ante los factores contextuales de las diversas regiones de México, pues en la actualidad existen aplicaciones para el uso de robots autómatas alimentados por energía solar que rastrean y detectan la presencia de maleza para aplicar una cantidad precisa de herbicidas y reducir así el uso de agroquímicos en la producción agrícola. También se han desarrollado plataformas que permiten recolectar, digitalizar y monitorear grandes cantidades de información en tiempo real sobre el estado de la parcela para optimizar la producción agrícola, incluso se han desarrollado aplicaciones que buscan establecer una relación más estrecha entre el productor y el consumidor a partir del impulso de economías solidarias. De acuerdo con algunos autores como Bin Alam *et al.* [2023] o Javaid *et al.* [2022], estas tecnologías permitirán mejorar la productividad del campo, incrementar los ingresos y generar un conjunto de nuevos empleos especializados que impulsarán el desarrollo en economías emergentes.

Sin embargo, el campo mexicano se enfrenta a diferentes retos para que el sector agrícola pueda adoptar las tecnologías asociadas a la agricultura 4.0. El primero de ellos es la falta de infraestructura necesaria para impulsar mayores coberturas de los servicios digitales que garanticen el acceso y la velocidad necesarios para impulsar esas innovaciones en el campo, además de que se puedan ofrecer a precios accesibles al alcance de todos los productores agrícolas.

El segundo reto se vincula con las grandes asimetrías y desigualdades que existen entre la población rural de México, debido a que el acceso diferenciado a las innovaciones de la agricultura 4.0 puede profundizar aún más el rezago económico y la pobreza en la región sur del país. Por tanto, para que los efectos de la incorporación de tecnologías inteligentes se reflejen en un impacto positivo sobre el bienestar de las familias del campo mexicano, será necesario que las políticas y recursos públicos se destinen a otorgar financiamiento, capacitación, asesoría técnica y acceso a herramientas digitales para los campesinos que tienen capacidades limitadas para adoptar estas tecnologías. De lo contrario, las brechas tecnológicas provocarán importantes diferencias en los niveles de bienestar entre la población rural [Mooney, 2018].

Este trabajo forma parte de una investigación en curso sobre las repercusiones que tiene la adopción de tecnologías asociadas a la agricultura inteligente en el campo mexicano. Si bien es un análisis limitado respecto de la amplia diversidad de impactos que tendrán estas innovaciones sobre el sistema agroalimentario —pues sólo se centra en las limitaciones de infraestructura para impulsar dichas innovaciones en el sector rural y a

los riesgos asociados con una profundización de las brechas de pobreza entre la población rural del sur y norte del país—, el presente texto abre una línea de investigación que se puede extender hacia las consecuencias que estas tecnologías tendrán en la soberanía alimentaria y los distintos impactos que se observarán a lo largo de la cadena agroalimentaria de nuestro país.

BIBLIOGRAFÍA

- Aragonés, A. Ma. y B. Rubio (coords.) [2009], *Nuevas causas de la migración en México en el contexto de la globalización: tendencias y perspectivas a inicios del nuevo siglo*, México, UNAM, FES-Acatlán y Plaza y Valdés.
- Badillo, D. [2019], "En México, 4 de cada 10 productores rurales tienen más de 60 años de edad", *El Economista*, <<https://acortar.link/U2MBMv>>.
- Baptista, D. [2016], "Rezaga México reducción de pobreza rural", *El Reforma*, 29 de septiembre, <<https://acortar.link/G9syaq>>.
- BID (Banco Interamericano de Desarrollo) [2021], *Panorama del ecosistema agrotecnológico para los pequeños agricultores de América Latina y el Caribe*. Banco Interamericano de Desarrollo. <<http://dx.doi.org/10.18235/0003027>>.
- Bin Alam F.; S. Rahman, S. Zaman, E. Santibanez Gonzalez, A. B. M. Mainul Bari y C. Lekha Karmaker [2023], "Analysis of the drivers of Agriculture 4.0 implementation in the emerging economies: Implications towards sustainability and food security". *Green Technologies and Sustainability*, vol. 1, Issue 2, 100021, ISSN 2949-7361. <<https://cutt.ly/3ezVz9Ho>>.
- Borax, US [2023], "Deficiencia de boro en México", <<https://cutt.ly/AezVxfXC>>.
- CEDRSSA (Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria) [2019], *Comercio internacional de café, el caso de México*. Cámara de diputados, LXIV Legislatura, Ciudad de México, <<https://acortar.link/RoaVTD>>.
- CISCO [2023], ¿Qué es 5G? Disponible en <<https://cutt.ly/UezVcqka>>.
- Conadesuca [2016], "Aplicación App móvil Conadesuca. Información de interés para el sector cañero", <<https://acortar.link/Ef5fCD>>.
- De Clercq M. ; A. Vats y A. Biel [2018], *Agriculture 4.0. The Future of Farming Technology*. The World Government Summit.
- Diem, H. y D. Thuy [2020], "Prospects for Agriculture 4.0 in Developing Countries: Case studies from Vietnam", en Sakata, Shozo (ed.) [2020] *Structural Changes of Agriculture in the CLMTV Countries and their SocioEconomic Impacts*, BRC Research Report, Bangkok Research Center, JETRO Bangkok / IDE-JETRO.
- Endeavor [2020], "Panorama Agtech en México", <<https://www.endeavor.org.mx/panorama-agtechmexico/>>.

- FAO-Sagarpa [2012], "Panorama de la seguridad alimentaria y nutricional en México". Informe País, FAO-Sagarpa, <http://www.colpos.mx/wb_pdf/Panorama_Seguridad_Alimentaria.pdf>.
- FIDA [2010], "Desertificación". *Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola*, 4. <<https://acortar.link/DHWIDb>>.
- Fundar [2014], "¿Por qué es importante la pequeña agricultura?", Centro de Análisis e Investigación Fundar, <<https://acortar.link/0wN2sc>>.
- IBM [s. f.], "¿Qué es blockchain?", IBM, <<https://cutt.ly/rezVba9W>>.
- IFT [2020], "Quién es quién en cobertura móvil en México segundo trimestre 2019". SATYC, <<https://acortar.link/cnObpP>>.
- ____ [2019], Cobertura del servicio móvil en las zonas agrícolas de México.
- IICA [2021], "México: un gigante del sector agropecuario decidido a cerrar brechas sociales en el campo", <<https://acortar.link/xzyBPi>>.
- Inegi [2022], Cuéntame de México. Población rural y urbana, <<https://acortar.link/J7mfik>>.
- Inegi [2018], Resultados de la Encuesta Nacional Agropecuaria 2017. Comunicado de prensa núm. 446/18, <<https://acortar.link/bDOHXp>>.
- Iseal Alliance [2020], *Pesticides y Alternatives*. Google Play, <<https://acortar.link/ZGoboH>>.
- ITU [2016], *Measuring Information Society Report*. Ginebra: ITU.
- ISTOE [2019], *Agricultura 4.0 conciliará desenvolvimento com meio ambiente*. Agência Brasil.
- Javaid, M.; A. Haleem, Pratap, R. Singh y R. Suman [2022], "Enhancing smart farming through the applications of Agriculture 4.0 technologies". *International Journal of Intelligent Networks*, vol. 3: 150-164, ISSN 2666-6030. <<https://cutt.ly/ZezVmDVK>>.
- Lazos-Chavero, E. [2020], "Advierten sobre amenazas al campo mexicano", *Boletín UNAM-DGCS-597*, <<https://acortar.link/ThLmxS>>.
- Lazos-Chavero, E. y M. Jiménez-Moreno [2022], "Vulnerabilidades rurales a partir del envejecimiento entre nahuas del sur de Veracruz", *Trace*, México (819), 132-161. Epub 01 de enero de 2022. <<https://cutt.ly/xezVQJpz>>.
- Mooney, P. [2020], "La insostenible Agricultura 4.0. Digitalización y poder corporativo en la cadena alimentaria". Corporación Grupo Semillas, Colombia. <<https://cutt.ly/QueVQ0Us>>.
- Naqvi, S. M. Z. A.; S. R. Saleem, M. N. Tahir, S. Li, S. Hussain, S. I. Ul Haq, S. I. y M. Awais [2022], "Role of 5G and 6G Technology in Precision Agriculture", *Environmental Sciences Proceedings*, 23(19): 3.
- Pat Mooney, ETC Group [2018], "Blocking the chain. Industrial food chain concentration, Big Data platforms and food sovereignty solutions", *Canada ETC Group*, <<https://acortar.link/g32C3C>>.
- Ponce, M. [2022], "Tecnología digital en el sector agropecuario", *Revista Cámara*, <<https://acortar.link/XvIISb>>.

- Rodríguez, D. [2022], "La red 5G en 18 ciudades de México: ¿quiénes pueden conectarse?", *El País*, 23 de febrero, México, <<https://acortar.link/hp60NF>>.
- Rose, D. C.; R. Wheeler, M. Winter, M. Lobley y C. A. Chivers [2021], "Agriculture 4.0: making it work for people, production, and the planet". *Land Use Policy*, 100. 104933. <<https://cutt.ly/eezVEjUW>>.
- SADER [2020], "Productores de pequeña escala son los que nos dan de comer" <<https://acortar.link/lfZoHY>>.
- SADER [2018], Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta, <www.siap.gob.mx>.
- Sagarpa [2014], Estudio sobre el envejecimiento rural en México, <<https://acortar.link/oVkevY>>.
- Savary, S.; L. Willocquet, S. J. Pethybridge *et al.* [2019], "The global burden of pathogens and pests on major food crops". *Nat Ecol Evol* 3, 430-439. <<https://cutt.ly/XezVRD0e>>.
- Secretaría de Cultura [2020], Agricultura 4.0 dejará fuera del juego a las redes campesinas: Silvia Ribeiro. Comunicado.
- Selvaraj, M. G.; A. Vergara, H. Ruiz, N. Safari, S. Elayabalan, W. Ocimati y G. Blomme [2019], "AI-powered banana diseases and pest detection". *Plant Methods*, 15, 1-11.
- Senasica [2021], "Pequeños productores, sostén de nuestra agricultura", <<https://acortar.link/M5srA2>>.
- Telcel América Móvil [2023], Mapas de Cobertura, <<https://acortar.link/vpC4fv>>.
- Trendov, N. [2019], "Tecnologías digitales en la agricultura y las zonas rurales, documento de orientación". Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- UNDESA [2018], *The 2018 Revision of World Urbanisation Prospects*. New York.
- USAID [2018], *Digital farmer profile: Reimagining Smallholder Agriculture*. Washington D. C.
- Ziegler, S.; J. Arias Segura, M. Bosio y K. Camacho [2020], *Conectividad rural en América Latina y el Caribe. Un puente al desarrollo sostenible en tiempos de pandemia*. IICA international, <<https://cutt.ly/9ezVYISE>>.

6. Gobierno abierto en la era digital: ¿opción para combatir la corrupción en las finanzas públicas?

Marcela Astudillo Moya

INTRODUCCIÓN

En la actual era digital, uno de los conceptos clave que se refiere a la utilización de la tecnología en la gestión del gobierno es el gobierno digital, que alude al uso de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) con el objetivo de crear valor público. No solamente se trata de digitalizar los procesos, sino que implica reestructurar sistemas. Según el Banco Mundial, para que un gobierno digital sea eficiente debe basarse en una gestión orientada a resultados.

Otra herramienta para el fortalecimiento de la gestión pública es el gobierno abierto, que se refiere a la manera en que interactúan el gobierno y la sociedad. Este modelo de gestión se basa en la transparencia, la participación ciudadana y la colaboración. Precisamente por las características de un gobierno abierto, la tecnología juega un papel central debido a su potencial a la hora de poner en práctica este modelo de gestión pública. El gobierno abierto es consecuencia de la voluntad política.

En el campo de las finanzas públicas, la transparencia y la rendición de cuentas son elementos clave para que los recursos que genera la sociedad incidan realmente en el bienestar de la población [Astudillo y Fonseca, 2019]. Uno de los medios utilizados para este fin es el gobierno abierto. Este recurso surgió en Inglaterra a finales de 1960 para reclamar la apertura del gobierno. Existen diferentes definiciones de gobierno abierto, por ejemplo, para Obama [2009] el gobierno abierto debe basarse en transparencia, rendición de cuentas, participación ciudadana, colaboración para la toma de decisiones y formulación de políticas públicas, es una cultura de gobernanza. La OCDE lo define como un elemento fundamental para promover la democracia y el crecimiento inclusivo por medio de prácticas basadas en principios de transparencia, rendición de cuentas y participación ciudadana.

Ahora bien, la tecnología juega un papel muy importante en el gobierno abierto, porque facilita la comunicación entre el gobierno y la población. Con el apoyo de las TIC, se puede lograr la interacción entre ciudadanos y gobernantes. En el ámbito de las finanzas públicas, se ha desarrollado una Encuesta de Presupuesto Abierto que cubre tres rubros: transparencia presupuestaria, participación ciudadana y vigilancia.

El objetivo de este capítulo es determinar si el uso de la tecnología se ha orientado a cubrir los tres rubros mencionados. En caso negativo, proponer políticas públicas de manera que la tecnología sea un medio para transparentar las finanzas públicas, pues el uso adecuado del presupuesto público permitirá mejorar el bienestar de la población.

¿QUÉ ES EL GOBIERNO ABIERTO?

El gobierno abierto transparenta sus acciones y promueve una conexión permanente con la población [INAI, 2014]. Permite establecer una relación horizontal entre gobernantes y gobernados. Se concibe como una estrategia para construir confianza en las instituciones mediante la participación ciudadana, en la que la tecnología desempeña un papel muy importante, ya que por una parte facilita una mayor comunicación de los gobiernos con la sociedad y, por la otra, mejora la participación de los ciudadanos en el ambiente público. Gracias a las tecnologías de la información y la comunicación, la consulta y el diálogo pueden extenderse a un número mucho más amplio de ciudadanos, sin importar distancias y barreras físicas.

El gobierno abierto se ha definido como una doctrina política que se basa en la vigilancia efectiva de las acciones del gobierno por medio del acceso de los ciudadanos a los documentos públicos gubernamentales, con lo que se pretende prevenir actos de corrupción. En este modelo de gobernanza es necesario involucrar a la sociedad en la toma de decisiones. Se considera que la apertura del gobierno promoverá la participación de los ciudadanos, aunque es importante tener en cuenta que entre la población hay grandes desigualdades económicas, educativas y culturales, lo cual se constata en la brecha digital existente entre los diferentes grupos sociales, pero esto no implica que la ciudadanía no sea el centro de la labor del gobierno abierto [Pinho, 2020]. Así, este modelo de gobernanza agrupa aspectos de transparencia, participación ciudadana, datos abiertos, información socialmente útil, entre otros.

El objetivo del gobierno abierto es que la ciudadanía participe en los asuntos públicos para prevenir la corrupción. La transparencia y la rendición de cuentas permiten una participación informada de la sociedad. Implica una mayor colaboración entre la autoridad y la sociedad, lo cual se puede realizar gracias a las TIC.

La participación ciudadana consiste en las actividades mediante las cuales las personas intervienen en los asuntos públicos que les atañen como ciudadanos. Los medios de

participación de la ciudadanía son muy diversos, por ejemplo, referéndum, plebiscitos, ratificación constitucional, ratificación de mandato, consultas públicas, iniciativas ciudadanas, presupuesto participativo, entre otros. Los niveles de participación de la ciudadanía pueden ser: consulta, control y evaluación, formulación, participación y ejecución.

La Alianza para el Gobierno Abierto (AGA) es un proyecto internacional que busca promover la transparencia aprovechando las tecnologías para fortalecer la gobernanza [IECM, 2022]. Indudablemente, el desarrollo actual de las tecnologías facilita la participación ciudadana, condición indispensable para lograr una mayor transparencia y con ello un manejo adecuado de los recursos públicos que permita orientarlos al bienestar de la sociedad [Valenzuela y Bojórquez, 2016].

¿POR QUÉ SURGE EL GOBIERNO ABIERTO?

El gobierno abierto se considera un elemento fundamental en las democracias, surge como un medio para afrontar los retos de los gobiernos democráticos. Sus orígenes se remontan al siglo xvi, en Suecia, con una ley que permitía a los ciudadanos acceder a todos los hechos públicos, pero es hasta la década de 1960 cuando en el Reino Unido se utilizó el término abierto para los gobiernos bajo el escrutinio público [INAI, 2014]. La vigilancia de las acciones gubernamentales por parte de la ciudadanía es un medio de prevención y detección de actos de corrupción.

La corrupción es un problema muy antiguo, inclusive algunos autores consideran que es una característica que ha estado presente en la mayoría de los grupos sociales y en diversas épocas. Por ejemplo, en la Biblia se refieren a los sobornos y en la *Divina Comedia* los corruptos son colocados en la parte más profunda del infierno. Es importante subrayar que no hay consenso del significado de corrupción; Rose [2018] demostró la dificultad para calificar una conducta como corrupta. A pesar de ello, en épocas actuales autores como Sartori [2005] consideran que la magnitud de la corrupción ha llegado a niveles nunca vistos.

En México, se carece de mecanismos de participación ciudadana como la iniciativa legislativa ciudadana, consejos consultivos, asambleas vecinales, entre otros. Tampoco se da seguimiento a los acuerdos alcanzados. En este ámbito, las TIC podrían jugar un papel muy importante, como la implementación de sitios web relacionados con foros ciudadanos y encuestas, entre otras estrategias. Bianualmente, se elabora desde 2017 la Métrica de Gobierno Abierto. En 2021, se analizaron 1 365 sujetos obligados de los tres ámbitos de gobierno; este índice básicamente se enfoca en dos dimensiones: transparencia y participación ciudadana, desde dos perspectivas: gubernamental y ciudadana. El resultado se mide en una escala de 0 a 1, donde 1 le corresponde a un gobierno totalmente abierto a la participación ciudadana y 0 a un gobierno sin apertura. En el año mencionado, el

índice de gobierno abierto fue de 0.48, la dimensión de transparencia fue de 0.61, donde se califica, por un lado, en qué medida el gobierno informa sobre las decisiones y acciones que toma y, por otro, la posibilidad de que una persona obtenga oportunamente la información solicitada. El otro subíndice corresponde a la participación ciudadana; en este caso fue la calificación más baja, ya que solamente alcanzó 0.35. En este rubro se califican los mecanismos con que cuenta la ciudadanía para incidir en las decisiones públicas [INAI, 2021a].

CORRUPCIÓN Y FINANZAS PÚBLICAS

Como se señaló anteriormente, este capítulo se enfoca en el papel que juega el gobierno abierto en la lucha contra los actos de corrupción en el ámbito de las finanzas públicas.

La corrupción es un tema particularmente importante en el ámbito de las finanzas públicas: disminuye el monto de los recursos públicos debido a que se presentan desviaciones del gasto público para favorecer otros intereses sin tomar en cuenta las necesidades de la sociedad. En consecuencia, lo anterior da lugar a un incremento de la deuda pública, lo que origina la concentración de los ingresos a favor de personas que detentan el poder político [Solimano, Tanzi y Del Solar, 2008].

La corrupción suele ocasionar que el Estado perciba menos recursos de los que potencialmente podría obtener al favorecer la evasión y elusión fiscal. Por ejemplo, la reducción del monto de impuestos a pagar a cargo de algunos contribuyentes a cambio de una dádiva entregada a los funcionarios encargados de la recaudación. Situación similar puede ocurrir en el caso de las concesiones, que son otorgadas a cambio de un pago menor a lo que realmente cuestan, o bien en el caso de las privatizaciones de empresas estatales.

En cuanto al gasto, la corrupción puede dar lugar a un cambio en el destino de los recursos, alterando su composición y prioridades. En lugar de que se destinen a la satisfacción de necesidades de la población, se utilizan en beneficio de particulares. Tanzi y Davoodi [2001] mencionan una amplia gama de corrupción del gasto público y destacan los abusos en licitaciones. Mención especial merece la corrupción vinculada a la inversión pública, por los montos que requieren las grandes obras de infraestructura como carreteras, aeropuertos y otros, lo que da lugar a que sean de menor calidad de lo necesario. Inclusive se puede llegar al extremo de realizar proyectos innecesarios pero que generan una gran cantidad de sobornos, obras que se conocen como “elefantes blancos”. Se dan casos en los que algunas infraestructuras se dejan al abandono para que sea necesario reconstruirlas, con lo que se crean oportunidades para obtener ganancias ilícitas.

El problema de la corrupción llega a ser tan importante que las normas pueden ser manipuladas para favorecer a quienes tienen los recursos suficientes para sobornar.

La apertura gubernamental puede promover la eficiencia en el gasto con menos posibilidades de corrupción; además, puede incentivar la búsqueda de nuevas formas de proveer servicios para reducir costos, entre otros beneficios.

Al igual que en el caso del ingreso y el gasto público, la deuda pública no solamente se incrementa, sino que su utilización puede beneficiar a algunas personas o grupos. En términos generales, la deuda pública puede facilitar la corrupción, especialmente cuando no se reporta el destino o no hay límite de endeudamiento.

CORRUPCIÓN Y TRANSPARENCIA

La información es una fuente de poder político [INAI, 2014], en la medida que se cuenta con ella, se empodera a la sociedad; por tanto, los gobernantes se ven presionados para adoptar conductas de transparencia. Para enfrentar la corrupción hay instrumentos preventivos como la transparencia, la rendición de cuentas y el derecho de acceso a la información. Dentro de estos mecanismos las TIC desempeñan un papel muy importante para adoptar un gobierno abierto. En el campo de las finanzas públicas, la transparencia implica poner a disposición de los ciudadanos la información de las fuentes de ingresos públicos y el destino de dichos recursos, por lo que es fundamental para el manejo adecuado de las finanzas públicas. En este caso, el Estado determina cuál información hace pública.

El marco legal que fundamenta al gobierno abierto se encuentra en la Ley General de Transparencia y Acceso a la Información Pública de 2015. De acuerdo con esta ley, los organismos encargados de la transparencia y el acceso a la información tienen la obligación de auxiliar a las instituciones públicas y a la ciudadanía para establecer mecanismos de colaboración. Este modelo de gobierno abierto abarca a gobiernos estatales, municipales, a los poderes legislativo y judicial, además del ejecutivo.

Al respecto, en México el portal de transparencia de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público se creó en 2011, a la cual en la Cumbre Global de la Alianza para el Gobierno Abierto realizada en 2016 le otorgaron el Premio Regional de la Alianza para el Gobierno Abierto del Open Government Partnership. En dicha plataforma se encuentra información de todo el ciclo presupuestario. Entre otros, destacan los siguientes documentos:

- Criterios generales de política económica para la iniciativa de Ley de Ingresos y el proyecto de presupuesto de egresos de la federación.
- Iniciativa de Ley de Ingresos de la Federación.
- Iniciativa con proyecto de decreto por el que se reforman, adicionan y derogan diversas disposiciones de la Ley Federal de Derechos.
- Iniciativa con proyecto de decreto por el que se adicionan diversas disposiciones de la Ley Federal de Presupuesto y Responsabilidad Hacendaria.

- Informe sobre el uso de la facultad conferida al ejecutivo federal en materia arancelaria.
- Proyecto de decreto de presupuesto de egresos de la federación.
- Carta del presidente, exposición de motivos, tomos y anexos del proyecto de presupuesto de egresos de la federación.

Como se señaló anteriormente, también hay medidas legales para detectar situaciones que pueden constituir actos de corrupción, como la rendición de cuentas. Este instrumento permite conocer lo que hacen los organismos públicos, así como sus resultados. En México, tanto en la Ley de Presupuesto y Responsabilidad Hacendaria como en la Ley General de Contabilidad Gubernamental se establecen mecanismos de rendición de cuentas. En esta última ley, se consideran medidas punitivas contra los servidores públicos que omitan la difusión de la información financiera. Es importante subrayar que la rendición de cuentas se realiza mediante la cuenta pública, que es un informe integrado por la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP), revisado y fiscalizado por la Cámara de Diputados. Contiene información presupuestaria de los tres poderes, órganos autónomos y del sector paraestatal. Este documento se puede consultar en la plataforma de la SHCP [2021] y comprende los años de 1996 a 2022.

Tomo I Resultados Generales
 Tomo II Gobierno Federal
 Tomo III Poder Ejecutivo
 Tomo IV Poder Legislativo
 Tomo V Poder Judicial
 Tomo VI Órganos Autónomos
 Tomo VII Sector Paraestatal
 Tomo VIII Empresas Productivas del Estado

Otro medio de rendición de cuentas son los informes mensuales y trimestrales que entrega la SHCP al Congreso de la Unión. También se pueden consultar en la plataforma de la SHCP y contienen información de ingresos, gastos y deuda pública, con la siguiente periodicidad:

Informes mensuales

Participaciones pagadas a entidades federativas y municipios
 Información de finanzas y deuda pública

Informes trimestrales

Informes sobre la situación económica, las finanzas y la deuda pública

Informes bimestrales

Ingresos y egresos de la federación y avance de metas por programa

Informes anuales

Presupuesto de gastos fiscales/renuncias recaudatorias

Distribución del pago de impuestos y recepción del gasto público

Reportes de donatarias autorizadas

Cabe mencionar que las bases de datos con información sistematizada que pueden ser utilizadas con un mínimo esfuerzo y sin costo se denominan datos abiertos, característica que ha acompañado a los principios del gobierno abierto, y cuya importancia crece en la medida que avanza el desarrollo tecnológico:

Los datos abiertos permiten a los usuarios comparar, combinar y seguir las conexiones entre distintos conjuntos de datos, rastreando datos a través de un número de programas y sectores. Cuando los datos se puedan combinar y comparar efectivamente, es posible resaltar las tendencias, identificar desafíos e inequidades económicas y sociales, así como referenciar avances en los programas y servicios públicos [ODC, 2022].

De acuerdo con el INAI [2021b], los datos digitales de carácter público tienen, entre otras, las siguientes características: accesibilidad, integrales, gratuitos, no discriminatorios, oportunos, permanentes, primarios (se refiere a la fuente de origen y con el mayor nivel de desagregación), legibles (por equipos electrónicos de manera automática), en formatos abiertos y de libre uso (el único requerimiento es citar la fuente de origen).

Al igual que todos los documentos mencionados anteriormente, la SHCP pone a disposición del público otros conjuntos de datos abiertos en su sitio web. Es el caso del documento Estadísticas Oportunas de Finanzas Públicas, donde se pueden consultar los siguientes datos:

- Asignación y ejecución del presupuesto de egresos (mensual) de 2003 a 2022.
- Saldo histórico de los requerimientos financieros del sector público (trimestral) de 2000 a 2022.
- Requerimientos financieros del sector público de 2001 a 2022.
- Deuda pública de 1990 a 2022.
- Transferencias del gobierno federal a entidades federativas y municipios de 1990 a 2022.
- Ingreso, gasto, financiamiento y resultados de 1990 a 2022.
- Balance, ahorro y financiamiento de 1990 a 2022.

RENDICIÓN DE CUENTAS

La rendición de cuentas implica información oportuna, confiable y sistemática sobre la administración y gestión de los gobiernos. Así transfieren control a la ciudadanía para vigilar e incidir en las políticas públicas.

Cabe mencionar que en México la rendición de cuentas está ligada a la fiscalización en la Ley de Fiscalización y Rendición de Cuentas de la Federación. Mediante la fiscalización se vigila el uso de los recursos públicos. La institución encargada de la fiscalización en el ámbito federal es la Auditoría Superior de la Federación (ASF), la cual se encarga de la revisión de la cuenta pública federal.

Como resultado de la revisión de la cuenta pública que realiza cada año, la ASF presenta un Informe del Resultado de la Fiscalización Superior de la Cuenta Pública que es posible consultar en formatos abiertos en el sitio de la ASF [2021] de los años 2000 a 2021. En dicha plataforma se encuentran:

- Informes individuales
- Matriz de datos básicos
- Informes de auditoría simplificados

Además, la ASF cuenta con el Sistema Público de Consulta de Auditorías (SPCA), herramienta tecnológica donde se pueden hacer búsquedas por periodo fiscalizado, tipos de auditorías, entidades fiscalizadas, acciones emitidas, estatus del proceso y denuncias presentadas.

La Ley del Sistema Nacional Anticorrupción y la Ley General de Responsabilidades de los Servidores Públicos se refieren a una Plataforma Digital Nacional (PDN) en la que se puede consultar la situación patrimonial de los servidores públicos, también existen correos electrónicos habilitados para atender quejas ciudadanas y medios tecnológicos como cámaras ocultas. Es importante señalar que dicha plataforma no genera ni es un repositorio de datos, sino que es de interoperabilidad que consulta información de diversas fuentes.

La PDN está integrada por seis sistemas: 1) declaraciones, 2) servidores públicos en contrataciones, 3) sancionados, 4) fiscalización, 5) denuncias y 6) contrataciones.

El Mercado Digital Anticorrupción (MDA) es un sitio de internet que contiene diversas herramientas digitales de uso libre para el desarrollo y conexión de los seis sistemas mencionados. El fin último es fomentar la innovación tecnológica y promover la capacitación tecnológica en las instituciones públicas. Además, se pueden compartir herramientas desarrolladas por diversas instituciones [MDA, 2023].

ACCESO A LA INFORMACIÓN

El acceso a la información es el derecho de los ciudadanos de solicitar información al gobierno, el cual tiene la obligación de entregarla en tiempo y forma. Cuando las unidades de transparencia de los sujetos obligados no responden a las solicitudes de información, el Instituto Nacional de Transparencia, Acceso a la Información y Protección de Datos Personales (INAI) interviene en caso de que se presente un recurso de revisión. La información que poseen los sujetos obligados es pública, excepto la clasificada como reservada o confidencial.

En cuanto a este derecho, es importante mencionar que los sujetos obligados presentan problemas respecto de la gestión de las solicitudes; por ejemplo, 71 % de los 278 sujetos obligados federales registrados en el Diagnóstico Institucional de Sujetos Obligados de 2016 no tenía algún procedimiento formal para asegurar la búsqueda de la información [INAI, 2014].

Además, se registra una insuficiencia de los sistemas informáticos para la gestión de solicitudes. Son pocos los sujetos obligados que atienden las necesidades de infraestructura tecnológica o que han realizado acciones orientadas al mejor uso de las tecnologías de la información. Por otra parte, de acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi), 49.4 % de la población de 18 años y más no sabe qué institución es la encargada de garantizar el derecho de acceso a la información pública, no sabe cómo obtener información ni confía en la información del gobierno.

PARTICIPACIÓN DE LA CIUDADANÍA

En el gobierno abierto los ciudadanos juegan un papel muy importante en el combate a la corrupción. En este modelo de gobernanza resulta fundamental la colaboración entre el gobierno y los ciudadanos para la toma de decisiones. Inclusive se considera que un gobierno abierto sin mecanismos de participación ciudadana no sería democrático.

En 2015 se realizó uno de los primeros ejercicios para medir la apertura del gobierno, en este caso se enfocó en la apertura de los congresos de México. En 2017, el ejercicio midió la transparencia y la participación ciudadana desde la perspectiva del gobierno y la de los ciudadanos [INAI, 2014].

Una forma incipiente de participación de la ciudadanía en la vigilancia del uso de los recursos públicos es el *Rally datos en la calle*, que se organiza anualmente para promover la implicación de la población mediante la verificación de obras públicas realizadas con recursos federales, con lo que potencia el uso de datos abiertos del Estado.

INSTRUMENTOS PARA MEDIR LA CORRUPCIÓN

Los instrumentos se refieren a los ejercicios que se realizan sistemática y periódicamente para elaborar series históricas. Todos los instrumentos utilizan una serie de indicadores procesados por medio de metodologías computacionales.

Los primeros estudios sistemáticos sobre corrupción aparecen en la década de 1950, aunque no había herramientas para calcular su alcance. Es hasta finales del siglo pasado cuando aparecieron los primeros instrumentos para medirla [Fonseca y Astudillo, 2021].

Por su naturaleza misma, es muy difícil medir la corrupción. El desarrollo de las tecnologías de la información ha permitido el uso de encuestas masivas a nivel mundial para el estudio del fenómeno de la corrupción. Así, en 1984 la organización Political Risk Services Group realizó el primer ejercicio de medición de niveles de corrupción mediante la comparación de 146 países. Como resultado, desarrolló la Guía internacional de riesgo-país. En 1995, se formuló el Índice de Percepción de la Corrupción de Transparencia Internacional, que en 2021 se refería a 180 países; entre los rubros que mide, en el ámbito de las finanzas públicas incluye el desvío de fondos públicos, pero no cubre el fraude fiscal. También se encuentran los Indicadores Mundiales de Gobernanza del Banco Mundial.

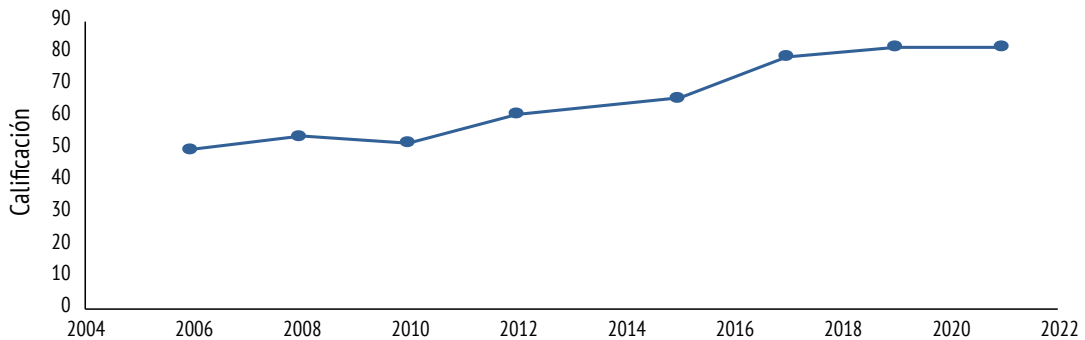
Estos índices de “primera generación” se basan en la percepción. En la actualidad, se han generado instrumentos de “segunda generación” orientados a medir lo opuesto a la corrupción como la buena gobernanza, las políticas anticorrupción y los mecanismos de rendición de cuentas. Independientemente de la metodología utilizada, todas se basan en encuestas de opinión.

Actualmente, dada la gran importancia que ha adquirido el fenómeno de la corrupción, el Centro de Excelencia para Información Estadística de Gobierno, Seguridad Pública, Victimización y Justicia de la Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito (UNODC, por sus siglas en inglés) ha encontrado un total de 140 instrumentos para medir la corrupción a nivel mundial.

MEDICIÓN DE LA TRANSPARENCIA PRESUPUESTARIA (ÍNDICE DE PRESUPUESTO ABIERTO)

En el caso de las finanzas públicas, hay una encuesta bianual que usa evidencias documentales para medir la transparencia pública presupuestaria y la rendición de cuentas, factores que pueden ayudar a evitar la corrupción. Su objetivo es generar un índice, la Encuesta de Presupuesto Abierto (OBI, por sus siglas en inglés) realizada por International Budget Partnership, implementada desde 2006. La edición de 2020 se aplicó en 120 países. En México, Fundar es la institución de la sociedad civil que se responsabiliza de la implementación de dicha encuesta.

Gráfica 1.
Índice de presupuesto abierto



Fuente: elaboración propia con datos de International Budget Partnership.

Como se constata en la gráfica 1, el primer año que se realizó la Encuesta de Presupuesto Abierto, México obtuvo una calificación promedio de 50 puntos y en 2021 mejoró dicha calificación, ya que registró 82 puntos.

El OBI es el único índice que sirve para comparar en el ámbito internacional la transparencia presupuestaria de los gobiernos nacionales. Es importante subrayar que la transparencia presupuestaria es un medio para prevenir la corrupción, pues permite que la ciudadanía conozca la actividad financiera del Estado y puede inhibir los actos de corrupción. Por tanto, es una herramienta para mejorar la gobernabilidad y reducir la pobreza.

Esta encuesta evalúa los siguientes tres aspectos: 1) disponibilidad de información del presupuesto para el público, 2) facilidad para que el público participe en el proceso presupuestario y 3) la efectividad de las instituciones encargadas de la vigilancia del proceso mencionado; es decir, la medida en que el poder legislativo vigila eficazmente el uso de los recursos públicos. Con los resultados obtenidos, se elabora un índice de presupuesto abierto en una escala de 100; cero significa nada disponible y 100 información muy abierta [International Budget Partnership, 2021].

Divide los puntajes en cinco rangos:

- a) 81 a 100, información amplia
- b) 61 a 81, información sustantiva disponible
- c) 41 a 60, información disponible limitada
- d) 21 a 40, mínima información disponible
- e) 0 a 20, poca información o nula

De esta manera, el puntaje del OBI responde a la facilidad con la que la ciudadanía puede consultar en los sitios de internet de los gobiernos y tener certeza de que dicha

información es integral y útil en los siguientes ocho documentos relacionados con el presupuesto:

- a) Los criterios generales de política económica
- b) Proyecto de presupuesto del poder ejecutivo
- c) Presupuesto aprobado
- d) Presupuesto ciudadano
- e) Informes trimestrales
- f) Revisión semestral
- g) Informe anual
- h) Informe de la auditoría superior

La encuesta también mide si la vigilancia del proceso presupuestario por parte de las instituciones de auditoría es eficaz y si se brindan oportunidades para que la ciudadanía se involucre en dicho proceso.

En la octava edición de la Encuesta de Presupuesto Abierto, México obtuvo una calificación de 82/100 puntos en transparencia fiscal (5° lugar de los 120 países evaluados). En cuanto a la evaluación de la OBI sobre la posibilidad de participación ciudadana en las diferentes etapas del proceso presupuestario, obtuvo una puntuación de 22 sobre 100, cabe mencionar que dicho puntaje es igual al promedio de la OCDE. En cuanto a vigilancia del presupuesto, obtuvo una calificación de 63/100 en total, en este caso la vigilancia legislativa alcanzó una puntuación de 56/100 y la vigilancia de auditoría 78/100 [International Budget Partnership, 2021].

CONCLUSIONES

En muchas ocasiones el ámbito de las finanzas públicas es un campo propicio para la corrupción. El desvío de los recursos públicos en beneficio de sectores privados afecta negativamente el bienestar de la población. De ahí la importancia de la transparencia, participación ciudadana y datos abiertos, herramientas fundamentales en la lucha contra la corrupción. Cabe señalar que, hasta ahora, ninguna de las estimaciones de corrupción calcula un peso específico en el ámbito de las finanzas públicas, a pesar de que medirla es útil para la economía, pues afecta la calificación de la deuda soberana [Panizza *et al.*, 2017] y las ayudas de los organismos internacionales.

Por lo que corresponde a los pilares en la lucha contra la corrupción, se puede afirmar que el uso de las tecnologías de la información ha permitido un avance en cuanto a transparencia y rendición de cuentas, que son dos componentes fundamentales del gobierno abierto. Sin embargo, aún hay tareas pendientes como la falta de homogeneidad para detectar las necesidades de información gubernamental de la

población, lo que da lugar a que su oferta no coincida con las necesidades de la población objetivo.

Respecto de la participación ciudadana, que es otro de los pilares del gobierno abierto, aún es una asignatura pendiente, pues una gran parte de la población desconoce los mecanismos para realizar una solicitud de información al gobierno; además, no confía en la información gubernamental y no sabe a qué organismo pedírsela. Otra cuestión importante es el uso de un lenguaje accesible para la población potencial.

Como se detectó en el Diagnóstico del Programa Nacional de Transparencia, se requiere conocer los medios de acceso que utiliza la población objetivo para elaborar manuales que expliquen intuitivamente el uso de las diversas plataformas informáticas para que, de esta manera, se difunda ampliamente la información pública. Además, un alto porcentaje de los sujetos obligados no tiene algún mecanismo de participación ciudadana en funcionamiento y no da seguimiento a los acuerdos alcanzados en los mecanismos de participación.

Asimismo, sobre el uso de las tecnologías de la información, la gran mayoría de los organismos garantes no cuenta con sitios de internet relacionados con encuestas, foros ciudadanos, redes sociales, comunicación y procesos de trabajo internos. Las problemáticas anteriores se vinculan tanto con la voluntad política de los organismos garantes como con la insuficiencia de recursos y capacidades institucionales existentes.

BIBLIOGRAFÍA

- ASF [2021], *Informe del resultado de la fiscalización superior de la cuenta pública*, <informe.asf.gob.mx>, consultado 16 de enero de 2023.
- Astudillo, M. y F. J. Fonseca [2019], *La corrupción y las finanzas públicas mexicanas*, Breviarios de Investigaciones Económicas, UNAM, Instituto de Investigaciones Económicas.
- Fonseca, F. J. y M. Astudillo [2021], *Instrumentos globales, regionales y locales para medir la corrupción*, Breviarios de Investigaciones Económicas, UNAM, Instituto de Investigaciones Económicas.
- IECM [2022], *Participación ciudadana*, en iecm.mx/participacionciudadana/, consultado el 2 de marzo de 2023.
- INAI [2021a], Métrica de gobierno abierto, en <<https://acortar.link/gNE5sf>>, consultado el 2 de marzo de 2023.
- INAI [2021b], Sistema Nacional de Transparencia, acceso a la información pública y protección de datos personales. Lineamientos para la implementación y operación de la plataforma nacional de transparencia, en <<https://acortar.link/xXfete>>, consultado el 9 de diciembre de 2022.

- INAI [2014], *El ABC del gobierno abierto*, en <<https://transparenciasnora.org>>, consultado el 24 de febrero de 2023.
- International Budget Partnership [2021], *Open Budget Survey*. <<https://cutt.ly/fezVX0pP>> consultado el 16 de febrero de 2023.
- MDA [2023], "Mercado digital anticorrupción", en <<https://cutt.ly/TezVCYfQ>> consultado el 15 de febrero de 2023.
- Obama, B. [2009], *Open Government Policy*, en <<https://obamawhitehouse.archives>>, consultado 7 de febrero de 2023.
- OCDE [2016], *Gobierno Abierto. Contexto mundial y el camino a seguir*, <<https://cutt.ly/QezV-VyKg>> 22 de febrero de 2023.
- ODC [2022], *Carta Internacional de Datos Abiertos*, en <<https://cutt.ly/7ezVVOAb>> consultado el 28 de febrero de 2023.
- Panizza, U.; A. R. Crespo, O. Azuara et al. [2017], *El uso de indicadores de corrupción en las calificaciones soberanas*. Banco Interamericano de Desarrollo.
- Pinho, M. F. [2020], Gobierno abierto y participación ciudadana. Algunas normas necesarias en Venezuela, *Derecho Global. Estudios sobre derecho y justicia*, 5(15), Guadalajara.
- Rose, J. [2018], "The meaning of corruption: testing the coherence and adequacy of corruption definitions", *Public Integrity*, 20(3): 220-233.
- Sartori, G. [2005], *Ingeniería constitucional comparada*. México, Fondo de Cultura Económica.
- SHCP [2022], *Presentación cuenta pública 2021*, en <<https://cutt.ly/AezVBwor>> consultado el 2 de marzo de 2023.
- Sistema Nacional de Transparencia, Acceso a la Información Pública y Protección de Datos Personales [2017], *Diagnóstico del Programa Nacional de Transparencia y Acceso a la Información 2017-2021*, <<https://goo.su/ETa2>>, consultado el 24 de febrero de 2023.
- Solimano, A., V. Tanzi y F. Del Solar [2008], *Las termitas del Estado. Ensayo sobre corrupción, transparencia y desarrollo*, México, Fondo de Cultura Económica.
- Tanzi, V. y H. Davoodi [2001], "Corruption, growth and public finances", en Jain Arvind K., *The political economy of corruption*, Nueva York, Routledge.
- Valenzuela, R. y J. Bojórquez [2016], *Modelos de implementación del gobierno abierto en México*, en <<http://biblio.juridicas.unam.mx>>.

7. Conectividad digital: un índice de acceso a las TIC por municipios, 2000-2020

Karina Garduño Maya

INTRODUCCIÓN

Conectividad es una palabra esencial en la actualidad. Conectar una computadora, *laptop*, *tablet* o un celular inteligente es una actividad muy necesaria todos los días en la dinámica de las ciudades, pero poco a poco la necesidad de conectar está alcanzando también a los sitios no urbanos. El constante desarrollo de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) marca la forma en que interactúan los individuos, la sociedad y los países, pues facilitan la búsqueda de información prácticamente en todas partes, a cualquier hora y de cualquier tipo, además de permitir una mayor agilidad en términos de trámites, comunicación, educación y casi en toda clase de actividad económica.

A nivel internacional, en la Cumbre Mundial sobre la Sociedad de la Información, celebrada en Ginebra en el año 2003, se establecieron las bases para la Declaración de principios para Construir la Sociedad de la Información. En esta declaración se señalan las dimensiones que deben tomarse en cuenta para la construcción de una sociedad de la información, así como aspectos asociados con la infraestructura para la información y comunicaciones, y el papel de los agentes regionales y nacionales. Uno de los fundamentos de gran relevancia es el de *Aplicaciones de las TIC: beneficios en todos los aspectos de la vida*, en el cual se señala:

En la utilización y despliegue de las TIC se debe tratar de generar beneficios en todos los ámbitos de nuestra vida cotidiana. Las aplicaciones TIC son potencialmente importantes para las actividades y servicios gubernamentales, la atención y la información sanitaria, la educación y la capacitación, el empleo, la creación de empleos, la actividad económica,

la agricultura, el transporte, la protección del medio ambiente y la gestión de los recursos naturales, la prevención de catástrofes y la vida cultural, así como para fomentar la erradicación de la pobreza y otros objetivos de desarrollo acordados. Las TIC también deben contribuir al establecimiento de pautas de producción y consumo sostenibles y a reducir los obstáculos tradicionales, ofreciendo a todos la oportunidad de acceder a los mercados nacionales y mundiales de manera más equitativa. Las aplicaciones deben ser fáciles de utilizar, accesibles para todos, asequibles, adaptadas a las necesidades locales en materia de idioma y cultura, y favorables al desarrollo sostenible. A dicho efecto, las autoridades locales deben desempeñar una importante función en el suministro de servicios TIC en beneficio de sus poblaciones [ONU-UIT, 2004: punto 87].

En el caso de México, el acceso a las TIC es un derecho que está establecido en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en el artículo 6º, en el párrafo tercero de la legislación vigente:¹ “El Estado garantizará el derecho de acceso a las tecnologías de la información y comunicaciones, así como los servicios de radiodifusión y telecomunicaciones, incluido el de la banda ancha e internet. Para tales efectos, el Estado establecerá condiciones de competencia efectiva en la prestación de dichos servicios.”²

De esta manera, el derecho de acceso a las TIC:

Comprende la libertad de las personas de acceder y usar eficazmente las tecnologías, navegar por la banda ancha y adquirir información de calidad por los diversos medios digitales, radiofónicos y televisivos. Asimismo, difundir cualquier contenido por los medios mencionados, interactuar y formar parte integral de la Sociedad de la Información, sin importar condiciones sociales o económicas [CNDH-INEHRM, 2015: 11].

Sin embargo, aun cuando se han dado lineamientos tanto a nivel internacional como a nivel nacional, el acceso a las TIC no es homogéneo en el territorio, pues las propias características fisiográficas del mismo pueden permitir o imposibilitar el desarrollo de infraestructura necesaria —por ejemplo, instalación de antenas para la cobertura de redes

¹ De acuerdo con el texto vigente, con la última reforma publicada en el *Diario Oficial de la Federación* el 18 de noviembre de 2022.

² De acuerdo con Cortés [2022], aunque en el gobierno de Enrique Peña Nieto se lanzó el Programa México Conectado, que pretendía dar acceso a internet en espacios públicos, con lo que se instalaron 100 000 puntos de acceso a internet de los 200 000 comprometidos, 47 % de ellos quedaron fuera de servicio en 2019 debido a la caducidad y no renovación de los contratos. Las entidades del Estado de México, Nuevo León y Tabasco fueron las más afectadas. Este programa desapareció en 2021, con la administración de Andrés Manuel López Obrador, y en su lugar se creó el Programa Internet para Todos, en el que el objetivo principal es llevar el acceso a internet al nivel de viviendas.

móviles, banda ancha fija y con fibra óptica, banda ancha móvil— para que los distintos asentamientos humanos puedan tener acceso adecuado a las TIC; en otras palabras, un buen grado de conectividad.

Cuando se trata de ciudades, se puede asumir que el grado de conectividad es muy alto en comparación con los sitios en la periferia o alejados de ella; no obstante, al interior de las ciudades pueden existir diferencias en sus localidades que marcan desigualdades digitales. Por otro lado, en los sitios no urbanos estas diferencias se acentúan por la escasa infraestructura para la cobertura de redes móviles y de banda ancha, además de que las poblaciones pueden encontrarse de forma dispersa en el territorio, lo que impide la comunicación entre los puntos de conexión debido a las distancias y tiempos de recorrido.

Por ello, la principal motivación de esta investigación es conocer cuál es el grado de conectividad en términos de acceso a las TIC en los municipios en los años 2000, 2010 y 2020. Los cortes en el tiempo fueron seleccionados en función de la información disponible, pero también porque permiten analizar fotográficamente los cambios tecnológicos más significativos en las últimas dos décadas.

REVISIÓN DE LA LITERATURA

Hablar de conectividad es hablar de brecha digital. Los esfuerzos en la literatura hablan de una brecha digital enmarcada por las desigualdades demográficas, socioeconómicas y culturales que dificultan en buena medida el acceso a las TIC y su uso óptimo. De acuerdo con Rodas [2021], la definición de brecha digital es la distancia entre las personas que tienen acceso a las TIC y quienes no. Entre los factores que propician la brecha digital se encuentran: los recursos económicos (como los elevados precios de las TIC y el costo de la inversión en infraestructura tecnológica), la geografía (en términos de las asimetrías entre ciudades y zonas rurales), la edad (las brechas digitales exponen la vulnerabilidad socioeconómica entre jóvenes y adultos), el género, la lengua (la predominancia del inglés en el ciberespacio dificulta su uso en diversas poblaciones), la educación (en términos de acceso, cobertura y calidad educativa), empleo e integridad física (las discapacidades pueden representar algunas desventajas en el uso de las TIC) [Márquez, Acevedo y Castro, 2016: 6].

Para Martínez [2021], el acceso a internet es el primer nivel en la brecha digital, porque depende de las características sociales, económicas y demográficas, pero también de la edad, el género, el grado de escolaridad, el ingreso, la etnicidad y la ubicación demográfica. En este sentido, apunta que en las zonas rurales la difusión de las TIC apenas está en las primeras fases de desarrollo, pues en el ambiente rural hay grandes dificultades para generar los servicios de telecomunicaciones debido a las características del territorio, como la topografía accidentada.

Hay que mencionar que el Instituto Federal de Telecomunicaciones presentó en 2019 un informe³ en el que se analiza quiénes usan las TIC y el uso del internet en México. En este tenor, una persona de seis años o más cuenta con una probabilidad de 65.8 % en el uso de internet. En cuanto al uso del teléfono móvil, la probabilidad es de 11.9 % y 62.2 % en el caso del teléfono móvil inteligente. Respecto al uso de redes sociales, la probabilidad es de 51.2 %; en términos de capacitación o educación por internet, la probabilidad es de 45.6 %; por otro lado, las personas de seis años o más tienen una probabilidad de realizar operaciones bancarias por internet de 9.5 %; respecto del consumo de contenidos audiovisuales de paga por internet, se tiene una probabilidad de 25.9 %, y de consumir contenidos audiovisuales por internet gratuitamente de 48.6 %; mientras que las compras por internet tienen una probabilidad de 12.9 % y las ventas por internet de 6.8 % [IFT, 2019].

Entre los esfuerzos por medir la brecha digital a nivel de entidad federativa se encuentra el trabajo de Cortés [2022], quien realizó un análisis con los datos de 2021 de la Encuesta Nacional sobre Disponibilidad y Uso de Tecnología de la Información en los Hogares (ENDUTIH), en el cual muestra que la desigualdad en el acceso a las TIC es muy grande. Chiapas y Oaxaca marcan el extremo con menor acceso, mientras que la Ciudad de México, Sonora y Baja California van a la cabeza con 80 % de los hogares con internet, computadora o celular.

Por otro lado, Arredondo [2016] menciona que la brecha digital no trata exclusivamente de acceso, sino que implica la ampliación de infraestructura de las comunicaciones, las capacidades para el aprovechamiento de las TIC y de diversas situaciones explicadas por las desigualdades económicas, sociales, individuales y contextuales. Sin embargo, entre los años 2000 y 2012 se incrementó la disponibilidad de acceso a computadoras en las viviendas, pero también el acceso a televisión de paga y telefonía celular, esta última fue de 80 %. En su análisis, configuró un Índice de Conectividad Digital (ICD) conformado por tres variables como el porcentaje de acceso a equipos de cómputo, el porcentaje de acceso a internet y el porcentaje de acceso a telefonía móvil, con lo que encuentra que los niveles de conectividad más altos están en el norte del país, pero también en la Ciudad de México y Jalisco.

También está el trabajo de Ruiz [2015], quien diseñó un índice estatal de desarrollo de las tecnologías de la información y comunicación a fin de valorar la estrategia digital nacional. Dicho índice se conformó por 25 variables agrupadas de acuerdo con sus características por: a) habilidades y capital humano para el aprovechamiento de las TIC, y b) presentación de las TIC en áreas estratégicas, utilizando la ENDUTIH 2011 y el Sistema de Información Estadística de Mercados de Telecomunicaciones (SIEMT) 2013. Sus resultados

³ Los resultados mostrados en este informe se encuentran en función de las probabilidades promedio de usar las TIC, así como la realización de actividades por internet.

apuntan a que 47 % de la población en México residía en entidades con niveles bajos y medio-bajos de desarrollo en TIC. Chiapas, Oaxaca y Guerrero tenían el menor nivel de desarrollo.

Por su parte, Martínez [2022] menciona que en el periodo 2010-2020 el acceso a las TIC se incrementó notablemente debido a las necesidades de comunicación, el uso de tecnologías en diversas actividades y la disminución de costos en los dispositivos. Dichos cambios pueden encontrarse sustancialmente en los municipios de Oaxaca, Guerrero, Yucatán y Puebla. Por ejemplo, la disponibilidad de computadora mejoró en el sureste mexicano, pero no así en términos de acceso a internet y disponibilidad de telefonía celular.

Otro de los trabajos importantes a nivel de entidad federativa es el de Micheli y Valle [2018], quienes diseñaron un índice de desarrollo de las TIC para México, basado en el índice desarrollado por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU, por sus siglas en inglés). En este índice utilizaron variables asociadas al factor de acceso (como porcentaje de hogares con telefonía fija, celular, computadora e internet), al factor de utilización de las TIC (como el porcentaje de población que utiliza internet, con conexión alámbrica e inalámbrica) y al factor de capacidades (como la tasa de alfabetización en adultos, la población con bachillerato y la población con estudios superiores). Sus resultados sugieren que Chihuahua, Guanajuato o Querétaro tienen valores bajos, mientras que Quintana Roo y Campeche tienen valores más altos. Concluyen que el desarrollo de las TIC en México no es similar al desarrollo de otras actividades económicas a lo largo del país.

Vale la pena destacar que para Oaxaca existe un gran conjunto de trabajos sobre medición de la brecha digital en sus municipios, entre los que destaca el trabajo de Rodas [2021]. Rodas realizó un informe sobre la brecha digital que hay en Oaxaca y Chiapas en el que se pone de relieve que la infraestructura requerida para la conectividad es muy débil, puesto que, aun con los esfuerzos gubernamentales no hay demasiado acceso a internet y no necesariamente es de buena calidad, además de que la mayor parte de la población no puede adquirir el servicio o los dispositivos adecuados debido a los altos costos. Además, existen otro tipo de obstáculos para el buen acceso a las TIC, por ejemplo:

Las TIC se desarrollan en idiomas que no corresponden a las realidades lingüísticas de las comunidades; las condiciones sociales adversas dificultan el acceso a las mismas, principalmente para las mujeres, y se asocia a la tecnología solamente con ciertas etapas de la vida, provocando la marginación de poblaciones que no son consideradas como productivas o actualizadas [Rodas, 2021: 11].

Además, Chávez y Sánchez [2013] desarrollaron un modelo de teoría de juegos de inversión municipal, en términos de las TIC en los municipios de Oaxaca, para analizar las decisiones municipales de inversión en infraestructura de telecomunicaciones ante

el monopolio de servicios de internet. Destaca que los municipios deben invertir en TIC “promoviendo la conectividad en las escuelas, aumentando el ancho de banda de su municipio, invirtiendo en TIC para el gobierno municipal, etcétera. La forma de TIC que seleccione un municipio implica una externalidad tecnológica (que puede ser positiva o negativa)” [Chávez y Sánchez, 2013: 149].

Desde una perspectiva histórica de políticas públicas federales, Coria, Pérez, Mendoza y Martínez [2011] realizaron un análisis de brecha y pobreza digital en Oaxaca. Los autores mencionan la importancia de la infraestructura de caminos y carreteras para el desarrollo económico de las regiones. Su análisis está basado en la disponibilidad de TIC en los hogares de Oaxaca, donde 79.5 % de sus municipios contaba con servicio de electricidad, 71.5 % con televisión, 79.1 % con radio, 39.3 % con telefonía celular, 20.6 % con telefonía fija, 14.3 % en términos de computadoras y 7.8 % en acceso a internet.

Entretanto, Márquez, Acevedo y Castro [2016] realizaron un análisis de medición de la brecha digital en las regiones de Oaxaca a partir de los coeficientes de Gini y de localización para determinar las diferencias de acceso a las TIC en los hogares. Sus resultados muestran que las regiones Valles Centrales e Istmo tienen una elevada concentración de hogares con computadora e internet, en contraste con las regiones de la Cañada, la Sierra Norte y la Sierra Sur, donde hay poca presencia de hogares con acceso a las TIC.

En la literatura también resalta la importancia de desarrollar estudios para el caso de Quintana Roo. Por ejemplo, el trabajo de Pérez *et al.* [2019], en el que se realizó un análisis de brecha digital en la comunicad de José María Morelos a partir de una adaptación del cuestionario de la ENDUTIH para 22 hogares en 2016. Los resultados apuntan a que la situación económica de los hogares impide que cuenten con computadora; sin embargo, pueden estar conectados gracias a la red de telefonía móvil, pues en la zona maya no hay disponibilidad física de líneas telefónicas y existe un prominente retraso tecnológico.

También está el trabajo de Gómez [2021], con un estudio etnográfico para comprender cómo es el aprovechamiento de las TIC y qué factores sociales influyen en la apropiación tecnológica de los estudiantes de la Universidad Intercultural Maya de Quintana Roo, donde, a pesar de las diferencias digitales que hay en la población, el incremento de celulares inteligentes es lo que ha permitido un mayor grado de conexión.

Asimismo, se encuentran trabajos para los municipios de Jalisco y Guerrero. En cuanto al primero, resalta el trabajo de Arredondo [2017], quien coincide en que las disparidades en términos de acceso a las TIC se deben en buena medida a las características sociodemográficas. En este sentido realizó un análisis sobre conectividad y desigualdad en Jalisco. En él destaca que esta entidad, a pesar de no encontrarse en los primeros sitios con disponibilidad de acceso a las TIC, sí es una entidad privilegiada. Su investigación contrasta los Índices de Conectividad Digital (IDC) y de Desarrollo Humano (IDH)

para los 125 municipios del estado y un análisis de accesibilidad a las TIC a nivel de Área Geoestadística Básica (AGEB), en los que consideró variables como las viviendas, la disposición de computadora, teléfono celular e internet.

En cuanto a Guerrero, García [2022] realizó un análisis de sus municipios en términos del acceso a internet, computadora, telefonía celular, y de cómo el poder adquisitivo y el grado de escolaridad influyen en la brecha digital. Implementó su estudio por medio del diseño de una tipificación probabilística, donde clasificó los municipios de las regiones: Norte, Tierra Caliente, Centro, Acapulco, Montaña, Costa Grande y Costa Chica.

Como se puede apreciar, la revisión de la literatura pone de manifiesto la importancia de realizar estudios que permitan medir la conectividad digital y aplicarlos especialmente a escalas espaciales pequeñas como los municipios, las localidades y las AGEB.

METODOLOGÍA

La estrategia metodológica se compone de dos etapas: a) un índice compuesto de acceso a las TIC a nivel municipal, y b) una caracterización por tamaño de localidad urbana y no urbana, de componentes de bienes y servicios asociados con las TIC, ambos analizados en tres cortes de tiempo: 2000, 2010 y 2020.

En la primera etapa el diseño del índice compuesto de acceso a las TIC tiene por objetivo incorporar las características de las viviendas que contaban con determinados bienes en cada periodo, a fin de medir el grado de conectividad. Para la elaboración del índice compuesto se utilizó la media geométrica en lugar de la media aritmética, debido a que “es más apropiada... ya que penaliza el índice cuando sus componentes no avanzan de manera pareja” [Soloaga *et al.*, 2021: 33]; es decir, que los valores muy altos de una variable en comparación con los valores muy bajos de otra quedan compensados por el esquema multiplicativo de la fórmula [Soloaga *et al.*, 2021].

De tal manera que para cada periodo se estimó un índice compuesto acorde a las variables asociadas a las TIC, de acuerdo con los datos disponibles de Censos de Población y Vivienda del Inegi:

- Índice de acceso a las TIC a nivel municipal, 2000:

$$IAT_{mun-2000} = (VPH_{RADIO} * VP_{TV} * VP_{TELEF})^{\frac{1}{3}}$$

donde VPH_{RADIO} son las viviendas habitadas que disponen de radio o radiograbadora, VP_{TV} las que cuentan con televisión y VP_{TELEF} las que disponen de teléfono.

- Índice de acceso a las TIC a nivel municipal, 2010 y 2020:

$$IAT_{mun} = (VPH_{RADIO} * VPH_{TV} * VPH_{PC} * VPH_{TELEF} * VPH_{CEL} * VPH_{INTER})^{\frac{1}{6}}$$

donde VPH_{RADIO} son las viviendas habitadas que disponen de radio o radiograbadora, VPH_{TV} las que cuentan con televisión, VPH_{PC} las que disponen de computadora personal, VPH_{TELEF} las que disponen de teléfono fijo, VPH_{CEL} las que tienen teléfono celular y VPH_{INTER} las que cuentan con internet.

Esto permite capturar los cambios dados en cada periodo y evita sesgar el análisis en términos de tomar en cuenta sólo unos cuantos elementos, por ejemplo, que se considere el mismo número de variables en el año 2000 que en el año 2020, pues en el primero sólo se contaba con tres variables, mientras que en el segundo se disponía de más y mejor información en seis variables.⁴ Por otro lado, a pesar de que todas las variables para los tres IAT se encuentran en la misma unidad de medida (viviendas), se consideró necesario reescalar las variables en un intervalo de cero a uno, previamente a la estimación del índice, con el fin de facilitar la lectura e interpretación bajo la técnica de escala lineal simple [Soloaga *et al.*, 2021: 32]:

$$X = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}$$

donde X es el valor reescalado, x_i es el valor original y $x_{\min}$ y $x_{\max}$ son los valores mínimo y máximo de la serie original.

Por otro lado, para la estratificación de los valores del índice en cada periodo se aplicó la metodología de regionalización homogénea, ya que ésta:

Tiene como finalidad principal distinguir la composición de los principales elementos económicos que integran la región y analizar el grado de semejanza entre ellos, es decir, el criterio utilizado es el de la semejanza o similitud estadística entre las variables. Se orienta a identificar los elementos económicos comunes espaciales, a diferenciarlos y agruparlos

⁴ Es importante aclarar que en algunos municipios no hay información disponible, ya sea porque no hay registros o por el principio de confidencialidad de datos que se maneja en los Censos de Población y Vivienda del Inegi. Dado que la censura o no disponibilidad de los datos se podía encontrar sólo para una variable, pero no necesariamente en el resto, en ese caso simplemente se ajustó el índice según las características del municipio, a fin de evitar que los valores en cero o faltantes, al entrar en la forma multiplicativa del índice, volvieran cero el resultado. Por ejemplo, si para un municipio en 2020 se tenían datos para cinco de las seis variables disponibles, el índice de éste se estimaba sobre cinco variables.

regionalmente. Cabe aclarar que en este análisis la homogeneidad está considerada de acuerdo con la semejanza del valor de la variable que se considere [Asuad, 2016: 277].

De tal manera que esta metodología permitió generar una tipología para los índices: mínimo, muy bajo, bajo, medio-bajo, medio, medio-alto, alto, muy alto y máximo. En la segunda etapa, simplemente se realiza una caracterización de las localidades urbanas y no urbanas, ello en función de su tamaño poblacional de acuerdo con Unikel [1978] en términos de la disposición de bienes y servicios asociados a las TIC que hay en las viviendas particulares habitadas.

RESULTADOS Y ANÁLISIS

El índice compuesto de acceso a las TIC por municipio contempla tres cortes en el tiempo: 2000, 2010 y 2020. La estimación de cada periodo depende de las variables disponibles en los Censos de Población y Vivienda (CPyV) y de los Marcos Geoestadísticos Nacionales del Inegi. Es importante considerar que en cada periodo hay variables nuevas y también conformación de municipios nuevos; no obstante, lo que interesa es medir el grado de conectividad que hay en los municipios en cada periodo y cómo estos cambios acentúan o no las desigualdades en términos de conectividad en los municipios.

En el año 2000, el Marco Geoestadístico Nacional contaba con 2 443 municipios. De acuerdo con el Censo de Población y Vivienda del año 2000, los datos disponibles para TIC corresponden a las variables *Viviendas particulares habitadas que disponen de radio o de radiograbadora* (VP_RADIO), *Viviendas particulares habitadas que disponen de televisión* (VP_TV) y *Viviendas particulares que disponen de teléfono* (VP_TELEF). Aunque vale la pena señalar que la variable *Viviendas particulares habitadas con todos los bienes* (VP_CBIENE) incluye la disposición de computadora.

Para el 2000, la elaboración del índice compuesto para medir el grado de conectividad mediante el acceso a las TIC muestra que 1 138 municipios, correspondientes al 46.6 %, contaban con un acceso mínimo a las TIC; es decir, quizá contaban con radio o televisión, pero no con teléfono o viceversa; o bien, tan sólo con alguno de los tres bienes. El 42.3 %, equivalente a 1 033 municipios, se encontraba en un perfil de tipo muy bajo; es decir, contaba con un gran número de viviendas que sólo disponían de un tipo de bien y con pocas viviendas que quizá contaban con dos de los tres bienes, y 4.5 %, correspondiente a 111 municipios, se encontraba en el nivel bajo. Estos tres intervalos dan cuenta de que, en el año de referencia, la mayor parte de las viviendas particulares habitadas no contaba con un buen grado de conectividad (mapa 1).

Por otro lado, en los intervalos medios se muestra que, en el nivel medio-bajo, se encontraron 32 municipios, correspondientes a 1.3 % del total municipal; en el nivel medio

15 municipios, equivalentes a 0.6 %; y en el nivel medio-alto se concentró 0.8 %, relativo a 20 municipios. Esto significa que tan sólo en 67 municipios se encontraban viviendas particulares habitadas donde la mayoría disponía de al menos dos de los tres bienes (mapa 1).

Mientras que en los niveles alto y muy alto se encontraron nueve municipios en cada uno, que en conjunto corresponden a 0.8 % del total municipal. En el primer nivel, los municipios encontrados en orden de importancia fueron: Guasave (Sinaloa), Córdoba, Poza Rica (Veracruz), Colima (Colima), Boca del Río (Veracruz), Nogales (Sonora), Jiutepec (Morelos), Texcoco (Estado de México) y Puerto Vallarta (Jalisco). En tanto que los municipios catalogados con un nivel de tipo muy alto en orden de importancia fueron: General Escobedo (Nuevo León), Campeche (Campeche), Salamanca (Guanajuato), Ixtapaluca, Chimalhuacán (Estado de México), Uruapan (Michoacán), Cuajimalpa (CdMx) y Santa Catarina (Nuevo León).

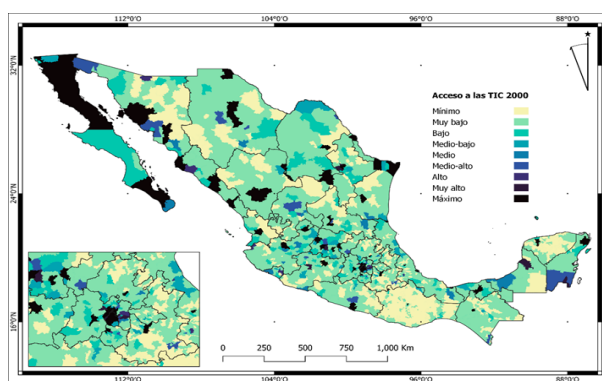
Tener un grado de conectividad máximo significa que las viviendas particulares habitadas para el año 2000 contaban con radio, televisión, línea telefónica fija e incluso computadora. En este nivel se encontraron 76 municipios, correspondientes a 3.1 % del total de los municipios, de los cuales tan sólo 20 (0.8 %) destacaron por tener índices con los valores máximos; en orden de importancia fueron: Cuauhtémoc, Benito Juárez, Tlalpan (CdMx), Tlalnepantla de Baz (Estado de México), Mexicali (Baja California), Chihuahua (Chihuahua), León (Guanajuato), Álvaro Obregón (CdMx), Naucalpan de Juárez (Estado de México), Coyoacán (CdMx), Juárez (Chihuahua), Nezahualcóyotl (Estado de México), Zapopan (Jalisco), Tijuana (Baja California), Monterrey (Nuevo León), Ecatepec de Morelos (Estado de México), Puebla (Puebla), Gustavo A. Madero, Iztapalapa (CdMx) y Guadalajara (Jalisco) (mapa 1).

Respecto al año 2010, el Marco Geoestadístico Nacional contaba con 2 456 municipios; es decir, se conformaron 13 municipios nuevos en la década. Con base en el Censo de Población y Vivienda del año 2010 [Inegi, 2010], las variables alusivas a las TIC son más, pues incorporaron bienes como la computadora, el celular y el internet. De manera desglosada las variables son: *Viviendas particulares habitadas que disponen de radio* (VPH_RADIO), *Viviendas particulares habitadas que disponen de televisión* (VPH_TV), *Viviendas particulares habitadas que disponen de computadora* (VPH_PC), *Viviendas particulares habitadas que disponen de línea telefónica fija* (VPH_TELEF), *Viviendas particulares habitadas que disponen de teléfono celular* (VPH_CEL) y *Viviendas particulares habitadas que disponen de internet* (VPH_INTER).

Los resultados arrojados por la estimación del índice compuesto para medir el grado de conectividad por disposición de las TIC considerando dichas variables muestran que 897 municipios se clasificaron en un nivel mínimo, correspondientes a 36.5 % del total municipal. Esto es indicativo de que estos sitios contaron con un gran número de viviendas

particulares habitadas que no contaban con todos los bienes para conexión, quizá sólo grabadora o televisión, sin disponer especialmente de los bienes y servicios asociados a telefonía fija, celulares, computadoras e internet. En el nivel muy bajo se catalogaron 1 206 municipios, equivalentes a 49.1 %, y en el nivel bajo se encontraron 140 municipios; es decir, 5.7 % del total de los municipios. De igual forma, estos sitios contaban con un gran número de viviendas particulares habitadas que no tenían todos los bienes relacionados con las TIC (mapa 2).

Mapa 1.
México. Acceso a las TIC en municipios, 2000



Fuente: elaboración propia con base en datos del Censo de Población y Vivienda 2000 y del Marco Geoestadístico Nacional 2000 del Inegi. Mapa procesado en QGIS 3.22.

En los niveles medios, se encontró la siguiente clasificación: en el nivel medio-bajo quedaron 51 municipios, correspondientes a 2.1 % del total de los municipios; en el nivel medio se catalogaron 28 municipios, correspondientes a 1.1 % del total municipal; y en el nivel medio-alto resultaron tan sólo 15 municipios, equivalentes a 0.6 %. Esto da cuenta de que aun en los niveles que no son de tipo alto hay una concentración de las viviendas particulares habitadas que disponían de algunos de estos bienes y servicios asociados a las TIC.

En cuanto a los sitios que concentraron los índices de acceso a las TIC más altos, se encontró que 0.6 % de los municipios tienen tipología alta; en orden de importancia son: Zamora (Michoacán), Guaymas (Sonora), Cuauhtémoc (Chihuahua), Zacatecas (Zacatecas), Altamira (Tamaulipas), Manzanillo (Colima), Chicoloapan (Estado de México), San Pedro Garza García (Nuevo León), Guadalupe (Zacatecas), Cuautla (Morelos), Boca del Río (Veracruz), San Luis Río Colorado (Sonora), Colima (Colima), Córdoba (Veracruz) y Corregidora (Querétaro). Con categoría de índices muy alto se clasificaron 41 municipios que representan 1.7 % del total de los municipios (mapa 2).

Por otro lado, los municipios con los índices con valores máximos fueron 62, que representaron 2.5 % del total, de los cuales tan sólo 16 resultaron con el mejor grado de conectividad; en orden de importancia son: Álvaro Obregón (CdMx), Hermosillo (Sonora), Mérida (Yucatán), Chihuahua (Chihuahua), Mexicali (Baja California), Nezahualcóyotl (Estado de México), León (Guanajuato), Juárez (Chihuahua), Monterrey (Nuevo León), Gustavo A. Madero (CdMx), Zapopan (Jalisco), Ecatepec de Morelos (Estado de México), Puebla (Puebla), Guadalajara (Jalisco), Tijuana (Baja California) e Iztapalapa (CdMx) (ver mapa 2).

Aunque en el periodo 2000-2010 sólo se conformaron 13 municipios nuevos, entre los intervalos del índice de acceso a las TIC se muestran algunas variaciones importantes. Los cambios más significativos se encuentran en los intervalos de tipo mínimo y muy bajo. En el primero, para el 2010 salieron de este rango 241 municipios, lo cual tuvo su compensación en el segundo, pues para ese año se incrementaron 173 municipios con valores de tipo muy bajo. Esto se debe especialmente a que en 2000 tan sólo se consideraban con acceso a las TIC las viviendas particulares habitadas que contaran con radio, televisión y línea telefónica fija, mientras que para 2010 se consideró también contar con celular, computadora e internet. En 2010 esto también provocó que en la categoría de muy alto se clasificaran 32 municipios más que en 2000, aunque en el intervalo de valores máximos se encontraron 14 municipios menos.

Para 2020 se incorporaron 13 municipios más que en 2010, lo que suma un total de 2 469 municipios registrados en el Marco Geoestadístico Nacional. De acuerdo con los Censos de Población y Vivienda 2020 [Inegi], las variables que permiten dar cuenta del acceso a las TIC son: *Viviendas particulares habitadas que disponen de radio* (VPH_RADIO), *Viviendas particulares habitadas que cuentan con televisor* (VPH_TV),⁵ *Viviendas particulares habitadas que disponen de computadora, laptop o tablet* (VPH_PC) (estas dos últimas opciones dan cuenta del avance tecnológico de los últimos 10 años), *Viviendas particulares habitadas que tienen línea telefónica fija* (VPH_TELEF), *Viviendas particulares habitadas que disponen de teléfono celular* (VPH_CEL) y *Viviendas particulares habitadas que cuentan con internet* (VPH_INTER).⁶

⁵ También se agregó en el CPyV 2020 la variable *Viviendas particulares habitadas que disponen de servicio de televisión de paga*. Esta variable no se consideró en la elaboración del índice compuesto de acceso a las TIC debido a que se asume que sólo las viviendas que disponen de televisión pueden acceder a este servicio.

⁶ Incluso en el CPyV 2020 se incorporan dos variables más cuya funcionalidad depende del internet: *Viviendas particulares habitadas que disponen de servicio de películas, música o videos de paga por internet* (VPH-SPMVPI) y *Viviendas particulares habitadas que disponen de consola de videojuegos* (VPH_CVJ). Por tal motivo, no se consideraron estas variables en la elaboración del índice compuesto de acceso a las TIC, asumiendo que sólo las viviendas que disponen de internet son las que pueden utilizar estos servicios.

Las variables descritas fueron utilizadas para la estimación del índice compuesto de acceso a las TIC a nivel municipal para 2020, cuyos hallazgos muestran que en el nivel de acceso mínimo hay 1 083 municipios, que representan 43.9 % del total municipal, pero también implica que, en comparación con 2010, hay un incremento de 186 municipios. Esto puede tener su compensación con la disminución de municipios en los intervalos medios y altos. En el intervalo de tipo muy bajo se encontraron 1 076 municipios, equivalentes a 43.6 % del total municipal; respecto de 2010, hay 130 municipios menos dentro de esta tipología. En la categoría bajo hubo 107 municipios, que representan 4.3 % del total, con una disminución de 33 municipios respecto del intervalo anterior (mapa 3).

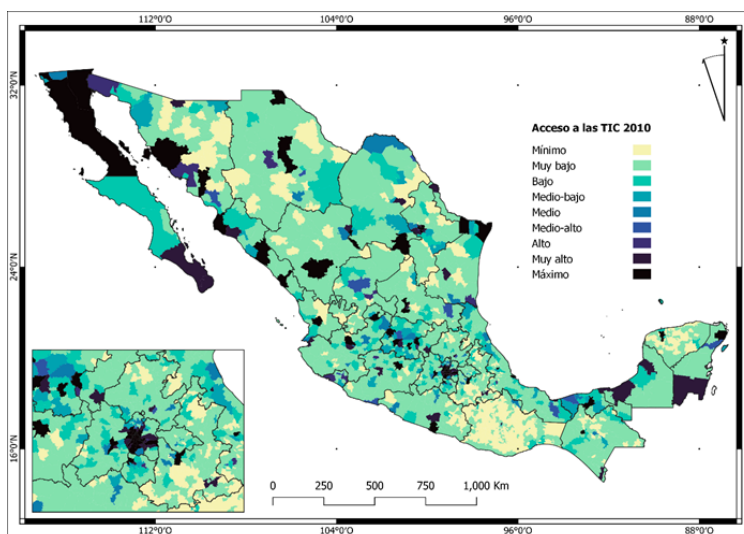
En los intervalos medios se presentó una disminución de 33 municipios para el nivel medio-bajo, donde se concentraron 40 municipios que representan 1.6 %; en tanto que en el nivel medio se encontraron 26 municipios —dos menos que en 2010—, equivalentes a 1.1 %. En el medio-alto hubo 16 municipios, correspondientes a 0.6 %, uno más que en el 2010.

Los municipios clasificados en el intervalo alto fueron 15, la misma cantidad que en 2010; en orden de importancia son: Córdoba (Veracruz), Zamora (Michoacán), San Andrés Cholula (Puebla), Villa de Álvarez (Colima), Boca del Río (Veracruz), Manzanillo (Colima), San Luis Río Colorado (Sonora), Othón P. Blanco (Quintana Roo), Poza Rica de Hidalgo (Veracruz), Piedras Negras (Coahuila), El Marqués (Querétaro), Chicoloapan (Estado de México), Tapachula (Chiapas), Cuautitlán (Estado de México) y Salamanca (Guanajuato) (ver mapa 3).

El grado de conectividad de tipo muy alto sufrió una disminución de 32 municipios, ya que solamente se clasificaron 9, correspondientes a 0.4 % del total de municipios; en orden de importancia son: Guadalupe (Zacatecas), Carmen (Campeche), Mineral de la Reforma (Hidalgo), Jiutepec (Morelos), Texcoco, Zumpango (Estado de México), Chilpancingo de los Bravo (Guerrero), San Juan del Río (Querétaro) y Altamira (Tamaulipas) (mapa 3).

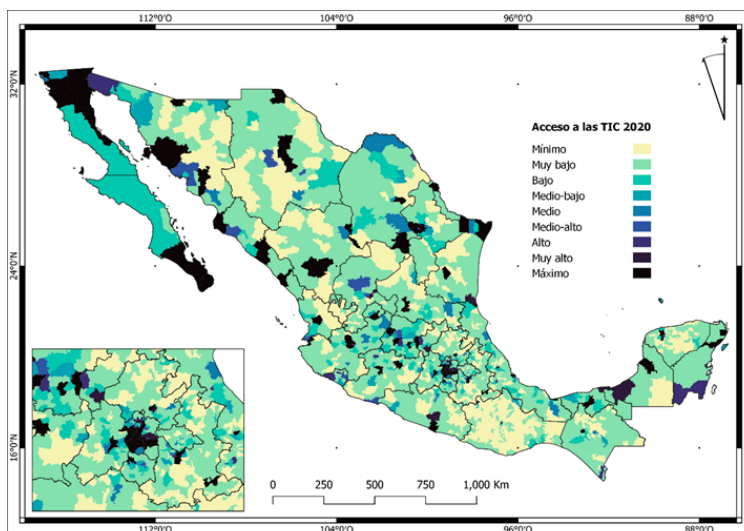
En la categoría de máximo acceso se clasificaron 97 municipios, que apenas representan 3.9 % del total municipal (35 más que en 2010). Sin embargo, sólo 18 de los 97 municipios destacan por tener el mayor grado de acceso a las TIC; en orden de importancia son: Aguascalientes (Aguascalientes), Hermosillo (Sonora), San Luis Potosí (San Luis Potosí), Mérida (Yucatán), Chihuahua (Chihuahua), Nezahualcóyotl (Estado de México), Mexicali (Baja California), Querétaro (Querétaro), Monterrey (Nuevo León), Gustavo A. Madero (CdMx), León (Guanajuato), Guadalajara (Jalisco), Juárez (Chihuahua), Ecatepec de Morelos (Estado de México), Zapopan (Jalisco), Puebla (Puebla), Iztapalapa (CdMx) y Tijuana (Baja California) (mapa 3).

Mapa 2.
México. Acceso a las TIC en municipios, 2010



Fuente: elaboración propia con base en datos del Censo de Población y Vivienda 2010 y del Marco Geoestadístico Nacional 2010 del Inegi. Mapa procesado en QGIS 3.22.

Mapa 3.
México. Acceso a las TIC en municipios, 2020



Fuente: elaboración propia con base en datos del Censo de Población y Vivienda 2020 y del Marco Geoestadístico Nacional 2020 del Inegi. Mapa procesado en QGIS 3.22.

El incremento de municipios en la categoría de acceso mínimo y la disminución en los niveles bajos y medios revela que el cambio tecnológico que incorpora más servicios de televisión de paga e internet, así como la innovación en aparatos como las *laptop* o *tablet*, acentúa las desigualdades tecnológicas, pues las viviendas que antes podían disponer de radio, televisión y línea telefónica y, por ello, ser consideradas como viviendas con grado alto de acceso a las TIC, ahora necesitan algo más como celular, *laptop* o *tablet*, así como servicios asociados con internet. Por ello, si se observan con atención los mapas 1 y 3, al realizar el comparativo se pueden encontrar varias similitudes entre los municipios.

CONCLUSIONES

Las diferencias digitales entre las regiones, las entidades federativas, los municipios o las localidades mexicanas no se asocian exclusivamente con cuestiones de tamaño y población, sino que también se relacionan directamente con las características fisiográficas de los sitios, pues éstas pueden permitir el desarrollo de infraestructura de telecomunicaciones como en las ciudades, pero en otros casos la orografía dificulta la instalación de infraestructura para el uso adecuado de las TIC, como en las zonas rurales, especialmente en las poblaciones que se encuentran asentadas en relieves altos y aislados.

Los esfuerzos en la literatura muestran la importancia de estudiar y medir la brecha digital, en los que se resalta la disposición de televisión, radio, telefonía fija y celular, computadora y acceso a internet. Pero es muy importante considerar que si bien ésta se ve reflejada en el uso de las TIC, no solamente se trata de una cuestión de acceso, sino también de infraestructura, pues es de vital relevancia que se realicen esfuerzos conjuntos entre los gobiernos estatales, municipales y locales para realmente garantizar el derecho de tener acceso a la conectividad.

En este sentido, aunque en la literatura se han presentado varios avances en la medición de la conectividad a nivel de entidad federativa, por regiones o por municipios, éstos obedecen a un corte específico en el tiempo, por lo que la metodología presentada en esta investigación permitió el diseño de un índice compuesto en términos de acceso a las TIC y su comparación en tres años censales importantes: 2000, 2010 y 2020. Su aplicación para todos los municipios del país en cada corte de tiempo ha posibilitado clasificar a los sitios de acuerdo a su grado de conectividad digital.

Por otro lado, el esquema por grupos de localidades urbanas, mixtas y rurales, de acuerdo con su tamaño poblacional, muestra las diferencias que hay entre las ciudades y las zonas no urbanas. Los hallazgos tanto en el análisis del índice de acceso a las TIC a nivel municipio como en el análisis a nivel de localidad presentan la evolución en la conexión digital y las necesidades generadas por medio del desarrollo tecnológico, pues

en 2000 bastaba con televisión y radio para tener un buen grado de conectividad digital, mientras que en 2010 se requería computadora, internet y celular; ya en 2020 hay posibilidades de conectarse desde un celular o una *tablet*; es decir, sin la exigencia de una computadora o *laptop*.

Entre las líneas de investigación que quedan pendientes a partir del presente trabajo se encuentra la elaboración de estos índices compuestos a nivel de localidades urbanas, mixtas y rurales; o bien, a nivel de Área Geoestadística Básica. Pero también hace falta complementar con una caracterización de la infraestructura existente y faltante en términos de telecomunicaciones, así como realizar investigaciones que hablen del costo-beneficio de los proyectos de inversión en TIC.

Finalmente, se requieren esfuerzos conjuntos de las autoridades locales para generar estrategias que realmente garanticen el acceso a las TIC o que por lo menos permitan tener un grado de conectividad más homogéneo en el territorio. Es de vital importancia poner atención en la infraestructura digital dentro de los territorios no urbanos y generar programas de difusión y capacitación que permitan que la población pueda comprender el uso de las tecnologías, así como incentivar su adquisición mediante apoyos.

BIBLIOGRAFÍA

- Arredondo, R. P. [2016], "El futuro del libro en la era digital: una aproximación socioterritorial al caso mexicano". *Revista TELOS (Revista de Pensamiento, Sociedad y Tecnología)*, 1-18. <<https://acortar.link/0qm2oY>>.
- Arredondo, R. P. [2017], "Conectividad y desigualdad digital en Jalisco, México". *Comunicación y Sociedad* (30): 129-165, <<https://acortar.link/qliPQ6>>.
- Asuad, N. E. [2016], *Desarrollo regional y urbano: tópicos selectos*. vol. 2. México: Facultad de Economía, UNAM.
- Chávez Ángeles, M. G. y P. S. Sánchez Medina [2013], "Las tecnologías de la información y comunicación (TIC) como recurso común. Coordinación, competencia y brecha digital en ocho municipios de Oaxaca". *Gestión y Política Pública, Temático*, 137-170, <<https://acortar.link/0NqEjl>>.
- CNDH-INEHRM [2015], *Derecho de acceso y uso de las tecnologías de la información y la comunicación*. México. CNDH-SEP-INEHRM, <<https://acortar.link/UJ8P9d>>.
- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos* [s. f.], obtenido de <<https://acortar.link/48Va8y>>.
- Coria, S. R.; M. Pérez Meza, E. Mendoza Cortés y R. Martínez Pelaéz [2011], "Brecha digital y pobreza digital en el estado de Oaxaca". *Conciencia Tecnológica* (42): 19-25, <<https://acortar.link/Beb8Tz>>.
- Cortés, L. J. [2022], "Desigualdad digital: la brecha en el acceso a las TIC entre las entidades federativas". *Nexos*, 1-8, <<https://acortar.link/Sltyvd>>.

- García, C. N. [2022], "La brecha digital como factor de vulnerabilidad y exclusión social en el Estado de Guerrero, México". *Entorno Geográfico* (23): 1-23. <doi:10.25100/eg.v0i23.11616>.
- Gómez, D. A. [2021], "Apropiación digital de tecnologías digitales por jóvenes universitarios mayas de Quintana Roo". *Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 12(23): 1-24. <doi:https://doi.org/10.23913/ride.v12i23.1055>.
- IFT [2019], *Uso de las TIC y actividades por internet en México: Impacto de las características sociodemográficas de la población (versión 2019)*. Ciudad de México, Instituto Federal de Telecomunicaciones, <https://acortar.link/TG8Qon>.
- Inegi [2023a], *Censo de Población y Vivienda*. Varios años (2000, 2010 y 2020). Obtenido de <https://inegi.org.mx>.
- Inegi [2023b], *Marco Geoestadístico Nacional*. Varios años (2000, 2010 y 2020). Obtenido de <https://cutt.ly/WezBacDO>.
- Márquez, A. M.; J. A. Acevedo Martínez y D. Castro Lugo [2016], "La brecha digital y la desigualdad social en las regiones de Oaxaca", México. *Revista Eumedet*, 1-17, <https://acortar.link/0VjQSu>.
- Martínez, D. M. [2021], "La desigualdad digital en México: un análisis de las razones para el no acceso y el no uso de internet". *Paakat: Revista de Tecnología y Sociedad*, 10(19): 1-19. <doi:https://dx.doi.org/10.32870/Pk.a10n19.519>.
- Martínez, T. Y. [2022], *Centro Latam Digital*, <https://acortar.link/JeZelx>.
- Micheli, T. J. y Z. J. Valle [2018], "La brecha digital y la importancia de las tecnologías de la información y la comunicación en las economías regionales de México". *Realidad, Datos y Espacio. Revista Internacional de Estadística y Geografía*, 9(2): 38-53, <https://acortar.link/ZUJT0b>.
- ONU-UIT [2004], *Cumbre mundial sobre la sociedad de la información*. Ginebra, <https://acortar.link/DmvSOq>.
- Pérez, G. R. E.; M. O. I. Reyes, M. Á. Becerray, D. A. Uc [2019], "Brecha digital y desarrollo regional. Estudio de caso para la zona Maya de Quintana Roo, México". *Revista Ciencia e Interculturalidad*, 24(1): 190-201. <doi:https://doi.org/10.5377/rci.v24i01.8040>.
- QGIS [2023], obtenido de <https://acortar.link/DMz3GV>.
- Rodas, J. [2021], *Brecha digital, desigualdad y desinformación: la situación de Oaxaca y Chiapas*. ARTICLE 19 - Fundación Friedrich Naumann para la Libertad, Proyecto México, <https://acortar.link/fTfrM4>.
- Ruiz, O. W. [2015], "Desigualdades entre entidades en materia de tecnologías de información y comunicación en México". *Realidad, datos y espacio. Revista Internacional de Estadística y Geografía*, 6(1): 36-49, <https://acortar.link/5pONdo>.
- Soloaga, I.; T. Plassot y M. Reyes [2021], *Caracterización de los espacios rurales en México a partir de estadísticas nacionales*. CEPAL-FIDA-IBERO, <http://ri.ibero.mx/handle/ibero/5112>.
- Unikel, L. [1978], *El desarrollo urbano en México. Diagnóstico e implicaciones futuras*. México. El Colegio de México.

Conclusiones generales

*Armando Sánchez
José Manuel Márquez*



Este primer tomo se compone de siete capítulos cuyo eje articulador es el abordaje de diferentes vértices económicos y sociales que la reciente ola de innovaciones tecnológicas y de inteligencia artificial puedan desarrollar e impactar en el país.

Los trabajos se caracterizan por su amplio contenido desde diferentes ámbitos teóricos, su enfoque analítico y su libertad crítica y de riqueza teórica y conceptual. De manera breve, se intentan plasmar las principales aportaciones, propuestas y recomendaciones de cada uno de los participantes, con la finalidad de orientar y facilitar la toma de decisiones a los hacedores de políticas del país, o bien a futuras investigaciones.

La inteligencia artificial representa un salto tecnológico que afectará el desempeño económico de las naciones y los individuos. Como todo fenómeno tecnológico, revolucionará las economías en sus distintas esferas: 1) la oferta, 2) la demanda y 3) la distribución del ingreso. Sin embargo, este cambio tecnológico puede traer consigo beneficios y perjuicios sociales y económicos, como una mayor desigualdad económica y una mayor incertidumbre financiera, por lo que se debe implementar la regulación con políticas públicas que aminoren sus impactos negativos (véase la contribución de Armando Sánchez Vargas).

A pesar de que inicialmente la innovación tecnológica aceleró el uso de la economía digital mediante diferentes plataformas para continuar el trabajo remoto, tecnologías como la inteligencia artificial, el internet de dispositivos e incluso las criptomonedas serán características fundamentales del futuro económico y social de las naciones más desarrolladas, mientras que para los países más pobres conducirán a una mayor desigualdad. Por tanto, los riesgos potenciales de estas tecnologías en muchas industrias plantean un futuro incierto, por lo que se deben tomar en cuenta todos los riesgos que esto conlleva (véase la contribución de Alicia Girón y Luis Daniel Beltrán).

Además, tomar en cuenta el desarrollo de algoritmos y aplicaciones de uso de la ciencia de datos en investigaciones científicas en el mundo y en México permite un mejor contexto sobre la implementación de recursos humanos preparados para participar activamente en la economía digital. México se ubica en cuarto lugar a nivel continental y en una posición marginal a nivel global. Las instituciones líderes en México son el Instituto Politécnico Nacional, el Tecnológico de Monterrey y la Universidad Nacional Autónoma de México. Para incrementar la participación de México en la economía digital, es imperativo incrementar la formación de recursos humanos especializados en AA e IA (véase la contribución de Jorge Méndez Astudillo).

Por consiguiente, una manera de influir en la toma de decisiones es asimilar la velocidad con la que avanza esta revolución industrial y lo que representa física, digital y biológicamente. Estos desarrollos actuales obedecen a un proceso continuo y acumulativo de construcción de bloques de conocimiento, lo que abre una era de prosperidad sin poner en discusión la liberalización de las fuerzas del capital que han caracterizado al neoliberalismo (véase la contribución de Sergio Ordóñez Gutiérrez).

Sin embargo, de acuerdo con la aportación de Uberto Salgado Nieto, Luis Fernando González Martínez y Ulises Sánchez Guerrero, el uso de tecnologías digitales e inteligencia artificial basada en procesos de aprendizaje automatizados representa una importante herramienta para que los campesinos tomen decisiones más precisas y desarrollen mejores prácticas ante los factores contextuales de las diversas regiones de México. Sin embargo, el campo mexicano se enfrenta a diferentes retos para que el sector agrícola pueda adoptar las tecnologías asociadas a la agricultura. El primero de ellos es la falta de infraestructura necesaria para impulsar mayores coberturas de los servicios digitales que garanticen el acceso y la velocidad adecuados para impulsar esas innovaciones en el campo. Además, es crucial que tales servicios se puedan ofrecer a precios asequibles que estén al alcance de todos los productores agrícolas.

Por tanto, la buena utilización de tecnología en la gestión del gobierno es fundamental para mejorar el bienestar de la sociedad. La tecnología juega un papel muy importante en el gobierno abierto porque facilita la comunicación entre el gobierno y la población. Con el apoyo de las TIC, se puede lograr la interacción entre ciudadanos y gobernantes (véase la contribución de Marcela Astudillo Moya).

Incluso la conectividad digital y la constante evolución de las TIC han propiciado que buena parte de las actividades se desarrollen por medio de ellas. Los resultados permiten observar la evolución del acceso a las TIC en los municipios, donde hay muy pocos con un grado de conexión máxima; es decir, aquéllos que cuentan con línea telefónica fija, radio, televisión, computadora, *laptop*, *tablet*, celular inteligente e internet. No todas las personas pueden lograr esta conexión debido a la falta de acceso a las TIC ya que, a su vez, su despliegue depende de la instalación de infraestructura y su buen funcionamiento, de

manera que las ciudades gozan de una considerable conexión y las zonas rurales presentan mayores problemas de acceso (véase la contribución de Karina Garduño Maya).

El aprovechamiento de la innovación tecnológica y sus nuevos horizontes, desde el punto de vista de la economía digital, requiere promover una economía basada en la inteligencia artificial que aproveche todos los beneficios y apunte hacia un nuevo modelo de desarrollo, en el que el bienestar social y económico sea el objetivo principal de los hacedores de política.



ARMANDO SÁNCHEZ VARGAS

Es licenciado en Economía por la ENEP-Acatlán de la UNAM, maestro y doctor en Economía por la Facultad de Economía de esta misma casa de estudios. Master of Arts in Economics por el Instituto Politécnico de Virginia en Estados Unidos. Recibió mención honorífica en todos sus grados académicos en México. Actualmente es Investigador Titular C de tiempo completo, adscrito al Instituto de Investigaciones Económicas de la UNAM, forma parte del SNII III. Sus líneas de investigación son pobreza, salud, cambio climático, macroeconomía y econometría. En 2011 recibió el Reconocimiento Distinción Universidad Nacional para Jóvenes Académicos en Investigación y en 2017 el Premio Universidad Nacional en Docencia. Ha publicado 47 artículos en revistas arbitradas nacionales e internacionales de alto impacto indexadas en Scopus, Thomson Reuters y JSTOR, tales como *Journal of Applied Economics*, *Climatic Change*, *Journal of International Money and Finance*, *Review of Development Economics*, *Metroeconomica*, *CEPAL Review*, *El Trimestre Económico*, entre otras. Ha escrito 23 capítulos en libros arbitrados por la UNAM y otras editoriales externas como Springer y Wiley & Sons, entre otras internacionalmente reconocidas. Es autor de dos libros, coautor en cinco y coordinador en dos más. Ha sido profesor invitado en 22 cátedras en instituciones como Leibniz University Hannover en Alemania, University of California at Berkeley en Estados Unidos, Université Paris 1 Panthéon Sorbonne en Francia, Universidad Técnica Particular de Loja en Ecuador, Universidad Nacional de Costa Rica, Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales y Cepal-ONU. En la UNAM ha impartido 161 asignaturas: 88 de licenciatura, 56 de posgrado, 12 diplomados, cinco cursos de actualización y

otros ocho en las universidades Autónoma de Chiapas, Autónoma del Estado de México, Tecnológica de Tabasco y Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, además del Mide de Banxico.

ALICIA GIRÓN GONZÁLEZ

Investigadora Emérita del Instituto de Investigaciones Económicas de la UNAM y miembro del SNI, nivel III. Desde 2017 es Coordinadora del Programa Universitario de Estudios sobre Asia y África. Dentro de sus contribuciones se encuentra la creación del Seminario de Economía Fiscal y Financiera (Semecofin) y la revista electrónica *Ola Financiera*. Cuenta con varios reconocimientos por su desempeño docente e investigación, como el Premio Universidad Nacional, la Distinción Universidad Nacional para Jóvenes Académicos y el Reconocimiento Sor Juana de Inés de la Cruz. Fue directora del IIEC-UNAM de 1994 a 2002 y editora de *Problemas del Desarrollo. Revista Latinoamericana de Economía* de 2010 a 2018. Ha participado en numerosos congresos, simposios y conferencias como moderadora, comentarista y ponente tanto a nivel nacional como internacional.

LUIS DANIEL BELTRÁN

Desde que cumplió siete años y de manera autodidacta aprendió a programar, ha sido pionero en el tema de *blockchain*. Creó *pesodigital.org*, una iniciativa liderada por ciudadanos para crear una versión completamente digital del peso mexicano. Asimismo, continúa involucrado en temas de *trading* algorítmico en el mercado de forex, futuros y criptomonedas. Experto en infraestructura y seguridad, fundó *microbit.com*, emprendimiento tecnológico enfocado en montar y administrar infraestructura de seguridad para aplicaciones y sitios web de alto tráfico. Es presidente del Nodo Zacatecas de la Red Global MX de Talentos en el Extranjero y miembro fundador del primer espacio de *co-working* en Zacatecas: Hacker Garage. Se ha desempeñado como mentor y *speaker* en múltiples eventos de *talent land*, *blockchain land*, *hackathon*, *startup weekend* y TedX. Es cofundador y co-CEO de Wemerang, una cripto-economía para el planeta, las personas y los animales, donde cualquiera puede invertir y ganar dinero movilizándolo a otros para completar desafíos sociales y ambientales. Formó parte del equipo de jurado de Guinness Record en la "lección más grande del mundo sobre criptomonedas", que se llevó a cabo en Monterrey, Nuevo León, el 7 de octubre de 2022. Ha colaborado como mentor y *advisor* en Bitgom, Somos Capital, Trackchain, Genuino Cloud, Microbit.

JORGE MÉNDEZ ASTUDILLO

Es Investigador Asociado C en el Instituto de Investigaciones Económicas de la UNAM desde marzo 2022. Obtuvo su doctorado en ciencias digitales en la universidad de Nottingham (Reino Unido) en 2020, donde aprendió a manejar grandes volúmenes de datos, así como a analizarlos usando técnicas de aprendizaje automatizado y estadística. Tiene experiencia posdoctoral en el Instituto de Geografía de la UNAM, donde usó imágenes satelitales y técnicas de análisis geoespacial para estudiar la contaminación atmosférica en las principales ciudades de México. Ha publicado al menos cinco artículos en revistas indexadas internacionales como *GeoHealth* y *IEE Transactions in remote sensing*. También ha participado en dos capítulos de libros publicados por casas editoriales de renombre como Springer y la UNAM. El perfil internacional de su formación y experiencia le ha permitido colaborar en proyectos y seminarios internacionales, tales como un proyecto de investigación en habilidades digitales en el sector energético con la Universidad de Bath, Reino Unido, o en seminarios, congresos y coloquios nacionales e internacionales. Sus principales líneas de investigación son: ciencia de datos aplicada a la economía, aprendizaje automatizado y economía digital. Sus intereses de investigación son la economía digital, la digitalización y el urbanismo.

SERGIO ORDÓÑEZ GUTIÉRREZ

Es doctor en Economía e Investigador Titular de tiempo completo adscrito al Instituto de Investigaciones Económicas-UNAM. Responsable de 10 proyectos de investigación, corresponsable de 6 y participante en 14, coordinador de varios grupos de investigación y de formación de personal especializado. También es tutor de los posgrados de Economía, Administración y Contaduría, y Estudios Latinoamericanos de la UNAM. Ha dirigido tesis de doctorado, maestría y participado en diversos comités tutorales en esos posgrados y otros. Ha impartido más de 25 seminarios de doctorado, más de 18 talleres, materias y seminarios de maestría, y más de 10 materias de licenciatura. Ha formado a más de 170 estudiantes de licenciatura como becarios y practicantes de servicio social. Ponente en más de 90 congresos y seminarios nacionales e internacionales y coordinador en más de 25. Ha participado en programas de televisión, entrevistas radiofónicas y entrevistas para boletines, así como en diversos comités de evaluación de proyectos de investigación, libros, artículos y capítulos de libro. Es autor de tres libros y coautor de siete. Ha publicado diversos capítulos y artículos en revistas especializadas. Sus líneas de investigación son: nueva fase de desarrollo histórico-espacial del capitalismo, ciclo industrial y sector electrónico-informático y de las telecomunicaciones, vías nacionales de desarrollo, aprendizaje y *catching-up*.

UBERTO SALGADO NIETO

Cuenta con el grado de doctor en economía otorgado por el Instituto de Investigaciones Económicas de la UNAM, en ese mismo instituto se desempeña como Investigador Asociado C de tiempo completo y como coordinador del Centro de Educación Continua y Proyectos de Vinculación. Sus líneas de investigación se vinculan con temas relacionados con el desarrollo económico, los mercados laborales, la migración, los estudios rurales, la sustentabilidad y el cambio climático. Actualmente desarrolla un proyecto de investigación individual sobre los medios de vida y la pobreza rural en el campo mexicano. Ha colaborado en cerca de 11 proyectos PAPIIT, uno de Conahcyt y en el proyecto “Trajectories of Social-Ecological Systems in Latin American Watersheds: Facing Complexity and Vulnerability in the context of Climate Change (TRASSE)”, investigación multinacional financiada por el Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (Conahcyt) y la Agence Nationale de la Recherche (ANR) de Francia. Derivado del desarrollo de sus líneas de investigación, ha publicado dos libros como co-coordinador, junto a la doctora Aragonés; asimismo, publicó 35 capítulos de libro y 26 artículos en revistas científicas especializadas sobre estos temas. Su amplia trayectoria en el estudio de los temas migratorios le ha valido para recibir dos invitaciones para presentar ponencias magistrales sobre esas temáticas y, además, ha presentado alrededor de 40 ponencias en eventos académicos tanto nacionales como internacionales.

LUIS FERNANDO GONZÁLEZ MARTÍNEZ

Profesor e investigador adjunto de la Facultad de Economía. Profesor titular en el Instituto de Estudios Superiores Rosario Castellanos y apoyo en la investigación en la Unión de Universidades de América Latina y el Caribe (UDUAL). Cursó estudios de especialización en economía ambiental y ecológica por el posgrado de economía, así como una maestría en economía y desarrollo sustentable. Colaborador y coautor del libro *Sistemas de gobernanza forestal en las comunidades indígenas de la Sierra Norte de Oaxaca que integran la Unión de Comunidades Productoras Forestales Zapotecas-Chinantecas de la Sierra Juárez*, así como diversos artículos de divulgación entre los que destacan: “Escenarios para la transición energética a una economía carbono neutral en América Latina y el Caribe: algunos hechos estilizados” y “El TLCAN en la agricultura de México: 23 años de malos tratos”. Entre sus líneas de investigación se encuentran: migración calificada, cambio climático, gobernanza de los recursos naturales, valoración ambiental y macroeconomía.

ULISES SÁNCHEZ GUERRERO

Licenciado en economía por la Facultad de Economía de la UNAM con especialidad en microfinanzas realizada en la Unidad de Posgrado de la misma institución. Reconocimiento Medalla Gustavo Baz Prada por compromiso social en 2016. Ha sido analista de datos y colaborador en diferentes proyectos PAPIIT y artículos de investigación en el Instituto de Investigaciones Económicas de la UNAM en temas de migración, mercados de trabajo y economía ambiental. Ha sido consultor independiente para el proyecto “TEEB AgriFood Café México-PNUD”, realizando talleres estatales, así como gestión y análisis de datos para WWF en la creación de un sistema de monitoreo de los medios de vida y resiliencia de hogares en el estado de Oaxaca, para BIOFIN México en el análisis de subsidios agrícolas con efectos en la biodiversidad y para el proyecto “Trajectories of Social-Ecological Systems in Latin American Watersheds: Facing Complexity and Vulnerability in the context of Climate Change (TRASSE)”, investigación multinacional financiada por el CONACYT y la Agence Nationale de la Recherche (ANR) de Francia.

MARCELA ASTUDILLO MOYA

Estudió la licenciatura en economía en la Facultad de Economía de la UNAM. Es maestra y doctora en administración pública por la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales de la misma universidad. En la actualidad se desempeña como Investigadora Titular C en el Instituto de Investigaciones Económicas de la UNAM. PRIDE “D” y pertenece al Sistema Nacional de Investigadores. Ha recibido, entre otros, el Premio Sor Juana Inés de la Cruz, Medalla Maestro José Luis Ceceña Gámez y Premio Universidad Nacional en el área de docencia económica administrativa. Entre sus libros destaca *Finanzas públicas para todos*, editado por Trillas. Ha enfocado sus actividades de investigación tanto en el estudio de las finanzas públicas como en la metodología de investigación documental.

KARINA GARDUÑO MAYA

Es académica de tiempo completo en el Instituto de Investigaciones Económicas de la UNAM, donde también es estudiante del Programa de Doctorado en Economía. Es docente en la Facultad de Economía de la UNAM. Obtuvo el primer lugar del Premio Anual de Investigación Económica Maestro Jesús Silva Herzog, en la versión externa edición 2020. Cuenta con participación en distintos proyectos relacionados con la identificación y caracterización de regiones económico-funcionales en México, así como análisis de clústeres con econometría espacial y estimación de impactos económicos con insumo-producto regional; asimismo ha presentado ponencias sobre mo-

delos de insumo-producto regional aplicados al análisis de impactos económicos en la Asociación Internacional de Insumo-Producto (IIOA, por sus siglas en inglés) y la Sociedad Hispanoamericana de Análisis Input-Output (SHAIO). Ha impartido diversos cursos asociados con el análisis regional con Sistemas de Información Geográfica en la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, la Universidad Autónoma de Yucatán, el Instituto Politécnico Nacional, la Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales (FLACSO, México), la Facultad de Estudios Superiores Acatlán, la Facultad de Economía y el Instituto de Investigaciones Económicas de la UNAM.

JOSÉ MANUEL MÁRQUEZ ESTRADA

Es doctor y maestro en Economía por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y licenciado en Física y Matemáticas por el Instituto Politécnico Nacional. Actualmente trabaja en la Coordinación de Análisis Macroeconómico Prospectivo del Instituto de Investigaciones Económicas de la UNAM y es profesor del Posgrado en Economía, ha impartido las materias de Microeconomía, Estadística, Economía Matemática y Matemáticas Dinámicas. Participa en los cursos de extensión "Redes aplicadas a las ciencias sociales, biología y medicina" y "R para las ciencias sociales". Como parte de su carrera académica, ha participado en diversos proyectos de investigación y de consultoría con el Gobierno de la Ciudad de México y la Secretaría de Energía, así como en grupos de investigación en temas de econometría y análisis estructural. Ha publicado en revistas especializadas como *Investigación Económica* y *Revista Mexicana de Economía y Finanzas*. Sus líneas de investigación son: teoría microeconómica, crecimiento económico, estadística aplicada, econometría y análisis estructural de la economía.