



INADI

Instituto para el Desarrollo Industrial
y la Transformación Digital A.C.

La voz
del INADI Núm. 26

Impacto de la Inteligencia Artificial en la Industria Manufacturera. El caso de México*

Claudia Schatan | octubre, 2025



I. Introducción

La industria manufacturera ha experimentado cambios radicales desde finales del siglo XX hasta los primeros años del siglo XXI, impulsados principalmente por el avance tecnológico. La digitalización y la integración de la tecnología de la información desarrolladas desde los años sesenta puede considerarse un pre-requisito para la introducción más reciente de la inteligencia artificial (IA) pues crearon la infraestructura para aplicarla, junto con el aprendizaje de las máquinas. Estas últimas tecnologías generan un valor agregado adicional a través de la extracción de información que con inteligencia computarizada puede accionar un proceso productivo con una optimización nunca antes lograda. El desarrollo en el área de IA se aceleró con la llegada de tecnologías avanzadas de computación y análisis de datos, especialmente a partir de la década de 2010, cuando se hizo posible el uso de macrodatos (o *big data*) e internet de las cosas (IoT)¹, computación en la nube, entre otras tecnologías de frontera, dando lugar a la “Industria 4.0” o manufactura inteligente, término acuñado en Alemania.² La posibilidad de traducir información de procesos físicos en formato digital permite a las empresas una gran flexibilidad y optimización de su operación en tiempo real (Abd El Hedi Gabsi, 2024).

La IA, con su evolución hacia la inteligencia artificial generativa³ (IAG) potencia las posibilidades de la industria en cada una de sus etapas de operación.

* Este ensayo formó parte del libro “Inteligencia artificial. Hacia una nueva era en la historia de la humanidad”, que fue publicado en 2025.

- 1 El Internet de las Cosas (IoT, por sus siglas en inglés) se refiere a una red de objetos físicos (“cosas”) que tienen incorporados sensores, software y otras tecnologías con el fin de conectarse e intercambiar datos con otros dispositivos y sistemas a través de Internet (pueden utilizarse en una amplia gama de productos, desde bienes electrónicos digitales de consumo, hasta el control inteligente de ciudades. El Internet Industrial de las Cosas (IIoT, por sus siglas en inglés) se enfoca en la automatización y optimización de procesos industriales, únicamente).
- 2 Término acuñado por primera vez en la Feria de Hannover, Alemania en 2011. El concepto de Cuarta Revolución Industrial, similar a la Industria 4.0, lo introdujo Klaus Schwab (fundador del Foro Económico Mundial) en 2016 (https://es.wikipedia.org/wiki/Cuarta_Revoluci3n_Industrial).
- 3 Inteligencia Artificial Generativa (IAG): se utilizan modelos extensos de lenguaje (llms, por sus siglas en inglés) para textos, y modelos de difusión de imágenes. Estos últimos son más profundos (es decir, tienen más capas de neuronas) que los anteriores, y están organizados de manera que les permiten moverse rápidamente a través de gran cantidad de datos, The Economist, <https://www.economist.com/schools-brief/2024/08/06/how-ai-models-are-getting-smarter>).

La manufactura inteligente recoge información mediante sensores colocados en las máquinas y otras partes del proceso de fabricación la cual se canaliza a través del IoT, y se procesa a través de algoritmos utilizando la IA. Ello da autonomía de decisión a sus propias máquinas y robots, reduciendo la necesidad de la intervención humana en una parte importante del proceso productivo, a la vez que economiza energía justamente por su mayor eficiencia, aunque, a su vez, indirectamente se requiere un gran consumo de energía.⁴

Con la información registrada por los sensores a lo largo de la cadena productiva –para lo cual se requiere de una muy eficiente interconectividad (con redes 5G)– se puede detectar y actuar con gran precisión e incluso antelación ante muy diferentes situaciones. Es posible prever la necesidad de hacer mantenimiento a las máquinas; evitar accidentes; ubicar defectos en el producto y corregirlos; percibir cuellos de botella, entre otros, pudiendo así actuar en forma automática y descentralizada, lo que contribuye a mejorar notablemente la productividad. A través de la digitalización y la IA, también es posible percibir los cambios en las características de la demanda de los productos en el mercado, cada vez más personalizada, lo que ayuda a incorporar en forma automática las preferencias de los usuarios en los procesos productivos.

La IA en la manufactura no se limita al ámbito de las unidades productivas de una empresa sino a toda la cadena de valor. Es decir, la IA interviene desde la etapa del diseño de un producto, el manejo de los inventarios, el proceso de transformación, la logística de transporte de insumos y producto final, los procesos de comercialización y distribución de productos. La intervención de la IA para reducir cuellos de botella en las cadenas y eliminar tiempos muertos por insuficiencia de insumos, por ejemplo, agiliza mucho el proceso productivo.

En este ensayo exploraremos, en primer lugar, las transformaciones que está experimentando el sector manufacturero de punta con la IA, cuáles son las tecnologías específicas que está asimilando esta industria a lo largo de su cadena de valor, así como sus necesidades de energía y capital humano. En segundo lugar se explora el panorama para la incorporación de la IA en la industria manufacturera en México y cuales son algunas precondiciones para un mejor aprovechamiento de esta tecnología. Por último presentaremos algunas reflexiones finales.

⁴ La IA ayuda a optimizar procesos industriales y, por tanto, reduce el consumo de energía. Por ejemplo, la optimización de procesos productivos, a través de algoritmos puede ajustarlos continuamente para minimizar el uso de energía apoyándose en el uso de información transmitida en tiempo real. Por otra parte, la IA requiere de un apoyo externo a la empresa, por ejemplo, de los centros de datos, que son crecientes consumidores de energía, en la medida en que se expande el uso de la IA. El entrenamiento de la IA requiere grandes cantidades de energía y cada vez más, cuanto más sofisticada la tecnología.

II. La IA a lo largo de la cadena de valor de la industria manufacturera:

A. IA EN EL DISEÑO DEL PRODUCTO

La IA puede dar lugar a un profundo cambio de parámetros en el diseño de los productos manufacturados. Al inicio de la cadena de valor de un determinado producto manufacturado se encuentra la etapa de diseño en la cual la IA puede ser de gran utilidad. En primera instancia, a través de algoritmos apropiados, pueden analizarse grandes volúmenes de datos de diseño para identificar patrones y proponer mejoras de diseños ya existentes. Al mismo tiempo, a través del análisis de datos y aprendizaje automático, la IA puede predecir las preferencias del consumidor y adaptar los diseños de acuerdo a ellas. Incluso, con algoritmos generativos de IA, se pueden crear múltiples versiones de un diseño basándose en criterios predefinidos (peso, resistencia, costo, etc.), lo que permite, dada la tendencia que existe a personalizar masivamente los productos, responder a las necesidades específicas de cada cliente.

En segundo lugar, una vez que se cuenta con el diseño del producto, las empresas que necesitan elaborar prototipos de éste antes de proceder a su fabricación, pueden utilizar la IA para la creación y la evaluación virtual de dichos prototipos antes de incurrir en el costo de construir un modelo físico. Ello da gran flexibilidad y ayuda a optimizar el diseño, al permitir efectuar múltiples iteraciones de éste de manera rápida y eficiente hasta llegar a una versión óptima en forma segura y fiable.

Un prototipo concebido de manera virtual da oportunidad a los diseñadores de observarlo a través de la realidad virtual (RV) en tres dimensiones dentro de un entorno inmersivo. Esto es especialmente útil para revisar detalles complejos del diseño que podrían no apreciarse en representaciones en 2D o en pantallas planas. En el mundo virtual, los diseñadores explorarán el producto en 3D desde todos los ángulos y realizarán los cambios que les parezcan necesarios. Además, varios diseñadores pueden colaborar en su concepción desde distintos lugares geográficos sin tener que estar físicamente presentes en la fábrica (Berg y Vance, 2017).

Finalmente, y en congruencia con lo anterior, en este mundo virtual (RV) se pueden probar los productos en diferentes escenarios y condiciones únicamente con el diseño antes de ser fabricados físicamente y pueden hacerlo incluso los potenciales compradores. Esto facilita a los diseñadores y a los potenciales usuarios del producto final observar cómo interactúan las personas con el producto, identificar posibles problemas de ergonomía o funcionalidad, por ejemplo, y realizar ajustes antes de la fabricación.

El desarrollo de productos de manera digital también puede implementarse mediante gemelos digitales, que son réplicas virtuales de productos

existentes⁵ que simulan todas las características de sus contrapartes físicas. El interactuar con estos gemelos virtuales puede ayudar a modificar un producto ya existente pero en un espacio virtual en forma mucho más fácil, rápida, y más segura que en el mundo físico. Esta tecnología también ha demostrado ser muy útil en el diseño de productos, entre otros usos.

B. INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA FASE DE PRODUCCIÓN

Una vez diseñado el producto como descrito en la sección anterior, la IA puede tener un rol crucial para mejorar u optimizar el funcionamiento del resto de la cadena de valor de la industria a través de varias vías. Se puede optimizar la Cadena de Suministro para el conjunto del proceso productivo a través de la IA (con base en datos históricos y otras tendencias específicas) al predecir desde un inicio cuál será la demanda del producto, lo cual orienta a las empresas a ajustar, de acuerdo a ello, el inventario en las distintas etapas de la cadena e intervenir en su proceso de producción.

III. IA y la optimización de los niveles de inventario a lo largo de la cadena de producción

La IA contribuye a hacer un análisis predictivo de la demanda que habrá por el producto elaborado y, de acuerdo a ello, los inventarios que se requerirán a lo largo de la cadena de producción. Es decir, un algoritmo de IA y, aún más uno de IAG, es capaz de analizar los datos históricos de ventas, considerando estacionalidad, tendencias del mercado, entre otras variables, lo que ayudará a la empresa a mantener los stocks de inventarios necesarios para garantizar una producción continua, sin que haya exceso o falta de insumos y partes.

Se puede, asimismo, programar el reabastecimiento automático de inventarios, ordenando la cantidad óptima de insumos o partes de acuerdo a la rotación que tienen dichos stocks, para lo cual ayuda enormemente el IoT y *Big Data* junto con la IA.

Lo anterior es congruente con el concepto de Planificación de Producción Justo a Tiempo (Just-in-Time, JIT), adoptado ampliamente en las cadenas de valor de la producción internacional hasta antes de la pandemia de 2019-2022, aunque fue re-evaluado debido a que, entonces, la escasez de inventarios estranguló muchos procesos productivos. Pero la IA puede ayudar a indicar la necesidad de inventarios, y sus lugares de almacenamiento,

⁵ Los gemelos digitales pueden aplicarse a productos, procesos manufactureros o incluso a una cadena de suministro completa.

considerando mayor holgura en la disponibilidad de ellos en las cadenas con el fin de evitar situaciones de gran escasez de insumos ante cuadros de pandemias o de eventos climáticos extremos. En principio, la IA puede ajustar dinámicamente los niveles de inventario en respuesta a cambios en tiempo real, como variaciones inesperadas en la demanda o problemas en la cadena de suministro.

En síntesis, la IA ayuda a optimizar los niveles de inventario a través de una combinación de análisis predictivo, automatización del reabastecimiento, optimización de la producción, y minimización de residuos. Se logra, así, una mayor eficiencia, la reducción de costos y la respuesta rápida de la cadena de valor a la demanda del mercado.

Más allá de lo mencionado, la IA puede contribuir a ubicar diversos proveedores de suministro de insumos, así como comparar diversas ofertas por diferentes empresas y manejar y escoger las mejores opciones para licitar, acorde con diferentes escenarios. Asimismo, puede ayudar a llevar a cabo los pagos necesarios cumpliendo con los diversos pasos bancarios y tributarios en forma automatizada.

Finalmente, al manejo de inventarios con IA, hay que agregar que la eficiencia mejora aún más con la robótica y la automatización guiada por la IA. Por ejemplo, los robots autónomos solos o en colaboración con trabajadores pueden ser usados en los almacenes en que se guardan los inventarios, para escoger, empacar y organizar los stocks en forma eficiente.

IV. La IA en el proceso de fabricación del producto

La eficiencia del proceso de transformación manufacturera puede elevarse considerablemente al usar instrumentos de IA para entrenar robots en el proceso de producción, así como para hacer un mantenimiento predictivo de la maquinaria y la supervisión de la calidad del producto, con posibilidades de corregir en forma inmediata las irregularidades que puedan detectarse en estos frentes (Deloitte, 2023). La IA en la manufactura abarca tanto el aprendizaje automático⁶ como el aprendizaje profundo.⁷

⁶ Aprendizaje automático: es "una rama de la inteligencia artificial que permite que las máquinas aprendan ciertas tareas sin ser programadas de manera específica para ellas. Para ello, utilizan estadísticas para predecir y reconocer patrones, por ello funcionan mejor en grandes conjuntos de datos." (<https://www.bbva.com/es/innovacion/machine-learning-que-es-y-como-funciona/#>).

⁷ Aprendizaje profundo: se basa en capas de las redes neuronales, que son algoritmos que asemejan el funcionamiento del cerebro humano. Este entrenamiento requiere de grandes cantidades de datos y logran mejor desempeño en la medida en que absorben más información a lo largo del tiempo.

ENTRENAMIENTO DE ROBOTS PARA LA PRODUCCIÓN MANUFACTURERA

La IA puede usarse para activar robots en el proceso de transformación productiva, en el que se analiza información para orientar y mejorar el desempeño productivo. Los robots articulados son los más usados actualmente en el mundo industrial. Tienen una estructura mecánica similar a la de un brazo humano, el cual se monta en una base de articulación rotatoria. Los algoritmos de la IA ayudan a estos robots a aprender a controlar sus movimientos y manejar los objetos en forma precisa. La información recogida y analizada en tiempo real con IA puede ser usada para informar y guiar las acciones de estos robots. Con la IA se crean sistemas manufactureros más flexibles y adaptables, capaces de manejar numerosas tareas simultáneamente y cada vez con mayor exactitud.

En la industria automotriz, por ejemplo, se usan robots en casi todas las etapas de la producción, desde la fabricación de partes hasta el ensamblaje final y se utiliza la IA para monitorear y mejorar el trabajo de los robots continuamente. La automotriz Tesla, por ejemplo, cuenta con “Gigafábricas” para automatizar el proceso de producción. Los robots controlados por IA realizan tareas como el ensamblaje de vehículos, la soldadura y la pintura con alta precisión. Estos robots están equipados con sensores y algoritmos que les permiten aprender y adaptarse para mejorar la eficiencia y la calidad de producción.⁸

MANTENIMIENTO PREDICTIVO

En cualquier fábrica, es indispensable dar mantenimiento a la maquinaria. Tradicionalmente, los enfoques respecto de esta actividad incluyen (i) “descompostura y arreglo”, que es compostura correctiva (CM, por sus siglas en inglés) y consiste en arreglar el equipo sólo después de haberse dañado y responde sobre todo a arreglos que no presentan mayores riesgos. Esta forma de reparar equipo puede significar costos significativos, incluyendo los tiempos muertos de la maquinaria mientras se realiza la reparación; (ii) cuando es necesario apearse a estándares de seguridad más severos porque hay más riesgos involucrados, el mantenimiento preventivo (PM, por sus siglas en inglés) es una estrategia más apropiada que la anterior, pues evita la ocurrencia de fallas catastróficas para el equipo industrial. Esta contempla una revisión periódica, de acuerdo a la información que se tiene sobre la durabilidad de la maquinaria y sus piezas (esto se puede conocer desde el diseño del producto). Este último enfoque de todas maneras puede

⁸ Tesla Mag (03/09/2024), <https://www.tesla-mag.com/en/tesla-gigafactories-pioneering-the-future-of-sustainable-manufacturing/#:~:text=Advanced%20Automation%20and%20Artificial%20Intelligence,faster%20and%20more%20precise%20manufacturing.>

resultar no óptimo porque requiere la interrupción del proceso productivo mientras se efectúa y podrían cambiarse piezas que posiblemente aún estén en buenas condiciones, además de desperdiciar materiales, entre otras limitaciones (Ruiz-Sarmiento, *et al*, 2024; Chao Huan, *et al*, 2024).

Alternativamente, usando IA, el mantenimiento predictivo (PdM, por sus siglas en inglés) está específicamente diseñado para orientar la acción de mantenimiento sobre la base de las condiciones de operación en tiempo real y las proyecciones que se tienen. El PdM es, por tanto, una práctica mucho más eficiente para conservar la planta en óptimas condiciones y alcanzar una máxima productividad. Haciendo uso de numerosos sensores que se colocan sobre la maquinaria y otros sitios de las instalaciones, se transmite información valiosa (temperatura, presión, humedad, vibración, etc.) a través del Internet de las cosas (IoT) en tiempo real, que se procesa por medio de algoritmos. El resultado de este proceso es una predicción oportuna respecto del momento en que podría ocurrir una falla, facilitando la decisión acerca del mantenimiento que es necesario realizar en el momento justo y reduciendo así el tiempo y el costo de estos procedimientos. Es más, al predecir un problema, el sistema de IA en la empresa puede recomendar una acción o tomar una decisión inteligente en forma automática para que se supere el problema incluso sin la intervención humana. Los mejores algoritmos –existen una gran variedad de ellos– para tomar las mejores decisiones en los momentos más adecuados son materia de discusión (Bousdekis, *et al*, 2019). El PdM también contribuye a mejorar la seguridad en la planta, con menos accidentes, así como a prolongar la vida de la maquinaria y a mejorar la calidad de los productos (pues el monitoreo reduce el número de productos defectuosos). En el caso del PdM el uso de gemelos digitales, al igual que en la etapa de diseño del producto, también pueden ser de gran utilidad, especialmente a medida que se generaliza el IoT. La realidad aumentada (RA)⁹, por su parte, que es una combinación de realidad virtual y física es sumamente útil para la compostura y mantenimiento de la maquinaria que se usa en una fábrica, pero también, por ejemplo, para el mantenimiento y reparación de los vehículos en los talleres de servicio. Es más, los técnicos o ingenieros pueden acceder remotamente a través de un dispositivo sensorial como lentes de RA para hacer diagnósticos y dirigir la reparación física de la maquinaria o vehículos desde lugares remotos.

Una visión más amplia del mantenimiento de la planta, que incluye el PdM es el de Pronósticos y Gestión de la Salud (PHM, por sus siglas en inglés), que es un “enfoque de mantenimiento de máquinas que utiliza datos de sensores históricos y en tiempo real para fundamentar y optimizar

⁹ La realidad aumentada añade elementos digitales a un entorno real, pero no es una inmersión, sino es una interacción entre lo digital y lo real.

decisiones de mantenimiento. El PHM es un enfoque integrado que combina dos conceptos clave: '*Pronósticos*: Enfoque de diseño de algoritmos para estimar la vida útil restante de sistemas o componentes. Este término a menudo se emplea como sinónimo de *mantenimiento predictivo*' y '*Gestión de la salud*: Enfoque de mantenimiento integral que aplica la información de algoritmos de pronósticos y diagnósticos, entre otros, para garantizar la salud y fiabilidad del sistema.'"¹⁰

CONTROL DE CALIDAD

Una vez que el producto manufacturado está concluido, se pasa a la etapa de inspección de su calidad y, de acuerdo a la evaluación que se haga, el producto se acepta o se rechaza. Asegurar la calidad del producto es esencial para garantizar la seguridad y salud del consumidor, así como su satisfacción con el producto que está adquiriendo. Para esta etapa se necesita una inspección visual, pero ésta a simple vista humana tiene una precisión del 80% en la industria y lograr el 100% es muy costoso, tardado y difícil. Las cámaras de alta resolución junto con algoritmos integrados (Computer Vision, CV) han ayudado a automatizar partes del proceso de inspección visual, agiliza esta etapa y permite identificar los defectos con gran precisión (Sundaran y Zeid, 2023). Nótese que la tecnología de visión computarizada también es sumamente útil para el mantenimiento predictivo antes descrito.

Cuanto más sofisticados tecnológicamente los productos de los que se trate, más importante es el CV. En la industria de semiconductores, por ejemplo, versiones muy refinadas de esta tecnología CV junto con el aprendizaje automático de máquinas detectan defectos erráticos en imágenes microscópicas de electrones y mapas de obleas de silicio, lo que resulta muy útil para poder asegurar el correcto funcionamiento de un microchip (Plathottam, *et al*, 2023).

¹⁰ Mathworks, *Pronósticos y Gestión de la Salud* (PHM), <https://la.mathworks.com/discovery/prognostics-and-health-management.html>.

V. Despacho y distribución del producto final

En esta etapa del ciclo del producto, la IA puede hacer una importante contribución para visibilizar el tiempo de entrega y optimizar la ruta de distribución (Deloitte, 2023). El acceso inmediato y detallado de información en la etapa final de la cadena de valor es esencial para reducir los riesgos de distribución y aumentar la eficiencia en entrega de los productos finales.

La IA puede optimizar la logística, las rutas de transporte y la gestión de flotas, reduciendo tiempos de entrega y costos operativos, mientras se minimiza la huella de carbono. Tradicionalmente, la logística y transporte de los productos se ha realizado manualmente, pero el uso de la IA puede indicar las vías más eficientes de distribución mediante algoritmos sofisticados para analizar diversos factores desde los puntos de despacho, los patrones de tráfico por distintas rutas, las condiciones de carreteras u otras vías de transporte, y el consumo de combustibles. Una vez en ruta, se rastrean los vehículos de transporte utilizando sensores colocados en ellos lo que permite a la industria recabar información en tiempo real a través del IoT sobre su ubicación, su velocidad y dirección, de manera que se puede responder en forma inmediata a disrupciones con un ajuste en las rutas originalmente escogidas, evitando o reduciendo retrasos u obstáculos en la fase de distribución y entrega de los productos. Adicionalmente, el análisis de mantenimiento (PdM) predictivo también ayuda en este caso a mantener la flota de transporte en las mejores condiciones a través de su monitoreo mediante sensores en tiempo real y puede realizarse el mantenimiento anticipadamente, evitando desperfectos.

La ruta emprendida por los productos en su fase final se puede agilizar considerablemente también con la automatización del procesamiento de los documentos, como parte de una logística digitalizada. Los sistemas de IA para este fin utilizan programas como Reconocimiento Óptico de Caracteres (OCR, por sus siglas en inglés) y Procesamiento Natural de Lenguaje (NLP, por sus siglas en inglés) para leer, comprender, y obtener información esencial desde documentos físicos y digitales, lo que facilita el procesamiento y la transmisión de la información, reduciendo así errores manuales y mejorando la eficiencia operacional de estos procesos.

Amazon, líder en el comercio electrónico mundial, puede ejemplificar la logística en la distribución final de productos utilizando AI. Sus algoritmos ayudan en la previsión de la demanda de productos, el manejo óptimo de stocks, sus modelos de almacenaje automatizados (en los que los robots realizan mucho del acomodo y empaqueo de las mercancías en sus bodegas). Fedex también utiliza IA para automatizar y optimizar la clasificación de sus paquetes en sus centros de acopio. Sus robots activados con inteligencia

artificial pueden clasificar hasta 1,200 paquetes por hora. También usa IA para la predicción analítica de potenciales retrasos a consecuencia de elementos disruptivos imprevistos en sus entregas, pudiendo así alertar a sus clientes.¹¹

A. LA IA, EL USO DE ENERGÍA Y LAS EMISIONES DE LA INDUSTRIA MANUFACTURERA

Varios de los instrumentos de IA utilizados en la cadena productiva de la industria manufacturera ya descritos también son de gran ayuda para racionalizar el uso de energía y reducir las emisiones de la industria manufacturera. Por ejemplo, el monitoreo y mantenimiento predictivo de maquinaria y equipo, ayuda a evitar fallas que generan emisiones no deseadas o bien desperdicio de energía. Con sensores y herramientas de visión artificial se pueden incluso detectar emisiones específicas, como fugas de metano, que pueden ser atendidas rápidamente, evitando su impacto ambiental.

Al aplicar IA y el Internet de las Cosas (IoT), se puede avanzar hacia una economía circular. La IA ayuda a rastrear y reducir las emisiones de la cadena de suministro mediante el análisis de datos de cada etapa del proceso de producción. Al identificar los puntos críticos de emisión, es posible implementar mejoras específicas, además de gestionar el reciclaje y reutilización de materiales, disminuyendo la necesidad de materias primas nuevas y reduciendo las emisiones indirectas.

Otro mecanismo mencionado anteriormente – el de gemelos digitales – puede ser una gran ayuda en el ahorro de energía en la manufactura. Estos crean simulaciones virtuales de sistemas físicos, lo que permite a las empresas probar y ajustar procesos antes de implementarlos en la realidad, y con ello optimizan el uso de recursos energéticos sin tener que realizar cambios físicos, que pueden ser costosos y menos sostenibles. Estos modelos de IA facilitan una supervisión constante y ajustes de consumo energético basados en datos, generando ahorros considerables y reduciendo el impacto ambiental.

Además, los sistemas de IA son capaces de analizar datos en tiempo real para ajustar y optimizar el uso de energía en las líneas de producción. Por ejemplo, la integración de IA con sensores IoT permite ajustar el consumo de energía en función de la carga de trabajo y las demandas del momento. Esto reduce el consumo en períodos de menor actividad o durante picos de energía renovable, lo que mejora tanto el costo como la sostenibilidad de las operaciones.

¹¹ Eliftech (11/01/2024), *AI in Logistics: How Does It Truly Transform The Field?*, <https://www.eliftech.com/insights/ai-in-logistics-explained/>

B. LA REVOLUCIÓN DE LA CAPACITACIÓN DEL CAPITAL HUMANO EN LA INDUSTRIA MANUFACTURERA CON IA

La IA en la industria manufacturera es muy útil para entrenar a los trabajadores en múltiples tipos de tareas y para ello son especialmente apropiadas las tecnologías de realidad virtual inmersiva (RV) y realidad aumentada (RA).

La RV permite simular digitalmente el espacio de trabajo en forma virtual en 360º reproduciendo en esa dimensión los equipos y herramientas para que un trabajador se pueda desenvolver plenamente en este plano imaginario. Esta tecnología permite a los trabajadores experimentar simulaciones de procesos industriales complicados sin riesgos, lo que es especialmente útil para entrenar en operaciones peligrosas o complejas, como el manejo de maquinaria pesada o líneas de producción automatizadas. Por ejemplo, los empleados pueden practicar el ensamblaje de piezas en ese entorno antes de enfrentarse a la maquinaria real, lo que reduce errores y mejora la seguridad. Los conocimientos adquiridos en forma virtual se aplican al mundo real una vez concluido tal entrenamiento.

Con la RA, por otra parte, los técnicos pueden ver instrucciones paso a paso superpuestas sobre las máquinas reales (realidad mixta) a través de gafas o dispositivos móviles. Esta visión puede ser compartida entre especialistas ubicados en distintos puntos geográficos y abre la posibilidad de interactuar a distancia para encontrar soluciones a problemas observados. Para el entrenamiento de trabajadores es especialmente útil porque éstos pueden recibir la instrucción vía remota por lo que la empresa puede tener muy buenos maestros a distancia. Empresas como Boeing y Siemens, por ejemplo, utilizan la RA para guiar y entrenar empleados en la reparación de equipos complejos. (Medium, 2021; Siemens, 2024).

Con la RV, los empleados de distintas plantas pueden entrenarse juntos en un entorno virtual común, mientras que la RA permite a expertos supervisar, entrenar y guiar a distancia a los trabajadores en tiempo real. En ambos casos, los tiempos y los costos de la capacitación se reducen considerablemente respecto a los métodos tradicionales. En Boeing, por ejemplo, se estima que se ha reducido en 75% el tiempo de entrenamiento gracias a la RA (Medium, 2021).

En pocas palabras, no hay prácticamente ninguna fase de la cadena de valor de la manufactura en la cual no se pueda aplicar la IA con resultados de aumento de la productividad.

VI. Capacidades para desarrollar la inteligencia artificial en la manufactura en México

La introducción de la IA en México es ya una realidad en diversas esferas, aunque incipiente aún, si se consideran todas las potenciales aplicaciones en la cadena de valor descritas anteriormente. En el sector manufacturero mexicano la IA se está incorporando especialmente a las empresas globales.¹²

Las condiciones para el desarrollo de la IA en México, si bien han avanzado, tienen que reforzarse, particularmente si pretende convertirse en un polo atractivo para el *nearshoring* con Estados Unidos pues muchas de las empresas que tienen intenciones o pueden sentirse atraídas para instalarse en el país necesitarían incorporar la IA en sus cadenas de valor.

Para conocer el desempeño de México en el ámbito de la IA o su grado de preparación para incorporarla, en general, utilizaremos algunos indicadores que, si bien no nos dan una visión específica de la IA en el sector manufacturero, pueden ayudar a tener un punto de referencia para este último.

Es interesante observar, en primer lugar, la capacidad innovadora de México, que se liga crecientemente con sus posibilidades de asimilar la IA. El Índice de Innovación Global (GII, por sus siglas en inglés) nos señala que México ocupa el lugar 56 entre 133 economías en el mundo y el tercer lugar entre 20 países latinoamericanos en 2024 (WIPO, 2024). Si bien México aparece teniendo un desempeño en innovación acorde con su nivel de desarrollo (PIB per cápita, PPP en escala logarítmica), su potencial podría ser mayor si se le compara con países como Brasil, India, Vietnam y especialmente China, que tienen un desempeño en innovación por encima del que se esperaría considerando sus PIB per cápita (WIPO, 2024). Según esta misma fuente, la tendencia no es alentadora para México pues la inversión en ciencia e innovación ha ido a la baja en el país, particularmente en los últimos años, incluyendo publicaciones científicas, inversiones en I&D, inversiones en capital de riesgo y en solicitud de patentes.

Al observar, más específicamente, el Índice de Inteligencia Artificial Global, que se apoya en 122 indicadores y clasifica 83 países a nivel mundial en materia de capacidad en IA, vemos que los punteros internacionales en este indicador son Estados Unidos en primer lugar, siguiéndole China, mientras que México ocupa el lugar 45, lo cual indica un reto para que el país pueda ser competitivo en este ámbito (Cuadro 1). Brasil se encuentra en el lugar

¹² La implementación de IA en manufactura implica costos elevados en equipos, software y adaptación de procesos. Las pequeñas y medianas empresas (PYMES), que representan una parte significativa del sector manufacturero mexicano, suelen carecer del capital para invertir en soluciones avanzadas. Esto se ve agravado por la falta de programas de financiamiento específicos para la digitalización industrial.

30, bastante más arriba que México. Nótese que los aspectos más débiles de la preparación de México para la IA están la investigación en IA (por parte de la academia y de la industria) (lugar 61); en infraestructura (de informática avanzada) y la producción de microchips (lugar 57). También requiere mejorar la estrategia gubernamental (lugar 47) y contar con mayor talento (lugar 42) con el fin de estar en mejores condiciones para la adopción de IA. En el entorno operativo, el país tiene un mejor ranking (20), lo que indica un marco regulatorio favorable¹³ y una actitud positiva de la sociedad hacia la IA. Cabe destacar que México está mejor situado que Vietnam (lugar 58) –competidor cercano a México en el *friend-shoring*– en la mayoría de los indicadores escogidos.

CUADRO 1 Índice de Inteligencia Artificial Global

Indicadores escogidos (capacidad para el desarrollo de la IA)*

PAÍS	RANKING	TALENTO	INFRA-ESTRUCTURA	ENTORNO OPERATIVO	INVESTIGACIÓN	DESARROLLO	ESTRATEGIA GOB.
USA	1	1	1	2	1	1	2
China	2	9	2	21	2	2	5
Rep. Corea	6	13	6	35	13	3	4
España	18	18	19	17	26	21	6
Brasil	30	26	36	28	44	29	27
México	45	42	57	20	61	40	47
Vietnam	58	49	33	70	67	58	56
Perú	61	61	52	37	81	75	60

FUENTE: Tortoise Media, The Global AI Index 2024,
<https://www.tortoisemedia.com/intelligence/global-ai/>

* INDICADORES ESCOGIDOS:

Talento: se enfoca en la disponibilidad de profesionales capacitados en soluciones de inteligencia artificial.

Infraestructura: evalúa la disponibilidad de infraestructura informática avanzada y la fabricación de semiconductores.

Entorno operativo: se centra en el contexto regulatorio y la opinión pública sobre la inteligencia artificial.

Investigación: analiza la cantidad y la calidad de la investigación académica y de la industria especializada.

Desarrollo: se centra en el desarrollo de nuevos modelos de IA y en la aplicación de la tecnología de IA en patentes en otros ámbitos.

¹³ Aunque el país no tiene aún una Estrategia para la IA oficial y hay muchas lagunas legales aún.

Estrategia Gubernamental: mide el grado de compromiso de los gobiernos nacionales con la inteligencia artificial; sopesa el gasto y las estrategias nacionales.

Al comparar a México con otros países de la región latinoamericana, a través del Índice Latinoamericano de Inteligencia Artificial de la Comisión Económica para América Latina y El Caribe (CEPAL, 2024) que analiza la situación de 19 países respecto a la IA, México se ubica en el 6º lugar, con un puntaje de 51.4 (el primer lugar lo tiene Chile con un puntaje de 73.1 y en el otro extremo está Honduras con un puntaje de 23.7). De acuerdo a este estudio, México es un país con un “ecosistema maduro y sólido” dentro de una región que se encuentra en un período de “arranque”. El punto de referencia de América Latina es poco indicativo de la ubicación de México en el mundo en cuanto a preparación para asimilar la IA, dado que la región mantiene una fuerte brecha con los países del norte global. Por ejemplo, el puntaje que alcanzan, en promedio, los 19 países de ALC para los factores habilitantes de la IA (infraestructura, acceso a datos y talento humano, sin los que no puede haber asimilación de IA) es de 43.1 en infraestructura; 35.8 en accesibilidad a datos; 39.7 en talento humano y en ninguno de estos indicadores la región, ni ningún país específico llega al máximo puntaje de 100). México está algo por arriba de los puntajes promedio en factores habilitantes, pero no en forma muy significativa: 51.0, 48.2, y 44.9, respectivamente. En el indicador de conectividad, México tiene el quinto lugar en América Latina, sin embargo el tipo de conectividad que se necesita para el uso de IA (especialmente 5G) requiere de un esfuerzo especial. Aunque México se encuentra bien ubicado en disponibilidad de 5G en el conjunto de los países de ALC escogidos por el indicador de CEPAL, no cuenta con lo necesario para un verdadero arranque en IA (como se mencionará más adelante).

Vale la pena destacar que el ILIA de 2024 (CEPAL, 2024) tiene un indicador sobre la incorporación de la IA en la Industria. Para construirlo, se usan tres subindicadores: trabajadores en sectores de alta tecnología; fabricación de tecnología mediana y alta; y proporción del valor añadido de fabricación de mediana y alta tecnología. México y Brasil aparecen con muy altos puntajes en este indicador: 96.3 y 83.8, respectivamente. Estos dos países tienen la industria manufacturera más grande, sólida y de tecnología más avanzada en la región de ALC y bien pueden ser los países en cuya manufactura penetre más fácilmente la IA, pero por ahora, se encuentra en estadios incipientes aún.

En síntesis, el informe ILIA de CEPAL (2024) indica que México necesita fortalecer la infraestructura, mejorar el talento humano en IA, impulsar la investigación, mejorar la institucionalidad y la gobernanza entre otras cosas.

A partir de ciertos elementos que destacan en los índices antes descritos analizaremos algunas condiciones que necesita México para que la industria manufactura pueda funcionar con IA en forma adecuada. Un primer punto es que la Industria 4.0 requiere de la IA para funcionar como una industria inteligente para lo cual es necesaria la disponibilidad de redes de quinta generación de la tecnología celular (5G) y México dista de contar con la infraestructura requerida (véase Cuadro 1 nuevamente). Las redes 4G, o su versión más avanzada, LTE, y el Wi-Fi (hasta ahora) son insuficientes para que la Industria 4.0 pueda operar plenamente. Las redes 5G son las que hacen posible la transmisión de información casi inmediata dentro de las empresas y con sus proveedores, es decir, ofrecen la conectividad esencial en la actual revolución tecnológica. Estas redes son las que dan las mayores velocidades de transmisión de datos, la menor latencia (o el tiempo que transcurre entre una solicitud de información a internet y su respuesta, que puede llegar a ser de un milisegundo) y el acceso a muchos más dispositivos que con las redes anteriores, lo que permite usar mucho más ampliamente el IoT. A lo anterior hay que agregar que la red 5G es más segura que sus antecesoras, pues la información se encripta en forma más sofisticada. Por último, es posible segmentar la red 5G de manera que los operadores pueden hacer uso de secciones propias, privatizadas, para fines específicos sobre una infraestructura de red común (por ejemplo, una red privada 5G puede usarse para aplicaciones de vigilancia a través de videos, o para dar soporte a los robots de una empresa, entre otros)(Schatan, 2023).

Si bien la introducción de 5G avanza en México, su pleno uso requerirá de muy importantes inversiones en infraestructura, por ejemplo, en gran número de torres y antenas, pues se necesitan más de ellas para cubrir la misma área de 4G porque las señales de 5G tienen un alcance más corto que las anteriores. Se necesita, sobre todo, subastar una considerable cantidad de espectro 5G. Ello se ha estado planeando desde 2021 (licitación IFT-12), pero se ha postergado hasta 2025, si bien la consulta previa a tal licitación ya se realizó en 2024. Se está considerando ofrecer bloques de espectro en 600 MHz, 800 MHz, Banda L, Banda AWS, 2.5 GHz, entre otras (IFT, 2024). De todas formas, no está asegurado el éxito de esta licitación pues podría ocurrir, al igual que con la licitación IFT-10 (2021), que haya una limitada adquisición del nuevo espectro por parte de las empresas debido al alto precio a las que se ofrece (que en ese entonces fue 60% más cara que el promedio mundial). Incluso ha habido devoluciones de espectro por parte de empresas como Telefónica, por no resultarles redituable (Schatan, 2023). En la licitación de 2025 el IFT tiene planeado ofrecer importantes rebajas en el precio del espectro especialmente para aquellos que no tengan concesiones anteriores, pero la definición de todo esto aun estaba en proceso a fines de 2024 (IFT, 2024).

Aún con los planes que se tienen, hay retos que no van a ser superados enteramente "...las redes de las empresas que actualmente ofrecen redes 5G hacen uso de partes de frecuencias reordenadas en las bandas ya existentes de 3.4 GHz y 2.5 GHz, que no proveen el ancho de banda que necesitan las nuevas redes 5G para operar con su máximo potencial. Es indispensable tener una mayor infraestructura en telecomunicaciones en México que ayude al despliegue de la red 5G en formato Stand Alone (SA), que es el que ofrece la velocidad de descarga máxima (requiere una infraestructura completamente nueva) en lugar de Non-Stand Alone (NSA) que funciona sobre la infraestructura de la red 4G LTE y ofrece velocidades inferiores." (Schatan 2023, pág. 33). Todo ello es crucial si se pretende que la IA pueda operar a lo largo de la cadena de valor de la industria manufacturera, como descrito en la sección 1.

Otra de las importantes limitaciones que enfrenta México para introducir la IA es que, aunque cuenta con talento en ingeniería, tiene una gran escasez de conocimiento especializado en IA, así como en ciencia de datos y otras áreas tecnológicas vinculadas a la IA. La incorporación de tecnología de punta, incluyendo la IA en el sector manufacturero, requerirá el mejoramiento de las habilidades existentes a través de la re-cualificación (*upskilling*) además del desarrollo de nuevas competencias (*reskilling*) del capital humano. La oferta de formación técnica y universitaria en IA es aún limitada en México, aunque se están introduciendo nuevas iniciativas y nuevos programas de formación vinculados a la IA, como señala un estudio reciente auspiciado por la Embajada de Gran Bretaña en México y que recaba información de varias fuentes (Ibarra, De la Peña y Santoyo, 2024). En este último se menciona la conformación reciente del Grupo de Inteligencia Artificial (GIA) para la Educación Superior. Una consulta realizada por el GIA-IES a integrantes de la ANUIES para el ciclo educativo 2022-2023, refleja una limitada oferta oficial por parte de las instituciones de educación superior (IES) en cuanto a programas específicos para la formación y especialización en IA. Todos ellos son muy recientes y, por tanto, con muy pocos egresados aún en el mercado de trabajo: en el ciclo educativo del 2022-2023 había 18 programas educativos a nivel nacional y una matrícula de 1,082 inscritos y 31 egresados en México. Oficialmente, según la misma fuente, existían los siguientes programas específicos:

2 Doctorados en Inteligencia Artificial (1 pública, 1 privada) con 15 inscritos y 0 egresados; 2 Ingenierías en Inteligencia Artificial (2 públicas) con 498 inscritos y 0 egresados; 6 Licenciaturas en Inteligencia Artificial (2 públicas, 4 particulares) 221 inscritos y 10 egresados; 8 Maestrías en Inteligencia Artificial (5 públicas, 3 particulares) con 341 inscritos y 21 egresados; 1 TSU (técnico superior universitario) en Tecnologías de la Información en el área de Inteligencia Artificial con 7 inscritos.

México, incluso dentro de la región latinoamericana aparece con una oferta muy baja de programas de maestrías en IA en universidades de ranking QS, superándolo considerablemente Uruguay, Chile, y en menor medida, Argentina, Colombia y Ecuador (CEPAL, 2024).

Otra área que requiere ser abordada para que pueda operar plenamente la inteligencia artificial en México y que ahora padece grandes lagunas, es la política pública, junto con el marco legal, institucional y regulatorio que encuadre esta tecnología. Una iniciativa específica para este fin es la Alianza Nacional de Inteligencia Artificial (ANIA), que surgió en abril de 2023 como resultado de un acuerdo de trabajo entre la Comisión de Ciencia y Tecnología de la Cámara de Senadores y la Comisión de Ciencia, Tecnologías e Innovación de la Cámara de Diputados en el Congreso Mexicano, en la que participan el sector público, el privado, la academia y la sociedad civil. El resultado de este esfuerzo –*Propuesta de Agenda Nacional de Inteligencia Artificial (2024-2030)*– se resume en el Recuadro 1 y da una visión de la enorme tarea que México necesita llevar a cabo para enfrentar el reto de la adopción y uso de la inteligencia artificial en el país.

RECUADRO 1 **Propuesta de Agenda Nacional de Inteligencia Artificial (2024-2030)**(mayo 2024). Síntesis (propia)

La propuesta de ANIA incluye recomendaciones de política pública; de regulación; de gobernanza; y de construcción de indicadores para la IA en México. **A. Las recomendaciones de Política Pública** incluyen (a) incorporación de la promoción de la IA a través de programas de política pública, como el Plan Nacional de Desarrollo (PND), la Estrategia Nacional Digital (EDN), y el Plan de Cumplimiento de las Metas de Desarrollo Sostenible 2030; (b) incorporar la IA como instrumento de educación y capacitación en mercados laborales, pero que, a su vez, capacite al capital humano en el uso de IA en sus actividades: implica el impulso de IA en los programas de educación básica, media superior y superior, así como educación continua y otros programas educativos, incluyendo la creación de habilidades de acuerdo a los requerimientos de la tecnología basada en IA; al mismo tiempo, se recomienda el incremento de I & D de tecnologías emergentes para impulsar el desarrollo; (c) fortalecer la ciberseguridad y la gestión de riesgos: propone la creación de una Ley de Ciberseguridad que incluya la capacitación y la adopción de protocolos para sistemas de protección contra ciberataques que protejan tanto al sector público como al privado; (d) aborda aspectos de género, inclusión y responsabilidad social en el uso de IA; (e) propone fortalecer la infraestructura y recolección de bases de datos: considera promover la inversión en el desarrollo de la infraestructura pública digital, incluyendo redes de telecomunicaciones, software, modelos de IA y estructuras de datos abiertos diseñadas bajo principios éticos (falta una política nacional de gobernanza de datos); (f) Innovación, investigación e industria: Buscar formas de atraer más capital a las actividades de I & D, incluyendo el campo de la IA, de forma que se alcance el 2.3% del PIB, promedio de la OCDE en I & D (pues México actualmente sólo llega al 0.3% del PIB. Contempla, entre otras cosas, el desarrollo de la investigación colaborativa a través de proyectos conjuntos entre universidades, industrias y emprendimientos de base tecnológica para avanzar en el desarrollo de la IA.

B. Recomendaciones de Regulación: Es muy amplia la regulación que se requiere para asegurar un uso adecuado de la IA en una sociedad, mucha de ella en proceso de creación o aún del todo ausente de la legislación y marco regulatorio mexicano. El ámbito de esta regulación debe abordar temas de derechos humanos; organismos certificadores de software y hardware para el desarrollo, uso y aplicación de las tecnologías basadas en IA; gestión de datos en la nube y centros de datos; regulación de la IA basada en la neutralidad tecnológica, entre otros principios; vincular las regulaciones y definiciones locales con las internacionales en materia de IA; contar con una Ley de Ciberseguridad sólida; fortalecer la protección de la propiedad intelectual en el ámbito de la operación de la IA; entre otras. **C. Recomendaciones de Gobernanza:** entre las recomendaciones más importantes de esta sección está la de integrar las atribuciones de la Coordinación de Estrategia Digital Nacional de la Presidencia de la República, y las del Centro de Investigación e Innovación en Tecnologías de la Información (INFOTEC) para crear la Agencia Digital Nacional (ADN) como organismo público descentralizado, dependiente del Ejecutivo Federal. **D. Recomendaciones de Indicadores:** se trata de medir en forma precisa los efectos positivos y negativos de la IA en México en áreas tales como economía, empleo, privacidad, y equidad. Para ello se precisa fortalecer capacidades institucionales para recabar datos confiables y generar indicadores adecuados. Entre otras cosas, se tiene la intención de generar una matriz nacional de indicadores de IA, consistente con los marcos de indicadores globales que permitan comparar el avance de México respecto a otros países en esta materia.

FUENTE: Lagunes, A. Martínez, Y., Cárdenas, C., De la Peña, S., Mancilla D., Xilotl, R., Sánchez, O., Moguel, A., Cárdenas, J. (2024), *Propuesta de Agenda Nacional de Inteligencia Artificial (2024-2030)*, disponible en ANIA, <https://www.ania.org.mx/>

Finalmente, aunque debería ser parte de las políticas públicas consideradas en la agenda de IA mencionada, la generación de energía para posibilitar el uso de la IA en la industria y específicamente en el sector manufacturero, merece especial atención. En la práctica, la disponibilidad de energía es insuficiente aún cuando el uso de la IA está en sus etapas iniciales en México y una introducción más generalizada de ella requeriría mayor disponibilidad de tal energía. A pesar de que, como ya se mencionó anteriormente, la IA ayuda a ahorrar este insumo a raíz de la mayor productividad que permite alcanzar en los procesos manufactureros, a la vez, requiere de un gran consumo de energía, indirectamente, al tener que procesar enormes cantidades de información en un creciente número de centros de datos, en los que se guarda información, se entrenan algoritmos y se aplican modelos de IA. El balance entre el ahorro y el consumo de energía por el uso de IA no está claro y difiere entre países y entre sectores productivos. Cuanto más avanzada la tecnología de IA, mayor es la cantidad de energía que requiere (esto es particularmente así para la IA generativa). Se estima que casi el 6% de la energía producida en Estados Unidos en 2026 se estará destinando a los centros de datos (en 2022 era el 4.5%) (WEF, 2024). Puede haber un ahorro significativo en el uso de energía por parte de la operación de IA, por ejemplo, usando chips ultra modernos, pero la capacidad de obtener y aplicar tecnología de última generación no está a la mano para todos los países ni para todos los sectores. Los requerimientos de electricidad por parte de la planta industrial en México ha estado creciendo a pasos agigantados debido a la multiplicación de los parques industriales y a la mayor necesidad de energía asociada al aumento de la producción (y, probablemente, el tipo de producción). De acuerdo a la Asociación de Parques Industriales Privados (AMPIP), en 2019 se tenían registrados 273 parques, mientras en 2022 había 432 y al mes de octubre de 2023, 460, y este ritmo había aumentado considerablemente en 2024 (especialmente en la franja norte del país) (SiiLa, 2023). La Norma Mexicana de Parques Industriales NMX-R-046-SCFI-2025 determina que el suministro mínimo debe ser de 150 kVAs por cada 10,000 m² ¹⁴, pero la misma fuente indica que el 38% de 144 plantas industriales evaluadas no tenían esa disponibilidad de energía. Las perspectivas de crecimiento era de 9% en plantas industriales entre 2023 y 2025, por lo que la necesidad de electricidad será aun mayor.

El proyecto de aumento de energía eléctrica por parte del Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional (PRODECEN) era de 2.5% anuales entre 2023 y 2037, lo que es ya insuficiente para satisfacer la demanda de

14 kVA: "cantidad total de Fuerza que un dispositivo consume. Se calcula multiplicando el voltaje (la intensidad de la Fuerza) por la corriente (la velocidad del flujo)." (Vogar, <https://vogar.com.mx/blog/que-significan-los-kva-de-un-regulador>)

este sector en expansión. Un documento del IMCO que alude al programa más reciente –*Prodesen 2024-2038: El sistema eléctrico mexicano*– da indicios adicionales de las limitaciones en la generación de energía eléctrica en el país ya que señala que entre 2022 y 2023 la demanda eléctrica creció 3.5%, mientras que la capacidad de generación se incrementó únicamente 0.6%. El problema es particularmente agudo en las regiones con mayor crecimiento de la demanda energética y con poca infraestructura eléctrica como es el caso de la península de Yucatán.

El problema no es únicamente la generación de energía insuficiente sino también la calidad de esa energía en términos ambientales. El documento de IMCO mencionado apunta a que la generación limpia de energía está lejos de los propios objetivos de México en materia de transición energética, ya que su compromiso en el Acuerdo de París, e incluido en su legislación nacional, era alcanzar el 35% de energía generada a partir de fuentes limpias en 2024, pero este porcentaje sólo llegaba a 24.3% en 2023 (incluyendo generación distribuida). La meta de llegar al 43% de energía limpia en el total para el 2030 acordada por México se ve aún más difícil de cumplir. Nótese que este puede ser un desincentivo para las inversiones en el sector manufacturero, no sólo porque la energía parece escasear, sino también porque las compañías globales tienen compromisos de utilizar energía limpia para introducir sus productos a buena parte del mercado internacional. Si el uso de IA aumenta la presión en la demanda por energía, ésta también lo hará por energías limpias.

En la práctica, existen ejemplos de diversas empresas manufactureras operando en México que ya usan la IA en sus procesos. Entre éstas pueden mencionarse la empresa **Nemak**, un proveedor líder mundial de componentes de aluminio para la industria automotriz, que utiliza la IA especialmente para control de calidad, mantenimiento predictivo y optimización de procesos para mejorar la eficiencia y la calidad del producto. **Grupo Bimbo**, una de las empresas de panadería más grandes del mundo con operaciones en México, cuenta con IA en sus instalaciones de producción para optimizar las operaciones de la cadena de suministro y mejorar la eficiencia de la producción. La IA se utiliza para la previsión de la demanda, la gestión del inventario y la optimización de rutas. **Cemex**, una empresa global de materiales de construcción con sede en México, ha adoptado la IA para el mantenimiento predictivo en sus plantas de fabricación de cemento. Al analizar los datos de los sensores y equipos, Cemex puede predecir las fallas de los equipos y programar el mantenimiento de manera proactiva para minimizar el tiempo de inactividad. **Grupo Modelo**, un productor de cerveza líder en México y parte de Anheuser-Busch InBev, utiliza la IA en sus procesos de elaboración de cerveza para optimizar la producción y el control de calidad. Se utilizan algoritmos de IA para supervisar los procesos de fermentación,

analizar datos y realizar ajustes en tiempo real para la eficiencia de la elaboración de la cerveza.¹⁵

La industria automotriz es muy fuerte en México y sigue atrayendo nuevas inversiones. En los últimos dos años, a nivel mundial, este es el sector manufacturero en el cual más se ha acelerado la inversión en la IA, según un estudio reciente de IBM (IBM, 2023). Dentro de la industria manufacturera mexicana, la industria automotriz es la que, por ahora, más aplica la inteligencia artificial en su producción tanto para la optimización de la cadena de suministro, la planificación de producción, como en la detección temprana de fallas en vehículos. Una de las mayores fábricas automotrices en México, **Nissan** en Aguascalientes, utiliza la IA para optimizar las líneas de producción. Esta planta, una de las más grandes de Nissan en todo el mundo, emplea algoritmos de IA para gestionar robots de montaje, predecir las necesidades de mantenimiento y mejorar la eficiencia en las tareas de producción. Los automóviles mismos son cada vez más inteligentes: los vehículos pueden percibir, razonar y tomar decisiones, a través de la integración de sistemas electrónicos y algoritmos de aprendizaje automático. Ello permite al vehículo procesar grandes cantidades de datos y tomar decisiones en tiempo real.¹⁶

En una encuesta reciente (2024) a 87 líderes de la industria manufacturera en México (automotriz, industrial, electrónico, aeroespacial, productos médicos, farmacéutica, textil, bienes de consumo, etc.), realizada por KPMG (KPMG, 2024), al preguntárseles sobre el uso de IA en sus empresas, 35% consideró que será crucial su adopción a largo plazo, 29% a mediano plazo y 18% a corto plazo. Los propósitos de adopción, de mayor a menor importancia fueron: la optimización o reducción de costos: 73%; la ciberseguridad: 57%; gestión de la cadena de suministro: 55%; toma de decisiones basadas en datos: 55%; Mejorar la experiencia de clientes y proveedores: 45%. El tema de la IA, entonces, está empezando a penetrar en la industria manufacturera mexicana y ya está en las estrategias tecnológicas de las empresas, especialmente de las grandes.

Es necesario considerar que probablemente la tecnología de punta que utiliza IA se irá adoptando a una mayor velocidad en México no sólo porque está penetrando en la manufactura mundial, como se describió en la primera parte de este capítulo, sino porque, además, dentro del contexto geopolítico internacional, el país está atrayendo inversiones en la industria de tecnología de frontera. Existe un esfuerzo importante de desacoplamiento entre Estados Unidos y China que se manifiesta, entre otras cosas, en una

¹⁵ Los ejemplos de empresas manufactureras que utilizan IA en México se obtuvieron mediante el uso del programa de GPT-4 de OpenAI. Consultado durante octubre de 2024.

¹⁶ Misma fuente, GPT-4, citada para otras empresas mexicanas que usan AI.

política comercial agresiva por parte del primer país para evitar ser desplazado por el segundo en la producción de la industria tecnológicamente más avanzada.

Más allá de las empresas manufactureras que ya tienen presencia importante en México, dentro de la gama de empresas que buscan reubicarse o expandir su producción en territorios amigables para Estados Unidos, destaca la industria de semiconductores, especialmente protegida por Estados Unidos para evitar la transferencia de tecnología de los chips de última generación a China (Schatan, 2024). Ya hay señales de interés en este sentido por parte de grandes empresas globales, como por ejemplo las inversiones planeadas por la empresa taiwanesa Foxconn (Forbes, 21/10/2024), anunciadas a principios de octubre de 2024, y que sería la mayor planta del mundo para ensamblar los superchips GB200 de Nvidia (empresa estadounidense), un componente clave de la plataforma informática de próxima generación (esencial para la operación de la IA) de la familia Blackwell. Esta empresa productora de los chips muy avanzados requeridos para operar la IA, a su vez necesita de la IA para el funcionamiento de sus empresas en México.

Si bien México ya produce semiconductores, su presencia es aún limitada en esta industria y, siendo un gran consumidor de estos dispositivos, por ser pieza clave en muchos de sus productos de exportación (automóviles, productos electrónicos, dispositivos médicos, etc.) tiene un déficit comercial importante en este rubro. Su potencial para convertirse en un importante productor de chips para surtir sus propias empresas manufactureras, así como un relevante exportador de chips sofisticados especialmente a su vecino del norte, aprovechando su ubicación geográfica, y algunas otras ventajas con las que cuenta, como mencionado, es prometedor. En la cadena de valor de semiconductores –diseño, fabricación y ensamblaje de componentes electrónicos– México tiene las mayores posibilidades de incorporarse a la última fase de la cadena de valor (aunque ya cuenta también con algunas actividades en diseño). Esta etapa –empaquetado y pruebas de semiconductores (OSAT, por sus siglas en inglés)– es el más intensivo en mano de obra en la cadena de producción, pero el uso de IA en ella es creciente y muy importante, por lo cual se necesita contar con la infraestructura necesaria para ello. De hecho, los proveedores de OSAT están incorporando cada vez más tecnologías avanzadas en sus procesos de integración de semiconductores. Entre otras cosas, usan IA y aprendizaje de las máquinas para optimizar los procesos de prueba, mejorar la detección de defectos y afinar el control de calidad en la fabricación de semiconductores.¹⁷

¹⁷ Medium (29/07/2024), *The Role of OSAT in Advancing Semiconductor Technology*, <https://medium.com/@abhi.knp82/the-role-of-osat-in-advancing-semiconductor-technology-5c299847e733>

En síntesis, el sector manufacturero de México comienza a estar familiarizado con la utilidad que les pudiera significar el uso de IA en muy diversas operaciones de sus empresas. Ya hay numerosos ejemplos de empresas, especialmente las globales, que utilizan en sus operaciones la IA en el país y hay perspectivas de importantes nuevas inversiones o la ampliación de las existentes en sectores que realmente requieren adoptar de la tecnología inteligente y que forman parte de la ola de inversiones que están llegando en el marco del *nearshoring*. Los desafíos para el país son grandes dado su rezago en varias capacidades que se necesitan para hacer posible el uso creciente y eficiente de la IA: la formación de capital humano, la I&D en este campo, la disponibilidad de energía eléctrica suficiente y progresivamente más limpia, el marco legal y regulatorio capaz de ordenar y garantizar el uso seguro de la IA para todas las partes involucradas, entre otras.

VII. Reflexiones finales

En este capítulo hemos hecho un análisis de cómo la introducción de la IA está revolucionando toda la cadena de valor de la producción manufacturera, especialmente de la Industria 4.0, y hasta qué punto puede transformar cada etapa de dicha cadena, desde aquella del diseño del producto hasta la distribución final de éste, pasando por el proceso mismo de fabricación, el manejo de inventarios, el mantenimiento de la maquinaria y el control de calidad del bien producido. En buena parte de este proceso, la IA permite alcanzar niveles de productividad sin precedentes y conseguir un grado de precisión del que los humanos por sí mismos no son capaces, o bien, requieren de muchos más recursos que si se apoyan en la IA. El uso de esta tecnología, sin embargo, trae aparejado una serie de retos muy grandes como el gran uso de energía que implica, las emisiones vinculadas a ella (dependiendo de qué tan limpias o sucias son las fuentes que la generan), además de requerir de capital humano, actualmente escaso, para operar esta nueva tecnología (aunque la propia IA proporciona herramientas de formación y capacitación que pueden ser extraordinariamente útiles en las empresas en que las aplican). A ello hay que agregar elementos, que no se trataron explícitamente en el trabajo, como la gran necesidad de inversiones que el introducir la IA requiere en maquinaria, equipo y capacidad computacional en las empresas (o en centros de datos en este último caso) y que no está al alcance de todas las empresas ni de todos los países, especialmente de aquellos en vías de desarrollo.

Se analizó específicamente las posibilidades de México de adoptar la IA en su sector manufacturero. Se argumentó que las posibilidades del *nearshoring* a raíz de las tensiones geopolíticas internacionales pueden favorecer

la expansión de la industria 4.0, como el sector automotriz, el electrónico, y el de semiconductores específicamente, para lo cual se necesita estar mucho mejor preparados para la asimilación de la IA que lo que está el país actualmente. Aún cuando México se posiciona favorablemente en algunos indicadores para la adopción de IA en ALC (CEPAL, 2024), esta región está en general bastante atrasada respecto de lo que se necesita en infraestructura, capital humano, y varios otros elementos indispensables para el funcionamiento de la manufactura de última generación. Si bien la información estadística es escasa para obtener una idea precisa de la capacidad de asimilación de la IA por parte del sector manufacturero mexicano, varios indicadores sugieren que el país necesita tener una mejor preparación en diversos frentes: destacan la necesidad de una infraestructura de comunicación digital más desarrollada, incluyendo el contar con suficientes redes 5G de óptima calidad de manera que pueda funcionar la IA en la industria manufacturera que la requiera. También se necesita dar un impulso a la educación en todos los niveles, que prepare el capital humano para esta nueva era productiva –de las empresas inteligentes– en la cual México está incurriendo, pero que aún está lejos de lograr. Asimismo, considerando la gran ampliación de las plantas industriales que se está percibiendo y las inversiones extranjeras que se están ya registrando o anunciando, los sectores manufactureros de tecnología de última generación requieren de una serie de insumos indispensables como energía (creciente y cada vez más limpia) y agua, además de un ambiente de seguridad jurídica y pública.



Claudia Schatan
**Especialista en temas económicos. Consejera del Instituto para el
Desarrollo Industrial y la Transformación Digital (INADI)**

OCTUBRE 2025