

<https://doi.org/10.23913/ricea.v12i24.208>

*Artículos Científicos*

## **Impacto de la tecnología en la generación de la industria 4.0 en las pymes: estudio diagnóstico en empresas de la Ciudad de Puebla**

***Impact of technology on the generation of Industry 4.0 in SMEs: Diagnostic study in companies of the City of Puebla***

***Impacto da tecnologia na geração da indústria 4.0 nas PMEs: estudo diagnóstico em empresas da cidade de Puebla***

**Sergio Raúl López Nieto**

Centro de Estudios e Investigaciones para el Desarrollo Docente A. C., México

[ing.sergio.raul@gmail.com](mailto:ing.sergio.raul@gmail.com)

<https://orcid.org/0000-0001-9762-8109>

### **Resumen**

La creciente tendencia en innovación tecnológica, la implementación de nuevos modelos de manufactura y la generación de técnicas de producción eficientes han provocado que se incluya en el siglo XXI el término *industria 4.0*, aspecto clave en las pymes mexicanas, las cuales representan el 98 % de unidades económicas. En esta investigación, por tanto, se analizó la influencia de la tecnología —específicamente del internet de las cosas, la inteligencia artificial y los gemelos digitales— en las pymes establecidas en el municipio de Puebla (México) con el objetivo de determinar el alcance que estos elementos tienen en los rubros de competitividad e implementación. Para ello, se utilizó un diseño de investigación no experimental transversal, ya que ninguna de las variables se manipuló y se midieron en un único momento.

El estudio tuvo un nivel correlacional que asoció las variables *industria 4.0* y *tecnología*, y tuvo un carácter explicativo porque presentó un entendimiento sobre el fenómeno examinado. Dentro de los principales hallazgos se detectó que la tecnología tiene una influencia relevante en la generación de la industria 4.0, en específico en los aspectos de las condiciones operativas, que comprenden infraestructura tecnológica y aplicación e

implementación de tecnologías inteligentes. En cambio, las técnicas avanzadas de producción tienen limitada influencia en el mencionado concepto, pues solo se implementan en los procesos de transformación de insumos en productos terminados.

**Palabras clave:** industria 4.0, tecnología, pymes.

## Abstract

The growing trend in technological innovation, the implementation of new manufacturing models and the generation of efficient production techniques have caused the term Industry 4.0 to be included in the 21st century, a key aspect in Mexican SMEs that represent 98% of economic units, if they want to increase their competitiveness and productivity. In this research, the influence of technology was analyzed, under the headings of the internet of things, artificial intelligence and digital twins, in the generation of Industry 4.0 in SMEs established in the municipality of Puebla, with the objective of determining the scope that these elements have in the areas of competitiveness and implementation. A cross-sectional non-experimental research design was used since none of the variables were manipulated during the study and they were measured at a single moment.

It had a correlational level that associated the Industry 4.0 and technology variables, and it had an explanatory character because it presented an understanding of the phenomenon studied. Among the main findings, it was detected that technology has a relevant influence on the generation of Industry 4.0, in aspects of the operating conditions that include technological infrastructure and the application and implementation of intelligent technologies. While advanced production techniques have limited influence on the aforementioned concept, in the sense that it is only implemented in the use of technology in the processes of transforming inputs into finished products.

**Keywords:** Industry 4.0, Technology, SMEs.

## Resumo

A tendência crescente na inovação tecnológica, a implementação de novos modelos de fabricação e a geração de técnicas de produção eficientes levaram à inclusão do termo indústria 4.0 no século XXI, um aspecto fundamental nas PMEs mexicanas, que representam 98% das unidades econômicas. Nesta pesquisa, portanto, a influência da tecnologia - especificamente a Internet das Coisas, a inteligência artificial e os gêmeos digitais - foi analisada nas PMEs estabelecidas no município de Puebla (México) com o



objetivo de determinar o alcance que esses elementos têm nas áreas de competitividade e implementação. Para isso, foi utilizado um desenho de pesquisa transversal não experimental, uma vez que nenhuma das variáveis foi manipulada e elas foram medidas em um único momento.

O estudo teve um nível de correlação que associou as variáveis indústria 4.0 e tecnologia, e teve caráter explicativo porque apresentou uma compreensão do fenômeno examinado. Entre os principais achados, detectou-se que a tecnologia tem influência relevante na geração da indústria 4.0, especificamente nos aspectos das condições de operação, que incluem infraestrutura tecnológica e aplicação e implementação de tecnologias inteligentes. Por outro lado, técnicas avançadas de produção têm influência limitada sobre o referido conceito, uma vez que são implementadas apenas nos processos de transformação de insumos em produtos acabados.

**Palavras-chave:** indústria 4.0, tecnologia, PMEs.

**Fecha Recepción:** Enero 2023

**Fecha Aceptación:** Julio 2023

---

## Introducción

Actualmente, las pymes constituyen las entidades económicas más importantes en México, ya que representan el 98 % de las unidades mercantiles y el 75 % de la economía nacional (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática [INEGI], 2018). Sin embargo, es importante mencionar las empresas de este estrato se están enfrentando a un reto de permanencia en el mercado, pues hay poca inversión en tecnología y escasos programas que apoyen su desarrollo, los cuales generalmente se centran en la generación de recursos para seguir produciendo (INEGI, 2018). Esto ha provocado no solo que muchas pymes cierren después de un periodo promedio de 7.7 años (INEGI, 2020), sino también que los empresarios se preocupen debido a la creciente competencia y a los trámites impuestos para la exportación, factores que están limitando el crecimiento constante. En este contexto, un aspecto clave tiene que ver con lo que se denomina *revolución 4.0*, término que involucra la inclusión de tecnología en los procesos productivos de las empresas, así como en aquellos de tipo administrativo.

La industria o revolución 4.0 permite incrementar el nivel de productividad, ya que facilita a las organizaciones trabajar con procesos altamente eficaces y eficientes, así como generar información que sirve de base para la toma de decisiones (García, 2020). Por eso, algunos autores contemporáneos han señalado que muchos empresarios se están centrando

en aspectos relacionados con la eficiencia y la innovación (Ciprés, 1 de octubre de 2020; León, 2010; León-Pérez, 2019). En este mismo sentido, unos investigadores explican que la subsistencia de una pyme en el mercado depende de una buena gerencia y liderazgo, mientras que otros se refieren a las infraestructuras tecnológicas para hacerlas más competitivas e incluso expandirlas a nivel internacional.

Con base en lo anterior se puede afirmar que las tecnologías digitales están cambiando los modelos y estructuras de fabricación de las empresas, así como aquellos relacionados con el consumo, la comunicación y la interacción entre clientes y fabricantes. Por eso, resulta esencial trabajar en estrategias que permitan determinar si las pymes pueden incorporar la industria o revolución 4.0 en sus procesos y actividades diarias (Habib Mireles, 2022).

Al respecto, cabe señalar que si bien la sistematización de los procesos de control y la recopilación de información han sido factores claves para que las empresas sean más eficaces y eficientes, no todas cuentan con los recursos económicos para invertir en tecnología, lo que frena su desarrollo en el corto plazo.

Ahora bien, en cuanto a la conceptualización de la industria 4.0, surgen términos como *tecnologías disruptivas*, *big data*, *internet de las cosas* e *inteligencia artificial*, que no se limitan a un solo sector, sino que se expanden y pueden ser empleados como elementos estratégicos para impulsar un crecimiento acelerado y exponencial, y para reducir aquellos elementos que pudieran provocar pérdidas para una compañía.

Con el presente estudio, por tanto, se procura demostrar que la tecnología siempre ha jugado un papel importante para las organizaciones, pero cuando no se usa correctamente tiende a provocar errores y a desencadenar situaciones que pueden afectar no solo a la compañía, sino también a los clientes.

Por ello, en este trabajo se describe la situación general de las pymes ubicadas en el municipio de Puebla (México) en cuanto a los elementos que promuevan la integración de la industria 4.0 a sus procesos, pues esta variable resulta vital para asegurar la permanencia, consolidación y desarrollo de cualquier empresa.

## Antecedentes

La adopción de la tecnología ha sido un factor determinante para la evolución de las empresas. Sin embargo, se debe subrayar que la mayoría de los empleados han visto en ella un potencial competidor que puede sustituirlos a corto plazo, de ahí que se opongan a su uso. En otras palabras, se desconoce que estas herramientas pueden servir para que sus procesos sean más eficientes y productivos, y para recopilar más información que permita y facilite la toma de decisiones (Erbes *et al.*, 2019).

En efecto, la industria o revolución 4.0, puede ser muy útil para que las tareas sean más seguras y altamente eficientes en cuanto al manejo de datos, lo cual puede promover la confianza de los usuarios. Anteriormente, las pymes mexicanas concentraban su información de manera física y había poco intercambio entre sus áreas funcionales (Pineda de Alcázar, 2018), lo cual limitaba el desarrollo de estrategias y la mejora de los procesos. Aunado a ello, los colaboradores tenían datos basados prácticamente en la experiencia y práctica diaria (Barleta *et al.*, 2019), lo que representaba una gran área de oportunidad para atraer a capital humano cada vez más efectivo y que generara mejores resultados.

Sin embargo, las organizaciones que han visto a la tecnología y a la industria 4.0 como aliados en su crecimiento han logrado un mayor posicionamiento en el mercado y un mejor control de sus operaciones, lo cual se ve reflejado en su liderazgo en el sector de su competencia y en su crecimiento y posicionamiento económico (Erbes *et al.*, 2019).

## Planteamiento del problema

Las pymes mexicanas se encuentran inmersas en una serie de paradigmas que les impiden su crecimiento y desarrollo en el corto plazo, entre los cuales se pueden mencionar aspectos culturales, legales, sustentables e incluso desconocimiento de los beneficios que la tecnología puede traer para sus procesos (INEGI, 2018). Esto ha provocado que este tipo de empresas presenten graves problemas que frenan su desarrollo, tales como la elevada inestabilidad macroeconómica, la escasez de recursos financieros, la dificultad para acceder a créditos, las deficiencias en el capital humano, la falta de acceso a tecnología y los procesos burocráticos. Por ende, es necesario trabajar en modelos y estructuras que permitan llegar a un mayor nivel de competitividad a través de la implementación de tecnología, el análisis de la información diaria y la toma de decisiones (Barleta, 2019).

Aunado a lo anterior, se debe indicar que la resistencia al cambio es otro elemento que frena el desarrollo de las empresas. Este aspecto se halla directamente relacionado con

el factor humano, pues los emergentes métodos de trabajo tienden a ser vistos como una amenaza debido a que pueden desplazar a la mano de obra. Sin embargo, es labor de la alta dirección explicar cómo estos elementos pueden beneficiar todas las operaciones internas de la compañía.

Por otra parte, y aunque es cierto que pocas pymes tienen la posibilidad de destinar recursos para la inversión tecnológica (Aguilera y Riascos, 2016), es necesario identificar aquellos elementos clave con los que cuentan, así como aquellos puntos de resistencia por los cuales no se ha logrado ese cambio. Para ello, se debe insistir en que determinadas empresas no pueden ser operadas totalmente con tecnología. Además, se debe explicar que los países que sí han implementado este tipo de tecnologías han logrado una mayor expansión y eficiencia en sus bienes y servicios.

### **Pregunta de investigación**

Para resolver el problema de investigación se ha planteado el siguiente cuestionamiento:

- ¿De qué manera impacta la implementación y uso de la tecnología en la generación de la industria 4.0 de las pymes del municipio de Puebla?

### **Preguntas secundarias**

- ¿De qué manera influye la implementación de la tecnología en máquinas y equipos en las técnicas avanzadas de producción de las pymes del municipio de Puebla?
- ¿Cómo intervienen las tecnologías inteligentes en el incremento de la productividad de las pymes del municipio de Puebla?
- ¿De qué forma interviene la tecnología en la mejora de las condiciones operativas de las pymes del municipio de Puebla?

### **Objetivo general**

- Determinar el impacto de la implementación y uso de la tecnología en la generación de la industria 4.0 de las pymes del municipio de Puebla.

### Objetivos específicos

- Identificar la influencia de la implementación de la tecnología en máquinas y equipos en las técnicas avanzadas de producción de las pymes del municipio de Puebla.
- Relacionar el uso de las tecnologías inteligentes con el incremento de la productividad de las pymes del municipio de Puebla.
- Asociar la influencia de la tecnología en las condiciones operativas de las pymes del municipio de Puebla.

### Justificación

Debido a la cuarta revolución industrial, ha habido un gran alcance y velocidad en el crecimiento de las empresas mexicanas, en especial en las más grandes, las cuales han podido contar con la infraestructura, la tecnología y los recursos para invertir en elementos que potencien sus capacidades productivas. Por ejemplo, a raíz del surgimiento de las TIC en la primera década de este siglo, hubo un impacto del 0.6 % en cuanto a la productividad laboral anual (Centro Interdisciplinario de Estudios en Ciencia, Tecnología e Innovación [CIECTI], 2019). Esto ha representado un crecimiento exponencial en las dos últimas décadas, lo cual se ha visto reflejado en la obtención de nuevos clientes a nivel nacional e internacional.

Sin embargo, aún queda pendiente el impulso a las pymes para potenciar sus procesos productivos y para identificar la forma en que están empleando la tecnología, aspecto esencial para hacerlas más competitivas y para conseguir mayores cantidades de ventas que les permitan expandirse a nivel regional y nacional.

Lo anterior está en concordancia con los datos del año 2017 de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, donde se demuestra que las empresas que se apoyan en la tecnología para medir y controlar sus procesos tienen 13 % más de productividad respecto a aquellas que no realizan este tipo de actividades (INEGI, 2015a). Por eso, se puede afirmar que esta es un área de oportunidad para las pymes en México, en especial para las que pertenecen al sector manufacturero, las cuales tienen mayores posibilidades de usar el *big data* para obtener resultados importantes y de impacto.

## Marco contextual

El municipio de Puebla (México), donde se realiza el presente estudio, cuenta con 1 576 259 personas, de las cuales el 47.4 % son hombres y el 52.6 % son mujeres, con una relación hombres-mujeres de 90.01 (Zelada, 2020). La tasa de participación económica del municipio es de 53.45 %, con la participación de 69.09 % en hombres y 39.79 % de mujeres.

La población ocupada con un nivel de ingresos de dos o menos salarios mínimos representa el 33.84 %, lo que representa la población con un menor nivel de ingreso y extrema pobreza. Puebla ocupa el lugar 27 de 32 en índice de desarrollo humano en México, y aunque ha sido la entidad con más crecimiento con un 3.7 % en 2020, su resultado aún se encuentra debajo de la media nacional, que corresponde al 0.746 (Zelada, 2020).

El INEGI (2018) indica que el municipio aportó el 3.2 % del PIB de las industrias manufactureras en México y, empleaba a 1 072 000 en el país. Asimismo, ocupa la décima posición entre las actividades económicas de manufactura más importantes en 2019.

Ahora bien, en el caso de los recursos y capacidades que tienen las pymes mexicanas, se puede decir que se ven afectados por la escasez de habilidades gerenciales, así como por una insuficiente formación y entrenamiento en cuanto a la mano de obra del personal. Además, la poca implementación de las mejores prácticas de calidad, los elementos de *lean manufacturing* y los aspectos relacionados con la mejora continua provocan que estas organizaciones tengan un desempeño bajo y variable en cuanto a su rentabilidad, subsistencia en el mercado y crecimiento. En efecto, cuando las pymes son incapaces de aprovechar los puntos anteriores de una manera efectiva y funcional, tienden a presentar un estancamiento en cuanto a su crecimiento y desarrollo.

En el caso de México, las pymes representan el 98 % de las unidades económicas, por lo que su impacto se ve reflejado en el producto interno bruto (Aguilera y Riascos, 2016). En concreto, esas empresas tienen la siguiente distribución: 18.8 % empresas manufactureras, 10.1 % organizaciones de comercio al por mayor, 10.1 % comercio al por menor, 9.3 % servicios inmobiliarios, 7.3 % construcción, y el resto son sectores como transporte, minería, servicios educativos y salud (INEGI, 2020). Estas empresas, no obstante, tienen la problemática de permanecer poco tiempo en el mercado debido a aspectos relacionados con la gestión administrativa, liderazgo, enfoque de mejora continua, trabajo en equipo, aprovechamiento de recursos, entre otros.

Estos factores, sin embargo, se pueden trabajar a través de la implementación de la tecnología, que en los últimos años ha representado un elemento de competitividad por el tipo de información que otorga a las empresas para la toma de decisiones. En efecto, cuando una organización logra implementar algún sistema tecnológico como un *enterprise resource program* (ERP) o algún otro tipo de TIC para el manejo y control de su información, la toma de decisiones se facilita. No obstante, es importante destacar que las pymes mexicanas cuentan con limitados recursos, lo cual les impide invertir en este tipo de elementos. Por ello, actualmente muchas siguen trabajando con modelos de recopilación de información tradicionales (lápiz y papel), los cuales si bien son funcionales, representan un atraso con respecto a compañías de otras naciones.

Aunado a lo anterior, se debe subrayar que múltiples empresas se preocupan más por aspectos relacionados con canales de distribución, logística e incremento de la productividad que por otros asociados a la investigación y uso eficiente de la información. Por ejemplo, las pequeñas empresas realizan actividades débiles en cuanto al análisis del entorno; además, la tecnología que implementan suele ser obsoleta, lo cual las deja en un nivel precario de competitividad.

Por su parte, las empresas medianas tienen un comportamiento un poco más acelerado, ya que realizan actividades de una manera metódica a través del análisis del entorno, la adquisición de tecnología acorde a sus necesidades, y la implementación de esta para obtener mejores resultados (León-Pérez, 2019). Sin embargo, las demandas de producción pueden provocar que aun cuando se cuente con todos estos elementos, se quede en un proceso de *stand by* por descuido o mala gestión en cuanto al manejo de estas tecnologías o por la carente interpretación de la información.

Por todo lo anterior, la labor de poder llevar a las pymes a la integración de la industria 4.0 es una decisión que compete a la organización en su conjunto, pues —como se ha indicado— los aspectos culturales y la resistencia al cambio pueden llevar a que este proceso de transformación y de mejora se quede solo en un buen intento.

De acuerdo con el INEGI (2018), en México solo el 15 % de las pymes establecidas en el territorio nacional invierten en tecnología, mientras que el resto trabaja con procesos transmitidos de generación en generación que llevan en el mercado hasta 80 años. Si bien estos han logrado satisfacer la demanda de sus mercados, también están representando un foco de atención para poder potenciarlos, ya que las necesidades de sus clientes son cada vez mayores y en algunos casos llegan a ser cambiantes.

En la actualidad, la aparición de negocios digitales han favorecido que se atienda con mayor efectividad y rapidez las necesidades de los clientes, de ahí que se insista en soluciones disruptivas basada en datos y en plataformas que recopilen información en cuestión de minutos, estrategias que desafortunadamente solo están implementando las empresas grandes de México o del extranjero, lo cual ha generado una abismal brecha tecnológica y productiva.

## Marco conceptual

### Industria 4.0

El concepto *industria 4.0* se refiere a la integración de elementos digitales en tiempo real en proveedores, productores y clientes a lo largo de la cadena de suministro y de valor (Barleta *et al.*, 2019) que se pueden emplear en diferentes fases de la operación de una organización con el objetivo de hacer más eficientes y controlados los procesos. Este término fue acuñado por la iniciativa alemana como una estrategia que involucra la tecnología en el sector industrial y la digitalización en los procesos de manufactura (Pineda de Alcázar, 2018). Se asocia a la cuarta revolución industrial, donde hay un control de la cadena de valor a través del ciclo de vida del producto.

El desarrollo de la industria 4.0 es impulsado principalmente por tres fenómenos (Carrasco, 2006):

La digitalización e integración de cadenas de valor tanto horizontales como verticales.

La digitalización de productos y servicios.

La aparición de negocios digitales.

Si bien no hay una definición concreta sobre las tecnologías que están involucradas en la industria 4.0, la mayoría de los autores contemporáneos y asociados en este tipo conceptual identifican que las principales son las técnicas avanzadas de producción, las tecnologías inteligentes y las condiciones operativas de la empresa (Barleta *et al.*, 2019).

## Técnicas avanzadas de producción

Estas se definen como el proceso para lograr que todas las actividades habiliten a la empresa para emplear la tecnología y obtener nuevos productos e incluso diferentes servicios a los que actualmente se entregan al mercado. En este marco, surgen términos como *manufactura avanzada*, que comprende desarrollos en la fabricación que se han

implementado desde finales del siglo XX con el objetivo de realizar procesos y productos cada vez más intensivos y apoyados en las TIC, en elementos de modelado y en simulación en sus diseños. Por ello, involucra el uso de técnicas avanzadas de producción que proporcionan menores errores, así como el ahorro de recursos (Barrantes *et al.*, 2013).

La manufactura avanzada, así como las técnicas avanzadas de producción, tienen un carácter transversal, pues la mayoría de los sectores económicos emplean insumos o materias primas para su fabricación, por lo cual sus productos finales deben tener un alto contenido de diseño. En este contexto, un rubro tecnológico complejo es necesario, ya que permitirá usar tecnologías de alto rendimiento para el modelado, simulación de análisis y técnicas de prototipado que permiten conseguir productos funcionales y con una menor inversión económica.

### **Tecnologías inteligentes**

Adaptar la tecnología en la industria constituye un proceso complejo que requiere no solamente de inversión, sino también de una estructura organizativa que sea capaz de realizar cambios con respecto a su aplicación. En el caso de las tecnologías inteligentes, estas han impulsado un cambio estructural en lo productivo y en lo social, ya que actualmente muchos de los procesos que se desarrollan son controlados por *software* o equipos altamente configurados que llevan a mediciones más exactas.

En efecto, las tecnologías inteligentes están impulsando cambios en todos los sectores industriales a través de las redes de transmisión de datos de alta velocidad, almacenamiento de información, *e-business*, *e-commerce* y, en general, la sistematización de todas sus operaciones productivas y administrativas. Esto está provocando la ruptura de barreras y paradigmas tradicionales en cuanto a la forma de hacer negocios y de fabricar los productos.

Por eso, a continuación se mencionan algunas estrategias que las empresas deben implementar para sacar el mayor provecho a las tecnologías inteligentes (Pimentel, 2020):

Lograr una posición tecnológica con respecto a la competencia, ya que es importante realizar un ejercicio de *benchmarking* y conocer aquella tecnología que se puede usar en los procesos y operaciones diarias de la empresa.

Lograr avances en las áreas de investigación y desarrollo, ya que de esta manera se tendrá una ventaja competitiva con respecto a otras empresas del mismo sector.

Es importante que la tecnología adquirida tenga una finalidad concreta. En otras palabras, no tiene ningún sentido implementar la tecnología más avanzada en el mercado si no se va a recabar información que ayude a la empresa a tomar decisiones y a gestionar correctamente sus procesos.

Realizar procesos flexibles. Este elemento traerá para las empresas una ventaja importante, ya que se podrá atender un mayor número de mercados, lo cual facilitará la apertura para nuevas negociaciones en el entorno nacional e internacional. En pocas palabras, la tecnología juega un papel importante para impulsar estos cambios de una manera más sencilla, lo que al mismo tiempo permitirá diversificar los procesos.

Mejorar la organización. Este factor debe ser reestructurado mediante la implementación de elementos tecnológicos que lleven a las organizaciones a desarrollar operaciones de una forma inmediata que involucren una mejor recopilación de la información. De esta manera, se puede evitar perder tiempo en la captura, recuperación y almacenamiento de datos.

Inversión en formación. Es clave cuando se quieren usar tecnologías avanzadas, ya que los colaboradores tendrán las capacidades para operar todos los equipos, lo cual aumentará el rendimiento en el trabajo.

### **Condiciones operativas de la empresa**

Desde el contexto del factor humano de las empresas, las condiciones bajo las cuales operan representan uno de los puntos más importantes para la implementación de tecnologías y la generación de la industria 4.0. En este sentido, se debe mencionar como primer elemento la planeación estratégica y una filosofía organizacional. Estas deben fomentar el uso de la tecnología como factor clave para alcanzar las metas a mediano y largo plazo, ya que cuando se tiene la carencia de este factor es muy complicado que se llegue a un resultado óptimo de beneficio integral.

Como segundo elemento se debe contemplar la cultura organizacional, pues el entorno juega un papel significativo en el comportamiento de los colaboradores y la manera en que se suman para cumplir los objetivos de la empresa. Una analogía importante es aquella que se presenta en las empresas de la Unión Europea *versus* las empresas mexicanas, en las cuales las maneras de pensar, los aspectos sociales y los indicadores económicos influyen en la forma en que la empresa y los colaboradores se desenvuelven en sus actividades (Erbes *et al.*, 2019).

Por último, se debe contemplar la infraestructura con la cual cuenta la empresa para implementar la tecnología, así como aquellos elementos de adecuación que permitan su funcionalidad de una manera óptima e integral. Desafortunadamente, pocas pymes llegan a cumplir con este factor debido a sus limitados recursos.

### **Tecnología**

Es un proceso de ejecución de actividades empresariales que pueden desarrollarse internamente de forma más eficiente para beneficiar a terceros (clientes), ya que permite el desarrollo de nuevos productos y servicios (Madakam *et al.*, 2015). Para establecer el uso de la tecnología como un elemento clave de la estrategia de las pymes se requiere de una planificación estructurada que coadyuve a la toma de decisiones, pues de lo contrario se pueden generar pérdidas y dificultad de posicionamiento en el mercado nacional e internacional.

Para esta investigación, dentro de la variable *tecnología* se considerarán conceptos como el internet de las cosas, inteligencia artificial y gemelos digitales, los cuáles se definen a continuación.

### **Internet de las cosas**

El concepto *internet de las cosas* se relaciona con la facilidad para conectar todo tipo de dispositivos a internet, incluyendo máquinas y herramientas. Este elemento, por tanto, se refiere al desarrollo de aplicaciones que permiten un fácil manejo de los procesos y de las herramientas empleadas en un contexto industrial (Zanella *et al.*, 2014). Por ende, se puede definir como un sistema de red compuesto por objetos que tienen la capacidad de comunicarse y procesar información en cuestión de segundos. Incluye plataformas que permiten la recolección, el análisis, la comunicación y el intercambio de información relacionada con los procesos, los productos y los servicios que se desarrollan en un ambiente industrial. Todo esto sucede de manera inteligente, automática y en tiempo real, lo que agrega valor a la producción, puesto que permite la identificación de fallas o anomalías.

El internet de las cosas posibilita la automatización de las actividades sin intervención humana —o muy mínima—, lo que mejora la calidad y la uniformidad de los productos. Además, logra mayor eficiencia y ahorro de recursos en cuanto a materias primas y mano de obra mediante una programación estructurada de identificación de fallas.

## Inteligencia artificial

La inteligencia artificial es un campo de la informática que se dedica a la resolución de problemas cognitivos asociados a la inteligencia humana. Este concepto se desarrolla a través de sistemas informáticos, los cuales dependen de la disponibilidad de datos y algoritmos que permiten establecer procesos mediante la intervención de la tecnología (Openshaw y Openshaw, 1997).

La inteligencia artificial evoluciona con rapidez y es influenciada en parte por la electrónica, de ahí que una definición más amplia la contemple como la ciencia y la ingeniería de fabricar máquinas que tienen una inteligencia similar a la humana. Para ello, determinados programas intentan entender, inferir, aprender y obtener resultados con respecto a una situación particular o un proceso dentro del ámbito industrial.

Los principales elementos de la inteligencia artificial son la robótica, la vida artificial, las redes neuronales artificiales, el lenguaje de máquina, el lenguaje natural, los sistemas, la percepción y los conocimientos. Estos factores influyen de una manera integral para entender e interpretar algún proceso, y arrojar resultados con respecto a su comportamiento, lo cual puede evitar errores y reducir la intervención de la mano de obra.

## Gemelos digitales

El término *gemelos digitales* está asociado a una tecnología de *software* que ayuda a representar de manera digital la realidad física en la cual opera un negocio o empresa (Alfonso, 3 de julio de 2018), ya sea mediante cada uno de sus procesos, la obtención del producto final o la interacción de actividades. Para eso, emplea recursos tecnológicos como el *big data*, el internet de las cosas, la inteligencia artificial y el *machine learning* con el objetivo de contar con herramientas que lleven a la toma de decisiones y que se complementen con factores como la simulación y la predicción. Un gemelo digital, en otras palabras, consiste en la creación de una réplica virtual a imagen y semejanza de un producto o proceso tangible de una empresa, al cual se vinculan ciertas variables como el tiempo y cantidades de fabricación. Todo esto implica la implementación de sensores y otros recursos tecnológicos que permiten validar si estos elementos están cumpliendo con aquellos parámetros definidos de manera integral entre clientes y empresa, o que se establecen de manera normativa.

Posterior a la recopilación de la información, los gemelos digitales se apoyan en la inteligencia artificial y la nube para generar una representación digital del proceso, lo que

facilita la detección de errores y su corrección de manera inmediata sin necesidad de utilizar recursos materiales o humanos.

Aunado a esto, los gemelos digitales también sirven para comprobar si un producto cumple con las especificaciones de diseño, es decir, identificar su estabilidad e intuición, monitorear algunos fallos a través de simulaciones, detectar áreas de mejora y promover el mantenimiento preventivo, reducir tiempos de inactividad y, finalmente, crear un producto único para cada proceso desarrollado.

## Método

La presente investigación sobre la generación de la industria 4.0 en las pymes del municipio de Puebla (México) se basó en un diseño no experimental, ya que ninguna de las variables fue manipulada; además, fue transversal, puesto que las mediciones de las variables se realizaron en un único momento.

De acuerdo con el tipo de nivel de la investigación, fue correlacional, ya que asocia las variables de industria 4.0 y la implementación y uso tecnología. Asimismo, tuvo un carácter explicativo, pues ofreció información para entender el fenómeno estudiado, así como la forma en que influye una variable sobre la otra y el tipo de relación existente entre ambas.

Igualmente, tuvo un enfoque de carácter mixto, ya que se contempló la recolección de datos con mediciones cuantitativas y cualitativas de las variables estudiadas: *industria 4.0* y *tecnología*.

Por otra parte, la investigación se realizó contemplando como objetos de estudio a cinco empresas ubicadas en el municipio de Puebla, las cuales poseen las siguientes características (INEGI, 2015b):

Similar número de empleados. Las pequeñas empresas contemplan de 11 a 50 empleados y las medianas de 50 a 100.

Similar estructura jerárquica.

Áreas o departamentos similares.

Se ubican en zonas industriales del municipio.

La población contemplada fue de 261 elementos de las empresas del sector manufacturero, que se encuentran actualmente laborando en las cinco empresas establecidas en el municipio de Puebla. Para el cálculo de la muestra se usó la siguiente fórmula:

Donde:

$n$  = Tamaño de la muestra = ?

$N$  = Tamaño de la población = 261

$Z$  = Nivel de confianza = 95 % = 1.96

$p$  = Probabilidad de éxito = 50 %

$q$  = Probabilidad de fracaso = 50 %

$d$  = Margen de error = 5 %

Una vez determinada la muestra, que corresponde a 169 sujetos, se realizó un muestreo, el cual consiste en la selección de un conjunto de elementos con características particulares que pertenecen a un grupo determinado con la finalidad de observarlos, estudiarlos y recabar información. El tipo de muestreo empleado fue probabilístico aleatorio, pues contempló elementos dependiendo de una misma probabilidad de elección.

Para recolectar los datos se usó un cuestionario que se aplicó tanto *online* como presencial al personal operativo de las organizaciones estudiadas. Este comprendió preguntas relacionadas con la industria 4.0 y la tecnología. Los ítems se codificaron a través de una escala de Likert de 5 niveles (Münch y Ángeles, 1990).

Una vez generado el cuestionario, se realizó una validación por expertos para conocer la probabilidad de error en su configuración. Luego, se efectuó una prueba piloto con los sujetos de estudio, se analizaron los resultados, se realizaron los ajustes pertinentes y se procedió a su aplicación.

La confiabilidad del instrumento se determinó a través del método de consistencia interna basado en el alfa de Cronbach, que permite estimar su fiabilidad a través de un conjunto de ítems que miden el mismo constructo o dimensión teórica. Para ello, se empleó el *software* estadístico SPSS (*Statistical Package for the Social Sciences*, por sus siglas en inglés), el cual arrojó un resultado de 0.985, lo cual —de acuerdo con George y Mallery (2003)— es excelente.

El instrumento que contempló la variable *industria 4.0*, se presenta en la Tabla 1 según las siguientes dimensiones e ítems:

**Tabla 1.** Dimensiones e ítems de la variable *industria 4.0*

Dimensión	Ítem
Técnicas avanzadas de producción	1. En mi área laboral se han implementado modelos tecnológicos de gestión de procesos.
	2. Cuento con los factores tecnológicos necesarios para medir y controlar los procesos operativos.
	3. Se establecen las correctas relaciones de trabajo entre la tecnología implementada y las capacidades humanas del personal para operarlas.
	4. La empresa cuenta con los elementos tecnológicos necesarios para innovar constantemente.
	5. Se aprovecha al máximo la tecnología implementada en la empresa buscando la productividad total.
	6. Se recibe la capacitación necesaria para operar correctamente las actividades empresariales tanto administrativas como operativas, específicamente aquellas que involucran el uso de tecnología.
	7. Las técnicas empleadas en los procesos operativos agregan valor para el producto y los clientes.
Tecnologías inteligentes	1. He identificado la integración de tecnologías inteligentes en los procesos administrativos y operativos de las diferentes áreas de la empresa.
	2. Considero que la implementación de tecnologías inteligentes ha reducido los errores en las partes productivas.
	3. Estoy consciente de que la entidad está llevando a cabo el desarrollo de estrategias que permitirán la integración de tecnologías inteligentes en beneficio de los clientes.
	4. Las tecnologías inteligentes implementadas en la empresa coadyuvan al alcance de objetivos y metas.
	5. Considero que las tecnologías inteligentes implementadas en la empresa son una ventaja competitiva respecto a otras empresas del mismo giro.
	6. Entiendo la manera en que opera mi área de trabajo y la importancia de la implementación y uso de las tecnologías inteligentes.
	7. Considero que el uso de tecnologías inteligentes han favorecido la diversificación de productos.
	8. Considero que las tecnologías inteligentes con las que cuenta la empresa son suficientes para satisfacer la demanda de los clientes.
	9. Considero que la empresa ha gestionado correctamente el uso de tecnologías inteligentes para favorecer el crecimiento generalizado en todas sus operaciones.
Condiciones de la empresa	1. La transformación digital permitirá a la empresa la obtención de mejores resultados.
	2. Considero que uno de los factores más importantes de la gestión del cambio es la innovación e implementación tecnológica.
	3. Considero que la gestión del cambio contempla una metodología más moderna e inclusiva.
	4. Creo importante que la empresa adopte a la brevedad nuevas tecnologías en su operación.
	5. Considero importante que la empresa trabaje en la interconectividad de sus operaciones con los clientes.
	6. Es importante que en el trabajo haya interconectividad en todas las operaciones internas de la empresa.

7. Considero que las condiciones de la empresa llevan implícita una modificación dentro de las formas de trabajo con el uso de nuevas tecnologías.
8. Considero que la empresa cuenta con las condiciones para adoptar las nuevas formas de trabajo con base en las nuevas tendencias digitales.
9. El trabajo digital está arraigado en todo el trabajo que hago.
10. El trabajo realizado con apoyo de la tecnología es un factor importante para obtener mejores resultados de manera conjunta en la empresa.
11. Soy capaz de adaptarme a las nuevas tendencias y herramientas tecnológicas que se generan día con día.
12. Me considero capaz de salir de mi zona de confort para experimentar nuevos entornos de trabajo.
13. Soy capaz de mantener un aprendizaje continuo para siempre estar al día con nuevos conocimientos.
14. Prefiero comunicarme con mis compañeros de trabajo en persona sobre cualquier otro método.
15. La empresa está lista digitalmente para contribuir en la transformación tecnológica del país y ser un referente en su giro.

Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, la variable *tecnología* se estudió a partir de las dimensiones e ítems presentadas en la Tabla 2:

**Tabla 2.** Dimensiones e ítems de la variable *tecnología*

Internet de las cosas	1. Mediante el uso de internet logro obtener información útil relacionada con mi trabajo.
	2. El sitio web de la empresa pública información importante relacionada con mi trabajo.
	3. Considero que la transformación digital está cambiando para bien los procesos de mi trabajo.
	4. Creo que el internet de las cosas contribuye a mi forma de trabajo.
	5. Me capacito constantemente con cursos que se relacionan con el uso de internet para el desempeño de mi trabajo.
	6. La conexión a internet en mi trabajo mantiene una buena conectividad, lo que me permite desempeñarme adecuadamente.
	7. La toma de decisiones en mi trabajo depende de la información generada con el uso de internet.
	8. Considero que el internet de las cosas es un pilar tecnológico prioritario para que la entidad pueda implementar la industria 4.0.
	9. Considero adecuado el flujo continuo de información a través de la interconectividad (internet) entre dispositivos, equipos, máquinas y/o herramientas.
Inteligencia artificial	1. Considero que la empresa cuenta con los <i>software</i> digitales necesarios para garantizar la calidad de los productos.
	2. Los sistemas informáticos con los que cuenta la empresa son eficientes y eficaces para la generación de productos.
	3. Considero que los sistemas implementados en la empresa permiten la identificación de errores y corregirlos de manera inmediata.
	4. El uso de inteligencia artificial ha reducido de manera considerable los errores en las diferentes áreas de la empresa.
	5. Considero que en la empresa se ha hecho uso adecuado de la inteligencia artificial para la toma de decisiones.
	6. Considero que la empresa y los colaboradores se han sabido adaptar a la implementación y uso de inteligencia artificial.
	7. Considero que el uso de la inteligencia artificial ha desplazado la mano de obra en las diferentes áreas de la empresa.
	8. Creo que los <i>software</i> y sistemas implementados en la empresa han sido los más adecuados y funcionales para las actividades y procesos que desarrolla.
	9. Considero que la empresa debe trabajar en la implementación de inteligencia artificial cada vez más robusta y funcional.
	10. Considero que la inteligencia artificial desarrollada hasta el momento es insuficiente para atender las necesidades de la empresa.
Gemelos digitales	1. Considero que la empresa posee una estructura eficiente para el resguardo de la información generada en los procesos productivos y administrativos.
	2. Los sistemas integrados a los factores productivos han permitido la detección de anomalías en los procesos o productos.
	3. El uso de los gemelos digitales ha facilitado el desarrollo de las operaciones mediante la reducción de tiempos.
	4. Considero que el uso de los gemelos digitales representa un factor clave para la identificación de áreas de mejora.

	5. Considero que el uso de los gemelos digitales ha permitido estandarizar las operaciones y procesos.
	6. Creo que la empresa ha generado una correcta e integral asociación entre los gemelos digitales, el internet de las cosas y el <i>big data</i> .
	7. La empresa ha aprovechado la información generada mediante los gemelos digitales para predecir comportamientos futuros.
	8. Considero que el uso de los gemelos digitales ha propiciado la toma de decisiones que han favorecido a la empresa de manera general.
	9. El uso de los gemelos digitales ha permitido la detección de fallos promoviendo un mantenimiento preventivo, más que correctivo.

Fuente: Elaboración propia

## Resultados

Derivado de la aplicación del instrumento y del análisis estadístico de la información proporcionada por los sujetos de estudio, se puede indicar que —respecto a las dimensiones consideradas para la variable *industria 4.0*— las técnicas avanzadas de producción, las tecnologías inteligentes y las condiciones de la empresa son las que tienen mayor peso y relación con las dimensiones de la variable *tecnología*. Esta información resulta útil para los empresarios de las pymes, quienes deben garantizar condiciones operativas para implementar las tecnologías inteligentes, las cuales pueden elevar su productividad y competitividad. Esto, por supuesto, exige elementos relacionados con la infraestructura y el establecimiento de herramientas, máquinas y equipos que, apoyados de sistemas operativos y digitales, coadyuven a un mejor control y desarrollo de actividades.

Por otro lado, dentro de las dimensiones consideradas en la variable *tecnología* —es decir, el internet de las cosas, la inteligencia artificial y los gemelos digitales—, la que mayor correlación presenta con las dimensiones de la primera variable es la inteligencia artificial, seguida del internet de las cosas. En otras palabras, la situación y las condiciones de las pymes mexicanas para lograr la implementación y aplicación de la industria 4.0 van a tener relación directa y se van a ver influenciadas por la tecnología desde la perspectiva de la disponibilidad y uso de la inteligencia artificial, así como del internet de las cosas. En este aspecto, es necesario apuntar que la relevancia de la inteligencia artificial radica en proporcionar mediante sistemas informáticos una pronta respuesta a situaciones problemáticas basadas en información recopilada previamente, y que mediante algoritmos proporcionen la mejor solución ante determinadas situaciones.

En este sentido, uno de los puntos más importantes en los que deben trabajar las pymes es en la recopilación de información de sus procesos, ya que esto será la base para

emplear la inteligencia artificial y favorecer la toma de decisiones. Además, en ese rubro el internet de las cosas cobra importancia, ya que es necesaria la distribución de la información dentro de las empresas mediante sus sistemas informáticos para establecer una adecuada implementación de elementos relacionados con la industria 4.0

## Discusión

Derivado de los resultados obtenidos, se encuentra semejanza con lo expuesto por García (2020) en su documento referente a los retos de las pymes en el contexto de la industria 4.0, donde establece que el perfil de una pequeña o mediana empresa no puede competir con el de una grande para emplear los elementos de la revolución 4.0 y llegar a niveles altos de competitividad. Entre las principales diferencias, el referido autor destaca la manera en que se administra el negocio, la asignación de roles en el personal, la forma en que se adapta a los mercados y las tendencias cambiantes. Además, respecto a la implementación de la tecnología, las pymes solo se basan en una aproximación y conocimiento, pero no en una aplicación.

Además, es importante destacar que uno de los factores clave que expone García (2020) en el uso de la industria 4.0 radica en las habilidades técnicas y profesionales de los trabajadores, puesto que las TIC, el internet de las cosas y los gemelos digitales deben ser empleados por mano de obra especializada. Esto, sin embargo, parece ser un aspecto por trabajar, ya que —de acuerdo con esta investigación— hay tecnología que se adquiere, pero no se complementa con las técnicas avanzadas de producción para lograr altos niveles de competitividad. Es decir, se cuenta con elementos clave de mejora de las condiciones operativas de las pymes, pero desafortunadamente no se potencian por falta de capacitaciones y profesionalización de actividades propias de cada puesto, lo cual también representa una de las áreas clave de oportunidad para mejorar ante las tendencias de competencia y globalización actual.

Por su parte, Mejía *et al.* (2020) exponen que uno de los factores más importantes para la implementación de la industria 4.0 en las pymes radica en las tecnologías inteligentes y su uso correcto, pero que no se pueden conseguir de manera rápida o de tendencia actual en este tipo de organizaciones debido a las condiciones que experimentan las empresas. Esto se corrobora con los resultados obtenidos en esta investigación respecto a las limitaciones de recursos económicos y acceso a tecnología de vanguardia. Los autores,

de hecho, también coinciden en que la capacitación es un determinante en el uso de TIC, así como el factor del desempleo.

Finalmente, un estudio de Habib Mireles (2022) integra un elemento clave para la gestión de la industria 4.0 de las pymes, ya que se centra en la identificación de conocimientos y técnicas que los ingenieros deben conocer durante su formación profesional para implementarlos en su vida laboral de manera rápida, lo cual puede incrementar la productividad de las empresas. Esto se asocia con las tecnologías inteligentes como elemento destacable de la variable *industria 4.0* de esta investigación y la variable *tecnología* como aspecto determinante de implementación. Aun cuando se tiene que profundizar en aspectos educativos y formativos en México desde las aristas mencionadas, también es recomendable fomentar estrategias asociadas con la formación y competencia de los colaboradores actuales de las empresas para lograr la adaptación a estos nuevos modelos emergentes.

## Conclusiones

Con lo recabado en esta investigación, se puede concluir que la tecnología tiene una influencia relevante en la generación de la industria 4.0 de las empresas del municipio de Puebla (México), principalmente en los aspectos de sus condiciones operativas, es decir, infraestructura tecnológica e implementación de tecnologías inteligentes. Las técnicas avanzadas de producción tienen limitada influencia en la generación de industria 4.0 en el sentido de que solo se implementa en el uso de la tecnología en los procesos de transformación de insumos en productos terminados.

Por otro lado, la inteligencia artificial sigue siendo uno de los elementos clave que relaciona a la tecnología con la industria 4.0, seguido del internet de las cosas, que permite a las pymes tener un enfoque diferente de competitividad por las nuevas tendencias en el mercado global. Esto constituye un determinante en la continuidad del negocio e incluso en la expansión de sus productos a mercados internacionales.

En definitiva, se puede afirmar que la pregunta de investigación queda respondida y el objetivo general se alcanza, pues se evidenció que el impacto de la implementación y uso de la tecnología en la generación de la industria 4.0 radica en la adquisición de elementos tecnológicos que coadyuven al uso de la inteligencia artificial como factor competitivo en la detección y solución de problemas particulares. Esto, lógicamente, debe ser posterior a una recopilación y resguardo de la información de los diferentes procesos con el objetivo de

aplicar el internet de las cosas de manera integral dentro de la pymes y con agentes externos como proveedores y clientes.

Por otra parte, en cuanto al primer objetivo específico, se puede indicar que se alcanzó, en el sentido de que la tecnología en máquinas y equipos promueve la implementación de técnicas avanzadas de producción. Además, se destaca que los sujetos de estudio consideran que para lograr ese propósito se debe tener una eficiente capacitación en torno a la manera en que operan las máquinas, equipos y *software* empleados en la gestión de sus actividades.

En tal sentido, cabe resaltar que la relación entre las tecnologías inteligentes y el incremento de la productividad se centra en el uso de las primeras en su máximo potencial. Esto exige la interconexión de los elementos digitales de la empresa, como bases de datos e información histórica, para identificar valores de referencia que puedan ser empleados como parámetros e indicadores que servirán para plantear metas en el corto, mediano y largo plazo. Esto fue visible en la capacidad instalada y utilizada en el área productiva de las pymes estudiadas, de ahí que se puede indicar que fue alcanzado el segundo objetivo específico.

Finalmente, la tecnología desde la inteligencia artificial, el internet de las cosas y los gemelos digitales influye de manera directa en la mejora de las condiciones operativas de las pymes, lo que las hace más rentables. Sin embargo, el aspecto que representa un mayor reto en su implementación son los gemelos digitales debido a los aspectos de alta tecnología que requieren, y que la mayoría de las pymes no puede adquirir, con lo cual se establece el alcance del último objetivo específico.

### **Futuras líneas de investigación**

Se puede trabajar en las líneas de investigación relacionadas con los gemelos digitales y la forma en que son implementados en las organizaciones; asimismo, el uso de la inteligencia artificial y las tecnologías inteligentes en las empresas mexicanas, así como sus beneficios y, de manera general, cómo la industria 4.0 será el nuevo modelo de operación para las empresas a nivel global.

Por otro lado, se pueden desarrollar estudios basados en los demás aspectos que comprende la industria o revolución 4.0, es decir, sistemas ciberfísicos, internet de servicios y fábrica inteligente, no contemplados en este estudio, pero que pudieran establecer una

relación conjunta que pueda determinar cuáles se pueden implementar en las pymes mexicanas; además, desarrollar estrategias para alcanzar aquellas más complejas.

## Referencias

- Aguilera, C. y Riascos, S. (2016). Metodología para la inclusión de las TIC en las pymes fundamentada en el direccionamiento estratégico. *Criterio Libre*, 14(24), 150-167.
- Alfonso, M. (3 de julio de 2018). ¿Qué es un digital twin o gemelo digital y de dónde vienen? *Economía de Hoy*.
- Barleta, E., Pérez, G. y Sánchez, R. (2019). *La revolución industrial 4.0 y el advenimiento de una logística 4.0*. Boletín FAL nro. 375. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Julio.
- Barrantes, R., Jordán, V. y Rojas, F. (2013). La evolución del paradigma digital en América Latina. En V. Jordán, H. Galperin y W. Peres (coords.), *Banda ancha en América Latina: más allá de la conectividad*. CEPAL.
- Carrasco, J. (2006). Tecnología avanzada del diseño y manufactura asistidos por computador -CAD/CAM. *Prospectiva*, 4(1), 75-81.
- Centro Interdisciplinario de Estudios en Ciencia, Tecnología e Innovación [CIECTI] (2019), *DT17: Industria 4.0: ¿intensificación del paradigma tic o nuevo paradigma tecnoorganizacional?* Documentos de Trabajo, Ideas, Innovación, Inclusión.
- Ciprés, D. (1 de octubre de 2020). Gemelo digital para industria y procesos logísticos. *Itainnova*.
- Erbes, A., Gutman, G., Lavarello, P. y Robert, V. (2019). *Industria 4.0: oportunidades y desafíos para el desarrollo productivo de la provincia de Santa Fe*. CEPAL.
- García, A. (2020). *Los retos para las pymes en el contexto de la industria 4.0: una revisión teórica*. UNAM.
- George, D. and Mallery, P. (2003). *SPSS for Windows step by step: A simple guide and reference 11.0 update*. Boston: Allyn & Bacon.
- Habib Mireles, L. (2022). Presencia de los pilares de la industria 4.0 en la formación de ingenieros en el noreste de México. *Revista Cubana de Educación Superior*, 41(2), 19.

- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática [INEGI]. (2015a). *Encuesta Nacional sobre Disponibilidad y Uso de Tecnologías de la Información en los Hogares* (ENDUTIH). INEGI.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática [INEGI]. (2015b). *Cálculo de los índices de productividad laboral y del costo unitario de la mano de obra*. México.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática [INEGI]. (2018). *Encuesta Nacional sobre Productividad y Competitividad de las Micro, Pequeñas y Medianas Empresas* (ENAPROCE). INEGI.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática [INEGI]. (2020). *Sistema de cuentas nacionales de México: productividad total de los factores: modelo KLEMS*. México.
- León, J. (2010). La inteligencia artificial convencional y la inteligencia artificial distribuida (IAD) en los programas espaciales de observación de la tierra. *Análisis Geográficos*, 44, 129-143
- León-Pérez, J.C. (2019). Impacto de las tecnologías disruptivas en la percepción remota: big data, internet de las cosas e inteligencia artificial. *UD y la Geomática*, 14, 54-61.
- Madakam, S., Ramaswamy, R. and Tripathi, S. (2015). Internet of Things (IoT): A Literature review. *Journal of Computer and Communications*, 3, 164-173.
- Mejía, M., Camacho, A. y Marcelino, M. (2020). Estrategias del sector público y privado para la implementación de la Industria 4.0 en México. *Revista UPIICSA Investigación Interdisciplinaria*, 6(1), 13-31.
- Münch, L. y Ángeles, E. (1990). *Métodos y técnicas de investigación*. Trillas.
- Openshaw, S. and Openshaw, C. (1997). *Artificial intelligence in Geography*. John Wiley.
- Pimentel, G. (2020). *La inteligencia artificial y su influencia en la eficiencia del comercio internacional 2020*. Universidad San Ignacio Loyola.
- Pineda de Alcázar, M. (2018). La internet de las cosas, el big data y los nuevos problemas de la comunicación en el siglo XXI. *Mediaciones Sociales*, 17, 1-24
- Zanella, A., Bui, N., Castellani, A., Vangelista, L. and Zorzi, M. (2014). Internet of Things for Smart Cities. *IEEE Internet of Things Journal*, 1(1), 22-32.
- Zelada, S. (2020). COVID-19, un acelerador de la transformación digital. *Deloitte Touche*.