



Las opiniones y los contenidos de los trabajos publicados son responsabilidad de los autores, por tanto, no necesariamente coinciden con los de la Red Internacional de Investigadores en Competitividad.



Esta obra por la Red Internacional de Investigadores en Competitividad se encuentra bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 3.0 Unported. Basada en una obra en riico.net.

Análisis exploratorio del impacto de las tecnologías disruptivas en México

Irma Morán-Chávez¹
Jaime Apolinar Martínez-Arroyo²
*Marco Alberto Valenzo-Jiménez**

Resumen

El mundo experimenta avances tecnológicos que tendrán repercusiones en los sectores estratégicos de producción en México. El propósito de este estudio es identificar las tecnologías revolucionarias y su incorporación en la industria manufacturera mexicana. Se prevé que tecnologías como el machine learning, la realidad virtual, los materiales inteligentes, la nanotecnología de vanguardia, la impresión 3D, la robótica colaborativa, el Internet de las Cosas y la automatización, entre otras, desempeñarán un papel importante en las actividades productivas a nivel global. Para llevar a cabo este estudio, se realizaron entrevistas exhaustivas con expertos en los campos de educación, industria y servicios para discutir la incorporación de tecnologías disruptivas. Los resultados indican que las tecnologías disruptivas tendrán mayor influencia en la industria manufacturera en México. Se busca calcular el alcance del impacto, así como las estrategias necesarias para enfrentarlos, basándose en una Política Pública adecuada en un marco de sostenibilidad y bienestar social.

Palabras clave: Tecnología disruptiva, manufactura, inteligencia artificial. Impresión 3D

Abstract

The world is experiencing technological advances that will have repercussions on the strategic production sectors in Mexico. The purpose of this study is to identify revolutionary technologies and their incorporation in the Mexican manufacturing industry. Technologies such as machine learning, virtual reality, smart materials, cutting-edge nanotechnology, 3D printing, collaborative robotics, the Internet of Things and automation, among others, are expected to play an important role in productive activities, At a global level. To carry out this study, in-depth interviews were conducted with experts in the fields of education, industry, and services to discuss the incorporation of disruptive technologies. The results indicate that disruptive technologies will have greater influence on the manufacturing industry in Mexico. The aim is to calculate the scope of the impact, as well as the necessary strategies to confront them, based on an appropriate Public Policy within a framework of sustainability and social well-being.

¹ Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial (CIDESI) Automatización, Querétaro, Qro.

² **Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Keywords: Disruptive technology, manufacturing, artificial intelligence. 3d print

Introducción

Las compañías manufactureras en todo el mundo enfrentan actualmente una creciente presión debido a la competencia y las regulaciones, lo que las obliga a encontrar un equilibrio en su desempeño económico para mantenerse operativas. Por lo tanto, para enfrentar estas situaciones, las organizaciones necesitan implementar una variedad de estrategias que les permitan llevar a cabo sus operaciones de manera continua (Ambalal et al, 2022). Esta presión, reflejada en la progresiva globalización, la demanda de personalización masiva y los entornos comerciales altamente competitivos, plantea nuevos desafíos a las empresas "tradicionales" en la actual economía turbulenta (Simmert et al., 2019). La necesidad de tiempos de entrega más rápidos, procesos más eficientes y automatizados, mayor calidad y productos personalizados ha impulsado a las empresas hacia la llamada Industria 4.0, la cuarta revolución industrial. Esta ola de avances tecnológicos tendrá impactos en los sectores manufactureros estratégicos en México (Boston, 2019). Se espera que tecnologías disruptivas como el aprendizaje automático, la realidad virtual, los materiales inteligentes, la nanotecnología avanzada, la impresión 3D, la robótica colaborativa, el Internet de las cosas y la automatización, entre otras, dominen gran parte de las actividades productivas a nivel mundial.

En este contexto, es importante resaltar que la tecnología en la industria manufacturera ha experimentado cambios revolucionarios en el último siglo debido a estos avances tecnológicos. Diversas estrategias de fabricación, como la producción en masa, la fabricación lean, la fabricación flexible, la fabricación ágil, la fabricación reconfigurable, la fabricación predictiva, la fabricación cibernética y la personalización masiva, se han introducido para mejorar drásticamente la productividad, la calidad, los costos y la variedad. Estas estrategias se implementan principalmente mediante tecnologías habilitadoras como el Internet de las cosas, sensores avanzados, el análisis de datos industriales, el aprendizaje automático y los sistemas ciberfísicos, entre otros. Los avances rápidos en ciencia de materiales, inteligencia artificial, automatización/robótica, óptica y mecatrónica están impulsando un cambio transformador en las tecnologías de fabricación para cumplir con las crecientes demandas de personalización, alta calidad, costos accesibles, mayor funcionalidad, eficiencia energética y métodos ambientalmente sostenibles. Es innegable que estas herramientas están transformando la fabricación (Jun y Lee, 2015).

Sin embargo, no solo es la competencia del mercado lo que impulsa a las organizaciones a evolucionar constantemente hacia la excelencia en el rendimiento, sino también la mejora continua

de la madurez organizativa, la búsqueda del desarrollo corporativo y las estrategias para mejorar la fuerza laboral con miras a la excelencia organizativa. Esto se debe a las preocupaciones ambientales, la reducción de residuos y la preservación de los recursos (Singh y Rathi, 2019).

El término "Industria 4.0" fue acuñado por primera vez en la Feria de Hannover en 2011, como resultado de un proyecto nacional iniciado por el Gobierno alemán para promover la digitalización en la fabricación (Kagermann et al., 2013). La Industria 4.0 representa una nueva etapa industrial en la que se integran procesos de fabricación tanto verticales como horizontales, utilizando electrónica y tecnologías de la información en la manufactura y los servicios (Roblek et al., 2016). Varios estudios sostienen que la implementación de la Industria 4.0 conducirá a un mejor rendimiento en términos de productividad, costos, calidad, sostenibilidad, capacidad de respuesta y agilidad (Chauhan y Singh, 2020). En consecuencia, la manufactura se volverá más inteligente, flexible, adaptable, autónoma y basada en sensores con tecnologías 4.0 (Oztemel y Gursev, 2020). Por lo tanto, comprender el concepto de la Industria 4.0 es esencial para analizar los factores que pueden motivar a las empresas a adoptar este enfoque (Horvarth y Szabo, 2019). Sin embargo, la transformación hacia la Industria 4.0 y la implementación de tecnologías asociadas enfrentan diversos desafíos (Yuksel, 2022). Una vez que se identifican los impulsores y obstáculos clave, las empresas pueden determinar las áreas en las que deben enfocarse y/o mejorar para mantener su competitividad (Stentoft y Rajkumar, 2020).

También resulta crucial que las empresas diseñen estrategias y formulen planes en función de los factores que ejercen mayor influencia sobre la Industria 4.0 (Yuksel, 2022). En este contexto, el propósito de este trabajo es detallar las tecnologías revolucionarias más significativas y su implementación en el sector manufacturero de México. La Industria 4.0 representa la cuarta revolución industrial y su objetivo radica en incrementar el grado de automatización y el intercambio de datos en las tecnologías de manufactura (Sony y Naik, 2020). Conforma un enfoque que guía la transformación de la producción centrada en máquinas hacia la manufactura digital (Oztemel y Gursev, 2020). Asimismo, se trata de un paradigma que conlleva una nueva orientación en la producción y modifica las estructuras tradicionales de control centralizado en favor de enfoques descentralizados (Prause y Weigand, 2016).

El concepto de Industria 4.0 está vinculado a la visión de sistemas ciberfísicos (CPS) integrados en las operaciones de fabricación, así como a tecnologías de Internet de las Cosas (IoT) en los procesos industriales. Estos elementos pueden manifestarse en forma de fábricas inteligentes, productos inteligentes y redes de valor extendidas, abarcando integración vertical, horizontal y de extremo a extremo (Machado et al., 2020). El objetivo primordial de la Industria 4.0 radica en permitir procesos de manufactura autónomos, integrados, optimizados y dinámicos gracias a IoT, análisis de

datos masivos y tecnologías avanzadas (Frank et al., 2019). Adicionalmente, busca generar cambios en los sistemas de producción y facilitar "adaptabilidad, eficiencia de recursos y una mejor integración de los procesos de oferta y demanda entre las instalaciones de fabricación" (Varghese y Tandur, 2014). La Industria 4.0 aspira a fusionar los ámbitos digital y físico, impulsada principalmente por dos elementos clave: CPS y las tecnologías IoT e IoS (Pereira y Romero, 2017). En la adopción de la tecnología 4.0, se describen siete principios de diseño en su aplicación e implementación: agilidad, interoperabilidad, virtualización, descentralización, gestión de datos en tiempo real, enfoque en servicios y procesos de negocio integrados. Entre estos principios, la agilidad y la integración de procesos de negocio son los más relevantes (Salkin et al.).

El tamaño de la empresa ejerce una influencia significativa y positiva en la adopción de la Industria 4.0 (Lin et al., 2019). Existe una correlación notable entre el tamaño de la empresa y el grado de digitalización, así como la implementación de tecnologías de la Industria 4.0 (Schroder, 2017). Las empresas de mayor envergadura tienen más probabilidad de adoptar estas tecnologías, mientras que las más pequeñas tienen mayores posibilidades de beneficiarse de su implementación (Buchi et al., 2020). En las empresas de gran tamaño, un alto nivel de comprensión de la Industria 4.0 constituye el factor fundamental para una adopción destacada de las tecnologías habilitadoras (Zheng et al., 2020). Por lo tanto, para lograr una transición exitosa hacia la Industria 4.0, es esencial considerar tres atributos: (1) integración horizontal a lo largo de las cadenas de valor, (2) integración vertical y conectividad en red de sistemas de manufactura o servicios, y (3) enfoque integral en la ingeniería a lo largo de la cadena de valor. La motivación principal detrás de la Industria 4.0 radica en conectar e integrar sistemas de manufactura y servicios para proporcionar eficiencia, adaptabilidad, cooperación, coordinación y eficacia (Li et al., 2015a).

Análisis de la Manufactura en México

Según un informe de FORBES, México se sitúa en la octava posición entre los países con la mayor industria manufacturera. El sector manufacturero contribuye al 20 % del Producto Interno Bruto (PIB), y gran parte de esta contribución proviene de áreas como la automoción, la aeroespacial, la energía, las bebidas, los alimentos y la electrónica. Esto coloca a México en una posición propicia para convertirse en un líder en la manufactura si logra aprovechar las tecnologías de la industria 4.0 desde ahora mismo (FORBES, 2018).

Ejemplo de ello es que México ocupa el cuarto puesto a nivel mundial en importación de robots industriales, según la Organización Mundial de Comercio (OMC). En este ranking, China encabeza la lista con una importación de robots industriales por valor de 878 millones de dólares, seguido por Alemania con 346 millones de dólares, y Estados Unidos con 291 millones de dólares. México se

sitúa en el cuarto lugar, habiendo importado robots industriales por un total de 158 millones de dólares en el último año. A pesar de estos avances, el país está dando sus primeros pasos en el ámbito de los cobots, que son robots colaborativos diseñados para interactuar con los seres humanos en entornos laborales (Organización Mundial del Comercio, 2017). Por lo tanto, México debe preparar a su fuerza laboral actual y futura para adaptarse y aprovechar al máximo estas nuevas tecnologías en su entorno laboral.

En este contexto, Global Manufacturing Competitiveness ha evaluado la competitividad de la industria manufacturera en México, resaltando aspectos clave. México juega un papel importante en la fabricación de productos electrónicos, maquinaria, aparatos y componentes, así como en la producción aeroespacial y de piezas. Durante el período de cinco años entre 2010 y 2014, las exportaciones manufactureras mexicanas representaron tres cuartas partes de las exportaciones totales de mercancías. Aunque el PIB manufacturero de México alcanzó su punto máximo en 1988 con un 22.4 %, el país sigue destacando en la producción automotriz a nivel global, siendo la séptima economía en fabricación de vehículos y el sexto mayor productor de autopartes. Además, México contribuyó con un 3.7 % de la producción mundial de vehículos, y alberga 93 de las 100 principales marcas automotrices a nivel mundial.

En el mismo informe se enfatizan las ventajas competitivas de México para los fabricantes, incluyendo costos de mano de obra competitivos, proximidad a Estados Unidos, lo que permite alcanzar el mercado estadounidense en menos de un día, y costos energéticos más bajos en comparación con otras regiones, como China. México también cuenta con tratados de libre comercio con Estados Unidos, Canadá y otros 42 países.

No obstante, el informe también destaca los siguientes desafíos que enfrenta México en la industria manufacturera.

Fuerza laboral con bajas habilidades. El nivel educativo del país está por debajo del promedio de la OECD. Es más, la infraestructura y política educativa no conduce hacia la educación superior, no imparte las habilidades requeridas por lo que los estudiantes abandonan los estudios a la mitad de su trayectoria.

La ausencia de un sistema de educación moderno y competitivo tiene grandes implicaciones en la productividad y el crecimiento económico de la nación. Aunque el producto interno bruto es más alto que países emergentes como la India, es considerablemente más bajo que en los países desarrollados. Esto se debe a la baja productividad de las nano, micro, pequeñas y medianas empresas (NaMiPyME's) que son las que aportan la mayor parte del PIB.

Falta de un ecosistema de base de proveeduría. México tiene un gran déficit de base de proveeduría con altos costos logísticos. Existe un gran número de trabas regulatorias y legales en el ecosistema manufacturero en México.

Estos retos deben ser enfrentados y crear estrategias y políticas públicas que permitan contar con una fuerza productiva de alto nivel y habilidades con una base de proveeduría robusta. Lo anterior destaca la importancia de los Centros de Investigación y las Universidades que serán las que sustenten la base educativa y de apoyo a las nano, micro, pequeñas y medianas empresas (NaMiPyME's) en su carrera hacia una proveeduría eficiente y de alto nivel (Deloitte , 2016).

En este mismo sentido, las primeras repercusiones de la iniciativa Industria 4.0 en México, fue el impulsó a la Secretaría de Economía a realizar y publicar en abril de 2016 el documento “Crafting the Future, A Roadmap for Industry 4.0 in México”, en el cual se hace un resumen de las tecnologías 4.0 en el mundo, y en el que destaca la importancia de las tecnologías 4.0 en el futuro de México (Economy, 2016)

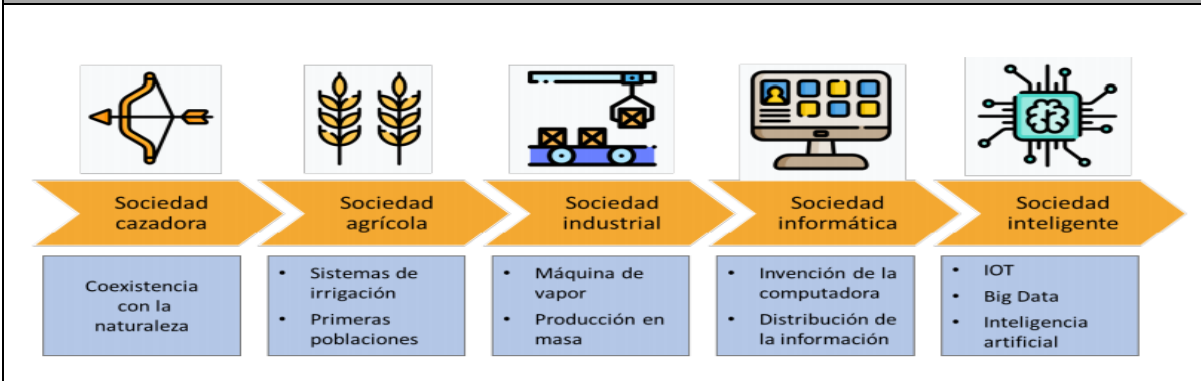
Fundamento teórico de la investigación

En este trabajo se muestra la evolución del ser humano respecto al tipo de sociedad en la que se ha desarrollado, siendo la primera la sociedad cazadora donde se tenía una coexistencia con la naturaleza. Posteriormente, hace 15 mil años, se establecen los primeros asentamientos al crearse los primeros sistemas de irrigación domesticando algunos cultivos y establecerse como una sociedad agrícola.

La siguiente es la sociedad industrial, la cual se da de forma paralela con la revolución industrial de finales del siglo XVIII, cuando se inventa la máquina de vapor y de desarrollan los primeros sistemas de producción en masa. Posteriormente, el desarrollo de la computadora y el inicio de los sistemas de distribución de información a finales del siglo XX generan a la sociedad informática. En este momento, tiene su inicio la sociedad inteligente con el desarrollo del Internet de las cosas, las tecnologías de Big Data y avance de la inteligencia artificial, ver Figura 1.

Figura 1

Esquema de la evolución de las sociedades en la historia de la humanidad

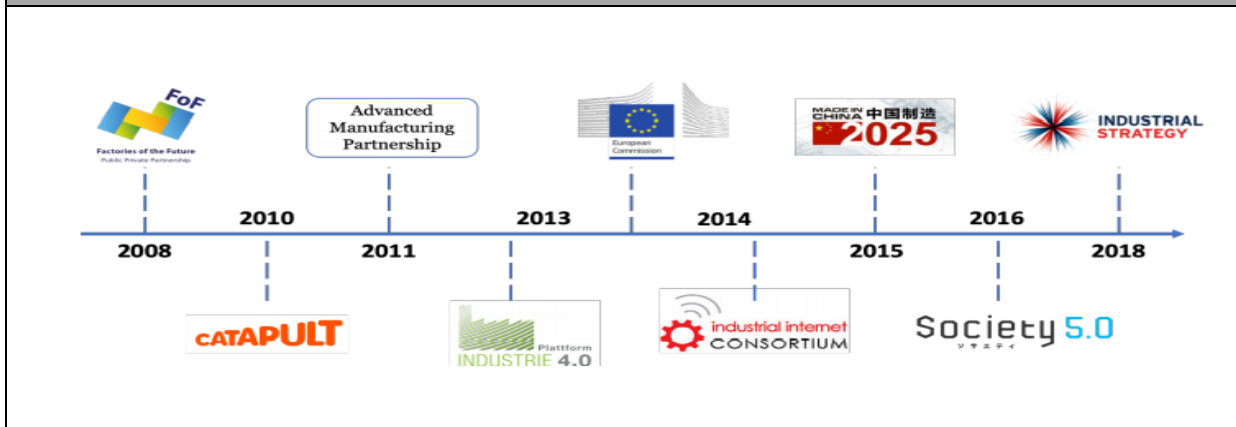


Fuente: CONACYT. (2019). *Diagnóstico e Impacto Potencial de las Disruptivas en México.* . México: Conacyt.

El término Manufactura Avanzada es el conjunto de tecnologías de vanguardia que han adoptado las empresas manufactureras de los ramos automotrices, aeronáuticos y metal-pesado en años recientes. Con el fin de detonar las capacidades de la industria, en el mundo los países desarrollados han lanzado iniciativas de desarrollo de la Manufactura y la Industria, desde tiempo atrás la figura n° 2 muestra la cronología de estrategias en manufactura avanzada a nivel mundial.

Figura 2

Cronología de estrategias en manufactura avanzada a nivel mundial



Fuente: CONACYT. (2019). *Diagnóstico e Impacto Potencial de las Disruptivas en México.* . México: Conacyt.

Fábricas del Futuro reconoce a la manufactura como el principal detonador para las actividades de investigación, desarrollo e innovación, así como el instrumento para lograr prosperidad y atender los grandes retos. La estrategia Fábricas del Futuro considera de forma adicional la necesidad que las megatendencias establecidas sean adoptadas bajo la lógica de generar una Europa futura próspera y se atiendan de manera particular los grandes retos que ahora enfrenta: cambio climático, seguridad

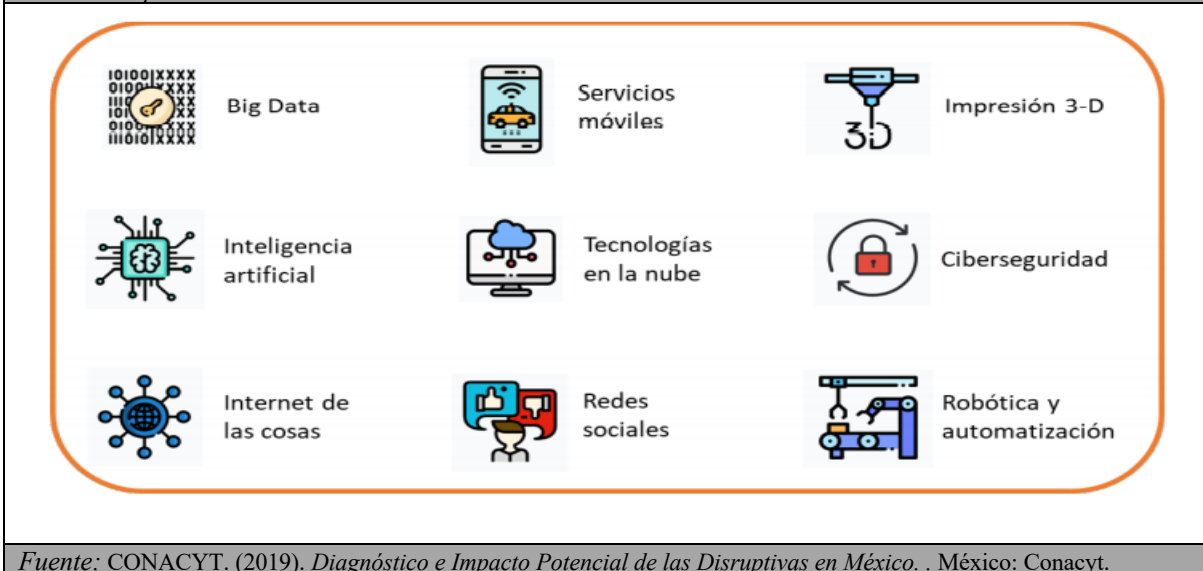
energética y alimentaria, salud y el envejecimiento de su población; Los centros Catapult son creados para ser el instrumento que transforme el conocimiento generado en las universidades en productos y servicios de alto valor, así como lugar donde las ideas de emprendedores innovadores permitan la generación de nuevas empresas y nuevos modelos de negocio; Advanced Manufacturing Partnership, la manufactura avanzada es un tema de seguridad nacional, es un detonador de la innovación, y tiene gran importancia para la generación de empleos de alto valor y alta remuneración, Se destacan como beneficios adicionales a la creación de esta red de centros lo siguiente: Aumentar el conocimiento en las áreas de ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas; Generar un suministro de trabajadores con alta habilidad, evitar su fuga a otros países y atraer talento altamente calificado; Atraer inversionistas para la creación de empresas que genere empleo de alto valor y bien pagado; Crear un ambiente fértil para la innovación a través de inversiones en asociaciones público privadas que desarrollen e integren tecnologías avanzadas; Industria 4.0 surge como una iniciativa del gobierno alemán, la cual fue adoptada como parte del Plan de Acción Estrategia de Alta Tecnología 2020 en noviembre de 2011. El primer equipo de trabajo colaboró de enero a octubre de 2012, reuniendo a personas distinguidas de la industria, academia y gobierno, trabajando. El documento resultado de este trabajo fue “Recomendaciones para la implementación de la iniciativa estratégica Industria 4.0” (National Academy of Science and Engineering, 2013); European Commission Derivado de la presentación de la estrategia alemana Industria 4.0, el término es adoptado de manera mundial. En el caso particular de la Unión Europea, cada país adapta la iniciativa de manera particular y de acuerdo con sus prioridades nacionales (Commission., 2019); Consorcio Industrial del Internet, en marzo de 2014 las empresas AT&T, Cisco, General Electric, IBM e Intel deciden formar el Consorcio para el Internet Industrial. Esta iniciativa tiene como objetivo acelerar el desarrollo, adopción y uso de analíticos inteligentes en la operación de las empresas. De forma paralela, se realiza en enfoque al diseño y fabricación de dispositivos, máquinas conectadas, y las tecnologías requeridas para lograr su integración en procesos productivos. El presupuesto inicial fue de 1.5 mil millones de dólares, proviniendo exclusivamente del sector privado. Este monto se utilizó para la creación de un ecosistema que desarrolle e implemente las tecnologías requeridas en condiciones reales a través de los 24 “Testbeds” del consorcio, Para 2019 el consorcio contaba con 258 miembros activos y adicionales a los Testbeds pública el Journal of Innovation, en el cual se muestran resultados y ejemplos exitosos de aplicaciones de tecnologías de conectividad en empresas y los resultados que se han logrado (Industrial Internet Consortium., 2019). Made in China, esta nación se ha está preparando para dejar atrás el modelo de una manufactura maquiladora y de mano de obra barata para tomar la visión de ser líder en la manufactura avanzada y el desarrollo tecnológico. En julio de 2015 el gobierno de China propone su estrategia de manufactura avanzada denominada Made in China

2025, en este documento se establece cinco guías fundamentales: 1. Priorizar el desarrollo de la capacidad de innovación; 2. Mejorar la calidad de los productos; 3. Desarrollar una economía sostenible; 4. Optimizar la estructura industrial del país; 5. Promover la formación de talento (IoT One, 2015). Sociedad 5.0, Japón reconoce que el cambio tecnológico no afecta solamente al sector industrial, sino que debe ser un instrumento para el beneficio de la sociedad y sus necesidades, donde cada individuo pueda crear valor. En noviembre de 2016, la Agencia de Ciencias y Tecnología de Japón presentó Sociedad 5.0, con la visión de una sociedad donde cada individuo crea valor en cualquier momento y lugar, en seguridad y armonía con la naturaleza, y libre de restricciones (Center for Research and Development Strategy, 2016); Industrial Strategy En mayo de 2018, la primera ministra Theresa May, anuncia la nueva estrategia industrial del Reino Unido al dejar la Unión Europea. Con un presupuesto de 12.5 mil millones de libras para 2021-2022 (29), esta estrategia se enfoca en incrementar la productividad a través de la adopción de tecnologías innovadoras e incrementar el empleo, elevando los estándares de vida, proveer fondos para apoyar los servicios públicos e incrementar la calidad de vida de los ciudadanos de esa nación.

Continuando con la misma idea, y mediante la aplicación de encuestas realizadas por la Comisión Europea, definió las tecnologías emergentes que tendrán mayor impacto en las empresas de la Unión Europea y se muestran en la figura 3. La digitalización de Europa recae en la transformación de las empresas y del surgimiento de start-ups exitosas. Como resultado, casi dos terceras partes de los miembros de la UE han establecido como prioridad la digitalización de su industria, estableciendo políticas a gran escala e iniciativas relacionadas para incrementar la productividad y competitividad de las empresas, así como mejorar las habilidades técnicas de su fuerza de trabajo.

Figura 3

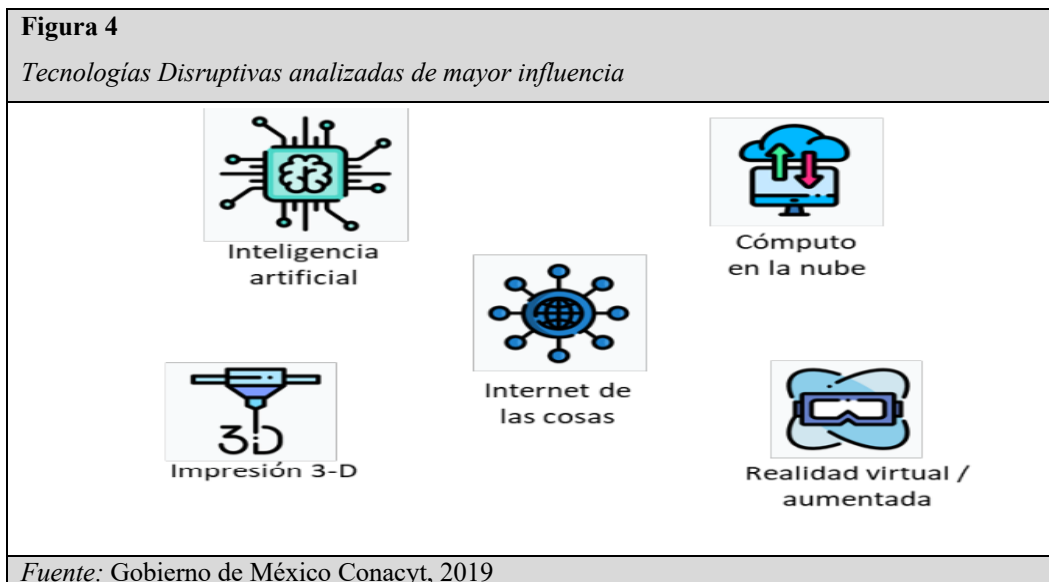
Principales tecnologías emergentes consideradas como las que tendrán mayor impacto en las empresas de la Unión Europea.



Fuente: CONACYT. (2019). Diagnóstico e Impacto Potencial de las Disruptivas en México. . México: Conacyt.

Las tecnologías de Industria 4.0 traspasan las fronteras entre el mundo real y virtual, pero también trascienden al sector industrial y afectan directamente a la sociedad. La velocidad con la que los cambios tecnológicos ocurren impactará de manera dramática la forma en que vivimos, convirtiendo la capacidad de adaptarse en una habilidad requerida para los individuos que se mantengan en las industrias productivas y de servicios. Expertos coinciden que existe un gran número de tecnologías de Industria 4.0, y probablemente surjan varias nuevas en los próximos años, pero son cinco tecnologías disruptivas las de mayor influencia y las detonan al resto. Estas tecnologías son el Internet de la Cosas, Inteligencia Artificial, Impresión 3D, Realidad Virtual y Aumentada, y finalmente el cómputo en la nube, ver Figura 4. Debe aclararse, que estas cinco tecnologías disruptivas están a su vez conformadas por complementarias, las cuales han evolucionado, otras quedado obsoletas y algunas nuevas están en fase de conceptualización, pero con gran potencial en el corto plazo (World Economic Forum, 2017).

De igual forma y se reconoce que los países basados en el conocimiento, crean mayor y mejor calidad de vida para sus habitantes, además cuentan con un capital intelectual amplio para la realización de Actividades Científicas y Tecnológicas (ACyT), que se traducen en tecnología, patentes y desarrollo económico.



Método

La presente investigación científica tiene un diseño exploratoria, descriptivo, y también de carácter cualitativo, en este trabajo los sujetos de investigación entrevistados fueron expertos en manufactura y tecnología en las áreas de educación, industria y servicio, mediante la cual proporcionaron testimonios, desde su punto de vista, acerca de la situación actual, los cambios que están ocurriendo, los roles que los sectores involucrados para implementar tanto las estrategias de cambio y la implementación de tecnologías disruptivas. La selección de los expertos tuvo como primer criterio que fueran personas con más de 10 años de experiencia en los sectores industrial, de servicios, académico o combinado. En segundo lugar, se buscaba personas que tuviera experiencia en la realización de proyecto de desarrollo tecnológico en que se integren tecnologías de digitalización, automatización, conectividad, o manufactura avanzada. Es importante señalar, que aún bajo este criterio, hubo entrevistado que reconocieron al campo de tecnologías de Industria 4.0 como muy amplio y sus respuestas se limitarían a los temas de su conocimiento. El instrumento de medición contenía cinco preguntas abiertas que buscaban motivar a los expertos a expresar sus opiniones y percepciones sobre la implementación de tecnologías de Industria 4.0 en México.

Resultados

El cambio derivado por la transformación digital que afecta tanto a los sectores industriales, económicos y sociales, se caracteriza por la implementación de tecnologías de información y conectividad. También han surgido otras tecnologías que impactan nuestra vida diaria las cuales crean incertidumbre en el estado que engloba la denominada Cuarta Revolución Industrial. Mucho se ha especulado de cómo será el futuro y que nos encontramos en un punto divergente en la historia de la

humanidad. No obstante, el cambio que vivimos es difícil de predecirse en forma precisa y el consenso es que habrá impactos que se hayan sobreestimado, o en caso contrario, nunca haberse previsto debido a que el pasado que no tendrá mucha relación con el futuro. Debe denotarse que, no obstante, la complicada tarea de predecir el futuro, la mejor acción es prepararse y definir estrategias para que el cambio no sea sorpresivo. Tener escenarios ya establecidos nos permitirá mitigar las consecuencias negativas, así como potencializar las oportunidades que se generen. Por lo anterior, en este estudio se presenta el análisis de una serie de entrevistas realizadas con expertos en las áreas de educación, industria y servicio, en la cual nos dan testimonios, desde su punto de vista, de cuál es la situación actual que vivimos, los cambios que están ocurriendo, los roles que los sectores involucrados para implementar tanto las estrategias de cambio y la implementación de tecnologías disruptivas. Debido a que el objetivo principal de la entrevista era conocer el conocimiento y punto de vista del experto, se les permitió ahondar en temas que consideraran relevantes. El análisis cualitativo adoptó la técnica de mapas mentales, el cual es un método eficaz en procesos de lluvia de ideas o para la extracción de información, y el cual consiste en la generación de un diagrama donde ideas, tareas u otros conceptos se ordenan de forma radial a la idea principal. En este caso, el primer reto era identificar precisamente la idea principal, el cual suponíamos originalmente que sería “Tecnología” o “Industria”, resultó ser “Sociedad”. Posteriormente se procedió a identificar las tareas secundarias, los cuales fueron designados como “vectores” en este estudio. El resultado fue establecer 6 vectores que, si bien no siempre fueron explícitamente nombrados por los expertos, sí existió una relación directa y evidente entre la respuesta y el vector establecido. La idea principal y los 6 vectores se representan en el diagrama mostrado en la imagen 1. En estos vectores se trata de incluir a todos los actores, segmentados por el tipo sector que representan y su influencia, ya sea en lo individual o de manera conjunta, de los efectos, impactos y consecuencias en la implementación de Industria 4.0 considerando como idea principal a “Sociedad”. De esta forma, el vector “Tecnología” incluye a las tecnologías disruptivas que tendrán mayor influencia, el vector “Industria” engloba a todos los sectores productivos, el vector “Negocio” involucra el concepto generar riqueza a través de la venta de servicios, el vector “Educación” incluye universidades, centros de investigación y capacitación técnica, etc.

El cambio derivado por la transformación digital que afecta tanto a los sectores industriales, económicos y sociales, se caracteriza por la implementación de tecnologías de información y conectividad. También han surgido otras tecnologías que impactan nuestra vida diaria las cuales crean incertidumbre en el estado que engloba la denominada Cuarta Revolución Industrial. Mucho se ha especulado de cómo será el futuro y que nos encontramos en un punto divergente en la historia de la humanidad. No obstante, el cambio que vivimos es difícil de predecirse en forma precisa y el consenso

es que habrá impactos que se hayan sobreestimado, o en caso contrario, nunca haberse previsto debido a que el pasado que no tendrá mucha relación con el futuro. Debido a que el objetivo principal de la entrevista era conocer el conocimiento y punto de vista del experto, se les permitió ahondar en temas que consideraran relevantes. El análisis cualitativo adoptó la técnica de mapas mentales, el cual es un método eficaz en procesos de lluvia de ideas o para la extracción de información, y el cual consiste en la generación de un diagrama donde ideas, tareas u otros conceptos se ordenan de forma radial a la idea principal. En este caso, el primer reto era identificar precisamente la idea principal, el cual suponíamos originalmente que sería “Tecnología” o “Industria”, resulto ser “Sociedad”. Posteriormente se procedió a identificar las tareas secundarias, los cuales fueron designados como “vectores” en este estudio. El resultado fue establecer 6 vectores que, si bien no siempre fueron explícitamente nombrados por los expertos, sí existió una relación directa y evidente entre la respuesta y el vector establecido. La idea principal y los 6 vectores se representan en el diagrama mostrado en la imagen 1. En estos vectores se trata de incluir a todos los actores, segmentados por el tipo sector que representan y su influencia, ya sea en lo individual o de manera conjunta, de los efectos, impactos y consecuencias en la implementación de Industria 4.0 considerando como idea principal a “Sociedad”. De esta forma, el vector “Tecnología” incluye a las tecnologías disruptivas que tendrán mayor influencia, el vector “Industria” engloba a todos los sectores productivos, el vector “Negocio” involucra el concepto generar riqueza a través de la venta de servicios, el vector “Educación” incluye universidades, centros de investigación y capacitación técnica, etc.

Imagen 1

Identificación de la idea principal (Sociedad) y secundarias (6 vectores) a partir de un mapa de ideas



Fuente: Elaboración propia con datos de la investigación

Vector Tecnología

El hallazgo más significativo para el vector Tecnología fue identificar cuáles de todas las tecnologías de Industria 4.0 son las de mayor disrupción. En ese sentido, y considerando que nos encontramos en el umbral de una transformación digital, las tecnologías más disruptivas son: la inteligencia artificial, el internet de las cosas, el cómputo en la nube, la realidad virtual/aumenta, y la impresión 3-D. El

motivo por el cual fueron identificadas como las más disruptivas fue porque pueden integrarse en casi cualquier proceso, servicio, o sector; es decir, son las tecnologías transversales que afectan o tienen injerencia en el resto de las demás tecnologías. También es necesaria su legislación tanto desde un punto de vista normativo como ético. Otra observación importante es el problema que enfrentan las empresas para adoptar la tecnología, el cual suele ser tortuoso, caro y tardado, o bien en caso de lograrlo, maximizar el beneficio de su implementación. En este mismo sentido, se resaltó el área de oportunidad que tiene las universidades y centro de investigación de apoyar a las empresas en este proceso. En el caso del impacto que tendrán las tecnologías en los negocios, se mencionó que es precisamente en este sector donde es más complicado hacer predicciones, por lo que se requiere ser reactivo a los nuevos modelos de negocio que puedan detonarse. Pero en lo que sí se puede actuar ahora es en buscar apoyos o créditos para adquirir tecnologías, pues en el caso de equipos de cómputo de gran capacidad, sensores, software en la nube, etc., los costos han disminuido considerablemente y muchas empresas no invierten por no tener la visión adecuada.

Los cambios que generarán las tecnologías en la educación serán también profundos. Se menciona que en el futuro habrá dos tipos de empleo, En el primer caso estarán los que generen y soporten la tecnología, por lo que programas de estudio en las áreas de ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas (CTIM) deberán reforzarse y actualizarse constantemente. Para el caso del vector Planeta, se ve la gran oportunidad que tiene la tecnología de generar inclusión social al permitir a la población utilizar avatar o gemelos digitales que no creen prejuicios por su raza, imagen o creencias; esto puede apoyar mucho en la selección de vacantes de empleo al eliminar distractores a los reclutadores ver imagen 2.

Imagen 2
Percepciones más significativas para el vector Tecnología



Tecnología

La tecnología es una herramienta para resolver los retos y problemas de las empresas. Muchas veces se pierde el rumbo y el reto termina siendo integrar la tecnología.

Las nuevas tecnologías detonarán nuevos modelos de negocio que todavía no podemos siquiera imaginar. Más importante aún, esas tecnologías ya están disponibles y cada una es más accesible.

En el futuro habrá dos tipos de empleo:

- Trabajos que generen y soporten la tecnología (CTM).
- Trabajos que las computadoras no pueden hacer (o no queremos que hagan).

La tecnología puede generar inclusión social, pero también segregación con aquellas personas que no pueden adoptarlas, generando grandes problemas sociales.

- Asegurar que las tecnologías sean accesibles a la población.
- Legislar nuevos conceptos tales como máquinas como clientes, máquinas como criminales, máquinas como conciencia.

Nos encontramos en el umbral de una transformación económica y social detonada por cinco tecnologías digitales.



Inteligencia artificial



Cómputo en la nube



Internet de las cosas



Impresión 3-D



Realidad virtual / aumentada

Fuente: Elaboración propia con datos de la investigación


Por otro lado, se vislumbra un nuevo tipo de segregación entre aquellos que tengan acceso y dominen la tecnología contra aquellos que sean los nuevos “iletrados en tecnología”, sentenciándolos a una vida de marginación y pobreza para ellos y sus descendientes. Es ahí donde el papel del Gobierno tomará relevancia al normar una digitalización incluyente y accesible para toda la población teniendo especial atención a los grupos vulnerables. Un último aspecto que se deberá tenerse en cuenta son las repercusiones de la colaboración entre máquinas, algoritmos y personas. En ese sentido será necesario identificar y tener modelos de gobernanza que establezcan la responsabilidad y límites a las máquinas y algoritmos, en especial aquellos que integren protocolos de inteligencia artificial. Como ejemplo se tiene el caso de “máquinas como clientes”, que es el caso de las personas que delegarán la compra a sus asistentes digitales, por lo cual es probable que se desarrollen sistemas que busquen los patrones que utiliza el asistente digital por medio de algoritmos. Otro ejemplo es “máquinas como criminales”, que se daría cuando un auto autónomo exceda el límite de velocidad o esté envuelto en un accidente. Una última situación sería el de “máquinas como conciencia, que sucedería cuando los asistentes digitales aconsejen en que acciones no se debería de incurrir, o limitando la capacidad de decisión de las personas.

Vector Industria

Sin entrar en una discusión relativa a cuál es la razón de ser las empresas, para todas existen tres retos principales: reducción de costos, generación de mercados y creación de valor. La reducción de costos va de la mano con las negociaciones que puedan lograr con sus cadenas de distribución, eficiencia en sus procesos administrativos, o en la productividad de su mano de obra. La segunda es encontrar nuevos mercados o incursionar en otros en los que puedan vender sus productos o servicios. Finalmente, la creación de valor va de la mano de la innovación que puedan lograr en sus productos o procesos de manufactura. En cada una de ellas puede implementarse tecnología que pueda elevar su competitividad. Es en ese sentido que debe analizarse y tomar la decisión de qué tecnología deber implementarse, cómo se integrará en los procesos existentes y quién será el encargado de operarla de la mejor manera. Una vez el concepto anterior es asimilado, debe ser dimensionada la importancia que tiene como negocio y motor de la economía la manufactura para el país. Cerca del 18% del PIB y 70% de las exportaciones tiene que ver con la manufactura. Deben buscarse tanto sistemas que eleven la optimización de estos recursos como la reducción de efectos nocivos. Un aspecto de elevada coincidencia fue que en México existen dos tipos de industria: las empresas grandes de primer nivel, la mayoría extranjeras transnacionales, con tecnología de punta, procesos de vanguardia y salarios atractivos ver imagen 3.




Imagen 3





Percepciones más significativas para el vector Industria



Industria

Las industrias deben tener como objetivo, resolver 3 retos principales:

-  Reducción de costos
-  Generación de mercados
-  Creación de valor

-  México tiene una posición privilegiada en términos de manufactura gracias a sus acuerdos comerciales.
70% de las exportaciones son de productos manufacturados.
-  Las universidades y los centros de investigación deben trabajar en el desarrollo de tecnologías, pero igual de importante es saber cómo insertar esas tecnologías en las empresas.
-  La industrialización ha tenido sus consecuencias e impactos en el cambio climático. Es también necesario entender que las reservas de agua, alimento y energía están en riesgo de agotarse.
-  México tiene una industria de 2 velocidades: grandes transnacionales con tecnología de vanguardia y PYMES totalmente rezagadas. Antes de una transformación digital se requiere un cambio de paradigma que les permita insertarse en Industria 4.0.

Fuente: Elaboración propia con datos de la investigación

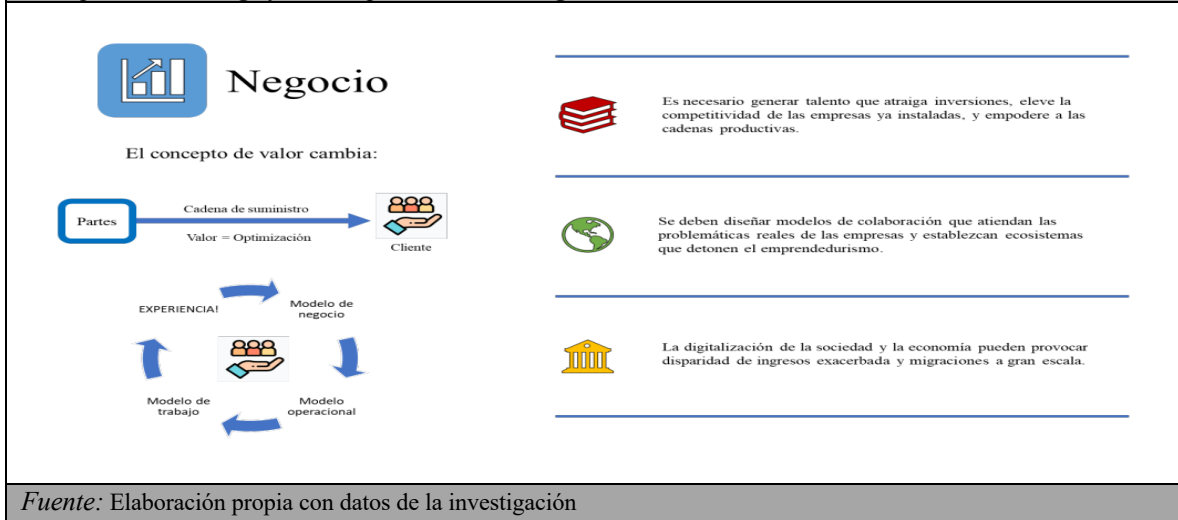
Lamentablemente, mucho de las ganancias que generan y la propiedad intelectual que generan emigra a los países de origen. Por otro lado, la gran mayoría de empresas de capital mexicano, muchas de ellas PYMES, se encuentran rezagadas en un paradigma de Industria 2.0 donde la calidad es el objetivo final, cuando la calidad ya es un requisito esencial para participar en los mercados globales. Es necesario un cambio cultural y organizacional en la mayoría de ellas que les permita insertarse de lleno en Industria 4.0.

Vector Negocio

El sentido de negocio, en una forma simplista, es poder ofrecer algo de valor a cambio de dinero. En el concepto actual es valor siempre ha estado evidente en la optimización de los procesos productivos o de la cadena de suministro. Es decir, la ventaja competitiva es poder ofertar un producto a menor precio que la competencia. En el futuro, al delegar la compra a los asistentes digitales, la ventaja competitiva será la experiencia que pueda disfrutar el cliente por nuestro producto o servicio. Esto repercutirá en la manera en que se diseñen los modelos de negocio, los modelos en las empresas operan y también la forma en que trabajamos. Tomando entonces lo anterior, se deben tener ecosistemas que eleven la competitividad de las empresas y también detonen la creación de nuevas mediante esquemas de colaboración y vinculación que les ayuden a resolver sus problemas actuales, pero también los apoyen a diseñar sus nuevas organizaciones. Esto incluye también contar con el talento que pueda soportar ese ecosistema y al mismo tiempo atraer inversiones y empoderar las cadenas productivas. Un aspecto importante en este vector es que la transformación digital por la que estamos atravesando provoque una disparidad de ingresos exacerbados y migraciones a gran escala, lo cual puede llegar a detonar en disturbios sociales con terribles consecuencias ver imagen 4.

Imagen 4

Percepciones más significativas para el vector Negocio






Vector Educación

La educación será uno de los sectores que se verán más afectados por el cambio tecnológico en el que estamos inmersos. Los modelos educativos actuales se están volviendo obsoletos por estar en un paradigma de que la información es escasa y debe ser memorizada por los alumnos. Eso era un modelo adecuado hace 30 años; ahora es todo lo contrario, los jóvenes están inundados de información. El reto ahora es desarrollar en los estudiantes la capacidad de poder analizar la información que reciben para decidir cuál es útil y cuál no, qué información es verídica y cuál es falsa, cuáles son fuentes confiables y cuáles tienen procedencia dudosa. Eso, en resumen, es pensamiento crítico. Otras habilidades que deberán desarrollar será su capacidad de comunicación y poder colaborar en equipo. No es posible pensar en proyectos o incluso tareas que no requieran de capacidades multidisciplinarias; el paradigma de trabajar aislado tendrá que limitarse a actividades muy específicas. Finalmente, la última habilidad que deberá desarrollarse será la creatividad. Los modelos educativos limitan las posibilidades de creatividad debido a que se enfocan a un pensamiento lógico ya establecido que, si bien es eficiente para resolver problemas acotados, los retos en la era de la Industria 4.0 no podrán enfrentarse con los conceptos y metodologías actuales. Las cuatro habilidades descritas antes conforman lo que ahora se conoce como las 4C's, y su importancia radica en que los cambios tecnológicos suceden cada vez más rápido, pero las personas viven más años, por lo que muchos de ellos deberán reinventarse y adaptarse a cambios de empleo donde lo más seguro es que el conocimiento técnico que tenían ya los sirva en su nueva actividad. Es en el ejemplo anterior donde el gobierno deberá participar activamente y establecer programas de capacitación y reinserción a los sectores productivos para las personas desplazadas por la tecnología ver imagen 5.

Imagen 5

Percepciones más significativas para el vector Educación

 <h2>Educación</h2> <p>Si puede reducirse a un algoritmo, entonces puede automatizarse.</p> <p>Los cambios tecnológicos demandan un sistema educativo donde lo importante sea preparar a las personas para los constantes cambios que enfrentarán en su vida:</p> <ul style="list-style-type: none">• Pensamiento Crítico• Comunicación• Colaboración• Creatividad	<hr/>  <p>El acceso a la información ya no es problema, la educación debe estar enfocada al desarrollo de habilidades que les permita adaptarse a los cambios tecnológicos, cada vez más rápidos, contrastados con una esperanza de vida cada vez más lenta.</p> <p>Los retos que la educación también enfocarse son:</p> <ul style="list-style-type: none">• La división del ser humano con la naturaleza.• La división del ser humano con la sociedad.• La división del ser humano consigo mismo. <hr/>  <p>Se estima que a nivel mundial 75 millones de empleos serán desplazados por máquinas y algoritmos. Los trabajos con mayor riesgo son los de media habilidad.</p> <p>Es necesario diseñar una estrategia de reinserción al empleo que capacite a las personas que han perdido su trabajo y les permita ubicarse en los sectores productivos emergentes.</p> <hr/>
---	---

Fuente: Elaboración propia con datos de la investigación

Vector Planeta

Es la realidad que algo que separa al ser humano de otros seres es cuestionarse su propósito en la vida. Esa búsqueda por la razón de vivir también nos separará de las máquinas y los algoritmos, pero entonces deberemos concentrarnos en definir cuál es el propósito correcto del individuo con la naturaleza, con la sociedad y consigo mismo. Si una consecuencia de vivir en un mundo donde la competencia es global, y las sociedades avanzadas desplazan a las comunidades rezagadas, puede entenderse el sentimiento de desesperanza y angustia que muchas personas sufren. Al incluir la tecnología como un competidor más, es posible que muchas personas vean como la única solución el rechazo y aversión a la tecnología, agravando aún más el problema.

Vector Gobierno

Una vez analizadas las distintas percepciones y sus contrastes con los vectores, es evidente la importancia del rol que deberán tener las instituciones gubernamentales en la normatividad y gobernanza de las tecnologías disruptivas durante su implementación y ser reactivos a los cambios que generen a fin de evitar disturbios o conflictos sociales. Como conclusión, el primer paso sería desarrollar una estrategia industrial con objetivos de alto valor, incluyente con todos los actores que la conforman, promoviendo la vinculación entre ellos y escalable a niveles local, regional y nacional ver imagen 6.

Imagen 6

Percepciones más significativas para los vectores Planeta y Gobierno



Planeta

Hay que construir el futuro.

Existen más posibilidades de logro si uno va construyendo su futuro que apostando a lo que no se tiene certeza de los que ocurrirá.



Los seres humanos tienen un propósito, las máquinas todavía hacen lo que se le pide o programa.

Habría que concentrarse en definir el propósito correcto.



Es necesario diseñar una estrategia industrial con objetivos de alto valor, incluyente con los actores que la conforman, y escalable a niveles local, regional y nacional.



Fuente: Elaboración propia con datos de la investigación

Conclusiones

Uno de los hallazgos más significativos de este estudio fue que para el vector Tecnología pudo identificarse cuáles de todas las tecnologías de Industria 4.0 son las de mayor disrupción. En ese sentido, y considerando que nos encontramos en el umbral de una transformación digital, las tecnologías más disruptivas son: la inteligencia artificial, el internet de las cosas, el cómputo en la nube, la realidad virtual/aumentada, y la impresión 3-D.

El primer paso para poder crear una base sólida en lo que se refiere a la implementación de la industria 4.0 en México, las universidades deben apostar más por la educación práctica más que la educación recepcional o teórica donde se adopte una cultura de compromiso por la realización de visitas industriales frecuentes, laboratorios, actualización de catedráticos y afines a los perfiles necesarios. El gobierno a mi criterio es el primer pilar o el primer paso para la implementación de dicha revolución en México, cierto es que se acaba de implementarse una nueva reforma educativa con miras de una creación de perfiles laborales acordes a la globalización carece de fundamentos lógicos ya que los planes educativos siguen siendo obsoletos, al cambiar las metodologías de estudio en México, iniciar a observar a detalle y analizar a nuestro vecino teniendo en cuenta que es una de las principales economías del mundo se podrá iniciar un cambio verdadero en la educación

Otro aspecto importante es la necesaria la colaboración estrecha entre empresas, universidades y centros de investigación ya que en México solamente una de cada 4 empresas que realizan investigación y desarrollo lo hace en vinculación con instituciones educativas. Por otra parte, la educación en México también debe estar más encaminada a introducir a los futuros profesionistas en ambientes más digitalizados, lo que a algunos profesores les gusta mencionar es que si se pretende

crear una cultura de industria 4.0 en el país, también es necesaria la implementación de las universidades 4.0, lo que por supuesto daría como resultado un incremento significativo en el porcentaje de empresas que recurren a vinculación con la academia. Además, es una realidad que en el país el capital destinado a los departamentos y organizaciones de I+D es escaso por lo que el gobierno también tiene un rol fundamental al facilitar estos recursos. Respecto al impacto que tendrían las tecnologías disruptivas en la industria en México, sería primeramente el social, que se podría mitigar con una comunicación masiva acerca del beneficio de dicha industria y las oportunidades de mejoras en el país que vienen con ella. La falta de cultura digital y la resistencia al cambio, educar talentos y habilidades, es algo que debe ser tomado en cuenta para la formación de ingenieros, mismos que cada vez se van enfrentando a un futuro lleno de incertidumbres. La industria mexicana no está en los niveles de robotización de países con los que se compara y aspira a competir es, en gran parte, porque aún existe la alternativa de la mano de obra. Y esto es así porque en México la mano de obra es objetivamente barata para poder automatizar las empresas implican un aumento de los salarios se traduciría en más costo de producción y, por tanto, mayor precio final, que el consumidor no está dispuesto a pagar. Se requiere de un buen TLC donde se llegue a un convenio de exportación con mayores beneficios para el sector empresarial mexicano ya que en las negociaciones con estados unidos y Canadá en 15 dólares la hora eso sería un impacto negativo para las PYMES que no están automatizadas y necesitan mano de obra intensiva.

Unos de los principales riesgos para la población será el desempleo, porque algunas de las tecnologías que contempla son los robots colaboradores, donde busca sustituir a trabajadores (no por completo ya que son colaboradores) por la exactitud al fabricar piezas y productos. Sin embargo, los grandes impactos serán el económico y una fabricación de calidad, ya que la industria 4.0 busca disminuir el costo por unidad, una producción personalizada y sobre todo la optimización de tiempos.

Referencias

- Ambalal Rana, J., & Jani, S. Y. (2022). An integrated Industry 4.0-Sustainable Lean Six Sigma framework to improve supply chain performance: a decision support study from COVID-19 lessons. *Journal of Global Operations and Strategic Sourcing*. Doi: 10.1108/JGOSS-04-2022-0032
- Boston, C. G. (2019). Embracing Industry 4.0. *Boston Consulting Group*. [Online].
- Buchi, G., Cugno, M., & Castagnoli, R. (2020). Smart factory performance and industry 4.0. *Technological Forecasting and Social Change*, 150. doi:10.1016/j.techfore.2019.119790
- Chauhan, C., & Singh, A. (2020). A review of industry 4.0 in supply chain management studies. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 31(5), 863-886.
- Dantas, T. E., Destro, I. R., Hammes, G., Rodriguez, C. M., & Soares, S. R. (2021). "How the combination of circular economy and industry 4.0 can contribute towards achieving the sustainable

development goals". *Sustainable Production and Consumption*, 26, 213-227. doi:10.1016/j.spc.2020.10.005.

Deloitte. (2016). *Global Manufacturing Competitiveness Index*. London: The Creative Studio at Deloitte.

Economy, M. o. (2016). *Crafting the future: a roadmap for industry 4.0 in Mexico*. Asociación Mexicana de la Industria de Tecnologías de Información, A.C.

Emerald, G. (2008). Innovation is more than just a good idea. *Strategic Direction*, 24 (8).

FORBES, R. (7 de Diciembre de 2018). *México podría convertirse potencia en manufactura en 2018*. Obtenido de México podría convertirse potencia en manufactura en 2018: <https://www.forbes.com.mx/mexico-convertirse-potencia-manufactura-2018/>

Frank, G., Dalenogare, L. S., & Ayala, N. F. (2019). Industry 4.0 technologies: implementation patterns in manufacturing companies. *International Journal of Production Economics*, 210(2019), 15-26. Doi: 10.1108/JMTM-10-2019-0368.

Horvarth, D., & Szabo, R. Z. (2019). Driving forces and barriers of industry 4.0: do multinational and small and medium-sized companies have equal opportunities? *Technological Forecasting Social Change*, 146, 119-132. doi:10.1016/j.techfore.2019.05.021.

Jun, N., & Lee, J. (2015). Emerging and Disruptive Technologies for the Future of Manufacturing. *Case study*, 7.

Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2013). *Securing the future of German manufacturing industry: recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0*", *Final Report of the Industrie 4.0 Working Group*. Obtenido de [http://forschungsunion.de/pdf/ Working Group, industrie_4_0_final_report.pdf](http://forschungsunion.de/pdf/Working_Group_industrie_4_0_final_report.pdf)

Li, X., Li, D., Wan, J., Vasilakos, A. V., Lai, C. F., & Wang, S. (2015a). A review of industrial Wireless networks in the context of Industry 4.0. *Wirel Netw*. Doi: 10.1007/s11276-015-1133-7

Lin, B., Wu, W., & Song, M. (2019). Industry 4.0: driving factors and impacts on firm's performance: an empirical study on China's manufacturing industry. *Annals of Operations Research*. doi:<https://doi.org/10.1007/s10479-019-03433-6>

Machado, C. G., Winroth, M. P., & Ribeiro da Silva, E. H. (2020). Sustainable manufacturing in industry 4.0: an emerging research agenda. *International Journal of Production Research*, 58(5), 1462-1484. doi:10.1080/00207543.2019.1652777

Mukhty, S., Upadhyay, A., & Rothwell, H. (2022). Strategic sustainable development of industry 4.0 through the lens of social responsibility: the role of human resource practices". *Business Strategy and the Environment*, 31(5), 2068-2081. doi:10.1002/bse.3008.

Organización Mundial del Comercio. (31 de Julio de 2017). *México es cuarto lugar a nivel mundial en importación de robots industriales*. Obtenido de México es cuarto lugar a nivel mundial en importación de robots industriales: <https://www.xataka.com/otros-1/mexico-es-cuarto-lugar-a-nivel-mundial-en-importacion-de-robots-industriales>

Oztemel, E., & Gursev, S. (2020). Literature review of industry 4.0 and related technologies. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 31, 127-182. Doi: 10.1007/s10845-018-1433-8.

Pereira, A. C., & Romero, F. (2017). A review of the meaning and the implications of the industry 4.0 concept. *Procedia Manufacturing*, 13. doi:10.1016/j.promfg.2017.09.032.

Roblek, V., Mesko, M., & Krapez, A. (2016). A complex View of industry 4.0. *SAGE Open*, 6(2). Doi: 10.1177/2158244016653987.

Salkin, C., Oner, M., Ustundag, A., & Cevikcan, E. (2018). *A conceptual framework for industry 4.0 in Industry 4.0: Managing the Digital Transformation*. Springer Series in Advanced Manufacturing. Springer. Doi: 10.1007/978-.

Schroder, C. (2017). *The challenges of industry 4.0 for small medium sized enterprises*. Obtenido de <https://library.fes.de/pdf-files/wiso/12683.pdf>

Simmert, B., Philipp, A. E., Christoph, P., Christiane Bittner, E. A., & Jan, M. L. (2019). Conquering the Challenge of Continuous Business Model Improvement. *Business & Information Systems Engineering*, 61(4), 451-468. Doi: 10.1007/s12599-018-0556-y.

- Singh, M., & Rathi, R. (2019). A structured review of lean six sigma in various industrial sectors. *International Journal of Lean Six Sigma*, 10(2), 622-664.
- Stentoft, J., & Rajkumar, C. (2020). The relevance of industry 4.0 and its relationship with Moving manufacturing out, back and staying at home. *International Journal of Production Research*, 58(10), 2953-2973. Doi: 10.1080/00207543.2019.1660823.
- Varghese, A., & Tandur, D. (2014). Wireless requirements and challenges in industry 4.0. *International Conference on Contemporary Computing and Informatics (IC3I), 2014, IEEE*, 634-638.
- Wang, S., Wan, J., Zhang, D., Li, D., & Zhang, C. (2016). Towards smart factory for Industry 4.0: a self-organized multi-agent system with big data based feedback and coordination. *Comput Netw* 000, 1–11.
- Yuksel, H. (2022). Industry 4.0 transformation: factors affecting adoption and impacts on companies. *International Journal of Industrial Engineering and Operations Management*, 4(3), 63-89. Doi: 10.1108/IJIEOM-06-2022-0020
- Zheng, T., Ardolino, M., Bacchetti, A., Perona, M., & Zanardini, M. (2020). The impacts of industry 4.0: a descriptive survey in the Italian manufacturing sector. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 31(5), 1085-1115. Doi: 10.1108/JMTM-08-2018-0269.