



Las Tecnologías Disruptivas en la Industria 4.0

Irma Morán Chávez

Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial (CIDESI) Automatización.
Dirección de Desarrollo y Lineamiento Organizacional, Dirección de Energía y Dirección
Adjunta de Ciencia y Tecnología. Querétaro, Qro.
imoran@cidesi.edu.mx

Jaime Apolinar Martínez Arroyo

Facultad de Contaduría y Ciencias Administrativas
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Mich.
jmartinez@umich.mx

Recibido el 23 de febrero de 2023; Aceptado el 03 de julio de 2023; En línea el 28 de agosto de 2023

Resumen:

El mundo está en el umbral de experimentar una sexta oleada de progreso tecnológico que tendrá impactos en los sectores productivos estratégicos mexicanos, el objetivo de este trabajo es describir las tecnologías disruptivas más importantes y su adopción en la manufactura en México. Se prevé una adopción acelerada de tecnologías disruptivas como: aprendizaje de las máquinas, realidad virtual, materiales inteligentes, nanotecnología avanzada, impresión 3D, robótica colaborativa, internet de las cosas, automatización entre otras, cubrirán un alto porcentaje de las actividades productivas a nivel global. Método se realizó una entrevista de profundidad a expertos de las áreas de educación, industria y servicio sobre la implementación de tecnologías disruptivas. Resultados el vector “Tecnología” incluye a las tecnologías disruptivas que tendrán mayor influencia en la manufactura en México ante eso, se busca estimar la dimensión de los impactos, así como de las estrategias necesarias para hacerles frente, basadas en una Política Pública adecuada en un marco de sustentabilidad y bienestar social.

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

Códigos JEL: Q55; O33

Disruptive Technologies in Industry 4.0

Abstract:

The world is on the threshold of experiencing a sixth wave of technological progress that will have an impact on the strategic Mexican productive sectors. The objective of this paper is to describe the most important disruptive technologies and their



adoption in manufacturing in Mexico. An accelerated adoption of disruptive technologies is expected such as: machine learning, virtual reality, intelligent materials, advanced nanotechnology, 3D printing, collaborative robotics, the Internet of Things, automation, among others, will cover a high percentage of productive activities globally. . Method An in-depth interview was conducted with experts from the areas of education, industry and service on the implementation of disruptive technologies. Results The "Technology" vector includes the disruptive technologies that will have the greatest influence on manufacturing in Mexico. Given this, it seeks to estimate the dimension of the impacts, as well as the necessary strategies to deal with them, based on an adequate Public Policy in a framework of sustainability and social well-being.

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

JEL Codes: Q55, O33.



Introducción

Las empresas manufactureras de todo el mundo se encuentran hoy bajo una presión cada vez mayor debido a la competencia y regulaciones, lo que les obliga a equilibrar su desempeño económico para permanecer en el negocio. Por lo tanto, para superar tales situaciones, las organizaciones necesitan implementar diversas estrategias que les permitirán llevar a cabo actividades comerciales de manera ininterrumpida (Ambalal Rana & Jani, 2022). Dicha presión representada por, una globalización progresiva, la personalización masiva y los entornos comerciales competitivos significan que la empresa "tradicional" se enfrenta a nuevos desafíos comerciales en la economía turbulenta actual (Simmert et al., 2019). La demanda de tiempos de entrega más rápidos, más eficientes y automatizados procesos, mayor calidad y productos personalizados han impulsando a las empresas hacia la llamada cuarta revolución industrial, conocida como Industria 4.0. Esta oleada de progreso tecnológico tendrá impactos en los sectores productivos estratégicos mexicanos (Boston, 2019). Se prevé una adopción acelerada de tecnologías disruptivas como: aprendizaje de las máquinas, realidad virtual, materiales inteligentes, nanotecnología avanzada, impresión 3D, robótica colaborativa, internet de las cosas, automatización entre otras, cubrirán un alto porcentaje de las actividades productivas a nivel global.

En este sentido es importante señalar que la tecnología de la industria manufacturera ha experimentado cambios revolucionarios durante el último siglo con estos progresos tecnológicos. Diversas estrategias de manufactura, incluida la producción en masa, la manufactura esbelta, fabricación flexible, fabricación ágil, fabricación reconfigurable, manufactura predictiva, manufactura cibernética y personalización en masa, han sido introducidas para mejorar drásticamente la productividad, la calidad, el costo y la variedad. Estas estrategias se realizan principalmente mediante tecnologías habilitadoras como Internet de las cosas, sensores avanzados, big data industrial, aprendizaje de las máquinas, sistemas ciberfísicos, etc. Los rápidos avances en ciencia de materiales, inteligencia artificial, automatización/robótica, óptica y la mecatrónica, entre otros, están impulsando un cambio transformador en las Tecnologías en manufactura para satisfacer las futuras demandas personalizada cada vez más exigentes, alta calidad, costo accesible, mayor funcionalidad, eficiencia energética y métodos ambientalmente sostenible, es



indudable que estas herramientas están cambiando la manufactura (Jun & Lee , 2015). Sin embargo, no es sólo la competencia del mercado lo que obliga a las organizaciones a evolucionar continuamente para lograr la excelencia en el rendimiento, también la mejora constante de la madurez organizacional, búsqueda del desarrollo corporativo y estrategia para mejorar la mano de obra para la excelencia organizacional, debido a las preocupaciones ambientales, la reducción de residuos y la conservación de los recursos es imperativo (Singh & Rathi, 2019).

El término “Industria 4.0” se acuñó por primera vez en la Feria de Hannover en 2011, originado a partir de un proyecto nacional iniciado por el Gobierno alemán, destinado a promover la digitalización de la fabricación (Kagermann et al., 2013). La Industria 4.0 se considera una nueva etapa industrial en la que se dispone de la integración de procesos de fabricación verticales y horizontales y el uso de la electrónica y las 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 mejor desempeño en términos de productividad, costos, calidad, sustentabilidad, capacidad de respuesta y esbeltez (Chauhan & Singh, 2020). De este modo la manufactura será más inteligente, más flexible, más adaptativa, más autónoma, no tripulada y más basada en sensores con tecnologías 4.0 (Oztemel & Gursev, 2020). De tal forma que, comprender el concepto de la Industria 4.0 es importante para analizar los factores que pueden animar a las empresas a avanzar hacia este enfoque (Horvarth & Szabo, 2019). Sin embargo, la transformación de la Industria 4.0 y las aplicaciones de las tecnologías de Industria 4.0 en las empresas se ven obstaculizadas por muchos desafíos (Yuksel, 2022)

Una vez Identificado los impulsores y barreras esenciales ayuda a las empresas para saber hacia dónde apuntar y/o hacer mejoras para mantenerse competitivo (Stentoft & Rajkumar, 2020). También será importante que las empresas desarrollen estrategias y hagan planes de acuerdo a los factores que afectan más a la Industria 4.0. (Yuksel, 2022). Con lo anterior, el objetivo de este trabajo es describir las tecnologías disruptivas más importantes y su adopción en la manufactura en México. Industria 4.0 simboliza la cuarta revolución industrial, y el objetivo de Industria 4.0 es aumentar el nivel de automatización e intercambio de datos en tecnologías de manufactura (Sony y Naik, 2020). Industria 4.0 define una metodología para generar una transformación de la fabricación dominada por máquinas



a la manufactura digital (Oztemel y Gursev, 2020). También, es un paradigma que incluye un nuevo enfoque de la producción y cambios en las estructuras tradicionales de control centralizado a favor de estructuras descentralizadas (Prause y Weigand, 2016).

El concepto de Industria 4.0 está asociado a la técnica perspectiva de un sistema ciberfísico (CPS) integrado en las operaciones de fabricación y con tecnologías IoT en los procesos industriales, que pueden representarse mediante fábricas inteligentes, productos inteligentes y redes de valor extendidas: integración vertical, horizontal y de extremo a extremo (Machado et al., 2020). El objetivo principal de la Industria 4.0 es permitir procesos de fabricación autónomos, integrados, optimizados y dinámicos proporcionados por IoT, big data y altas tecnologías (Frank et al., 2019); Además crear cambios en los sistemas de producción y proporcionar “adaptabilidad, eficiencia de recursos, así como una mejor integración de los procesos de oferta y demanda entre las fábricas” (Varghese & Tandur, 2014). Uno de los propósitos de la Industria 4.0 es combinar los mundos digital y físico. La Industria 4.0 está formada predominantemente por dos impulsores principales: CPS e IoT e IoS (Pereira & 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, orientación a servicios y procesos de negocio integrados, La agilidad y los procesos de negocio integrados son los más importantes de estos principios de diseño (Salkin et al., 2018).

El tamaño de la empresa tiene un importante e impacto positivo en la implementación de la Industria 4.0 (Lin et al., 2019). Existe una relación importante entre el tamaño de la empresa y el nivel de digitalización de las empresas y la implementación de tecnologías de Industria 4.0 en las empresas (Schroder, 2017). Las empresas más grandes tienen más probabilidades de adoptar tecnologías de Industria 4.0 y las empresas más pequeñas tienen más probabilidades de obtener beneficios de la implementación (Buchi et al., 2020). Un alto nivel de conocimiento de la Industria 4.0 en las grandes empresas es el factor principal para la alta adopción de las tecnologías habilitadoras de la Industria 4.0 en estas empresas (Zheng et al., 2020). Por consiguiente, para una adaptación exitosa del sistema a la Industria 4.0, se deben tener en cuenta tres características: (1) integración horizontal a través de cadenas de valor, (2) integración vertical y conexión en red de sistemas de fabricación o servicio, y (3) ingeniería



de extremo a extremo del conjunto. cadena de valor (Wang et al., 2016). De tal forma que, la principal motivación de la Industria 4.0 es la conexión e integración de los sistemas de fabricación y servicio para proporcionar eficacia, adaptabilidad, cooperación, coordinación y eficiencia (Li et al., 2015a).

Las tecnologías disruptivas en la Industria 4.0

Simulación y modelación: En la Industria el crecimiento de las técnicas de simulación y modelación en ambientes virtuales ha permitido en años recientes la disminución de costos de desarrollo que se invertían en prototipos físicos y se han incrementado los niveles de confiabilidad y seguridad en los productos con el uso de éstas técnicas; de la misma forma el tiempo de desarrollo de un producto ha disminuido considerablemente.

Realidad aumentada: El desarrollo y aplicación de la realidad aumentada ha permitido a los usuarios interactuar con medios virtuales, sea con fines de desarrollo de producto (diseño) o entrenamiento de personal para mantenimiento u operación de equipos.

Integración de sistemas: Es la conjunción de sistemas físicos y virtuales que forman parte de megaprocesos, ésta integración permite a diferentes sistemas y subsistemas operar de forma conjunta con una sola plataforma integradora.

Manufactura Aditiva (Impresión 3D): Esta tecnología ha tenido un gran impacto desde sus primeras aplicaciones, permitiendo que a partir de un diseño virtual se pueda producir un producto físico 100% operativo sin largos procesos de Prototipado y fabricación.

Materiales inteligentes: Otro de los grandes avances en años recientes, se trata del desarrollo de materiales capaces de cambiar su forma y propiedades en presencia de solicitudes externas como,

campos magnéticos, calor, vibración etc. También se han desarrollado materiales autorreparables y con memorias de forma. Su futuro y aplicaciones son inimaginables.

Robótica colaborativa e inteligente: En la actualidad el uso de los robots que compartan espacios de trabajo con los humanos sin jaulas de restricción y que colaboren con el humano en aquellas actividades que impliquen un riesgo de seguridad o salud está en crecimiento.

Internet de las Cosas (IoT): La extensión en el uso de tecnologías móviles y el crecimiento del internet, permiten el uso de tecnologías para interactuar con equipos y máquinas, procesos y sistemas directo con aplicaciones en celular. Es decir, desde una aplicación móvil se pueden accionar refrigeradores, lavadoras, sistemas de iluminación, etc. en el hogar y a nivel industrial se puede conocer el estado e interactuar con máquinas y procesos productivos, logrando con ello una interacción efectiva entre humanos y máquinas.

Sistemas y espacios ciberfísicos: La aplicación de tecnologías IoT, de simulación y realidad aumentada requieren del concepto de espacio ciberfísico, esto significa que el modelo, proceso o máquina representada en el mundo virtual, es una réplica exacta en configuración y operación en el mundo real; lo que se interactúe en el mundo virtual se reflejará en una acción exacta en el mundo real. Ciberseguridad: Los sistemas Ciberfísicos, el cómputo en la nube, y las IoT, requieren de altos niveles de seguridad, por ello los sistemas de seguridad en el ciber espacio deben ser garantizados.

Big Data: Este gran tema se refiere a la gran cantidad de datos que deben ser almacenados y procesados en la nube, por ello el tema de almacenamiento, manejo y procesamiento de gran cantidad de datos es crucial para las tecnologías 4.0.

La nube y Ciberseguridad: Como ya se mencionó en Big Data, la información procedente de los sistemas, equipos y procesos debe ser operada en la nube, con el fin de tener accesibilidad a los datos desde cualquier locación en cualquier momento.



Inteligencia Artificial: La inteligencia Artificial es una de las tecnologías disruptivas transversales, es decir es la que da la inteligencia a los sistemas como por ejemplo los robots inteligentes, sistemas expertos de manufactura, sistemas interconectados de Internet de las Cosas y a la Integración de sistemas.

Análisis de México

De acuerdo a FORBES, México es el octavo país con la mayor industria manufacturera, la manufactura representa el 20 % del PIB, y la mayor parte procede de sectores como el automotriz, aeroespacial, energía, bebidas, alimentos y electrónica. Por ello, México está ante la oportunidad de convertirse en una potencia manufacturera si logra capitalizar desde hoy las tecnologías de la industria 4.0 (FORBES, 2018)

Como muestra de lo anterior, México, es el cuarto país del mundo que más importa robots industriales, según la Organización Mundial de Comercio (OMC), China es el país que más robots industriales importa en el mundo con 878 millones de dólares; Alemania se queda con el segundo lugar con 346 millones de dólares; Estados Unidos con 291 millones de dólares y en cuarto lugar México, importando 158 millones de dólares en el último año. Pero, a pesar de ello, en el terreno de los cobots (robots colaborativos, capaces de interactuar con los seres humanos en las jornadas laborales), el país apenas está dando sus primeros pasos (Organización Mundial del Comercio, 2017). Por lo anterior México debe preparar a sus actuales y futuros trabajadores para poder adaptarse y potenciar sus capacidades a la utilización de estas nuevas tecnologías y su implicación en la vida laboral.

En este mismo sentido, El Global Manufacturing Competitiveness analizo la competitividad de la industria manufacturera en México destacando lo siguiente:

México es un importante fabricante de productos electrónicos y partes, maquinaria y aparatos, naves aeroespaciales y partes. Las exportaciones manufactureras de México formaron las tres cuartas partes



de las exportaciones totales de mercancías durante el período de cinco años 2010-14. El PIB manufacturero de México alcanzó su punto máximo en 1988 con 22.4 por ciento. México se perfila como potencia manufacturera en un mercado automotriz global, ya que es la séptima economía fabricante de vehículos y el sexto más grande fabricante de autopartes. El país representó 3,7 por ciento de participación en la producción mundial de vehículos. Y 93 de las 100 mejores marcas automotrices globales operan en México

En este mismo reporte se resaltan las principales ventajas de México para los manufactureros: Costos de mano de obra competitivos: México ofrece los costos de mano de obra más bajos de Norte América, aproximadamente seis veces más bajos que Estados Unidos y Canadá. Aún en Latinoamérica, México tiene costos más bajos que Brasil y Argentina con costos por hora de \$6.36 USD comparados con los \$11.20 USD en Brasil y los \$18.87 USD en Argentina (datos 2012). - Proximidad a Estados Unidos: México tiene acceso al mercado más grande en el mundo, ya que productos fabricados en México pueden llegar al mercado de Estados Unidos en menos de un día con los más bajos costos de transportación. - Costos energéticos más bajos: Los costos promedio de gases industriales en la región son 63% más bajos y los de electricidad 4% más bajos que en China. México tiene además tratados de libre comercio con Estados Unidos, Canadá y otros 42 países.

De igual forma en este documento se señalan los principales retos para México que tiene en la industria manufacturera y son:

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” (Economy, 2016) , 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. En dicho documento se muestra el análisis FODA realizado a México, el cuál plantea un panorama general de la preparación del país para la adopción de las tecnologías 4.0 en 2016, actualmente varios puntos identificados pueden haber perdido validez por los cambios del entorno.

Fortalezas

Voluntad política; Cantidad y disponibilidad de recursos humanos; Alineación de intereses entre los involucrados en el desarrollo de IoT e Industria 4.0; Economía de los servicios en crecimiento; Industrias de alta tecnología demandan la generación de tecnologías; Crecimiento de la Industria de la automatización; México el segundo mercado más grande en LATAM; Desarrollo de pequeños y medianos negocios asociados a procesos productivos de compañías grandes que pueden adoptar



sistemas de producción 4.0; Infraestructura con 250K puntos de acceso; La Industria automotriz es un Sector estratégico maduro; Oferta académica amplia para generar talento especializado; Comprensión del medio ambiente nacional (visión holística para implementar Sistemas Operativos Urbanos), Precios competitivos; Disponibilidad de recursos humanos creativos; Soporte del gobierno para programas específicos de la Industria, Industria electrónica posicionada como líder de exportación de bienes sofisticados.

Debilidades

Marco regulatorio ineficiente; Bajo accesos a internet y altos anchos de banda; Baja tasa de colaboración entre la academia y la Industria; Baja especialización y experiencia en la Industria; Baja inversión y adopción de tecnologías de la información; Ausencia de programas educativos especializados en automatización y digitalización; Acceso limitado a capital y créditos; Baja concientización sobre las tecnologías 4.0 en la Industria; Desalineación entre academia e Industria; Débil soporte a registro de patentes e invenciones; Infraestructura tecnológica deficiente e insuficiente; Mercado interno sin desarrollar; Deficiente medioambiente para la innovación; Falta de estrategia gubernamental a largo plazo para desarrollar la Industria 4.0; Falta de políticas públicas diseñadas para promover la Industria 4.0; Ausencia de visión multidisciplinaria; Baja propensión de las compañías mexicanas a desarrollar su propia tecnología.

Oportunidades

La Industria de la información y telecomunicaciones como Industria transversal representa una oportunidad para sectores estratégicos; Demanda creciente por aplicaciones de sistemas inteligentes; Colaboración entre el sector productivo y el académico; Fuertes lazos económicos y cercanía con Estados Unidos; México es la décima economía en el mundo y una de las más relevantes en manufactura; Crecimiento del mercado interno; Tendencia global para crear fábricas inteligentes; Redefinición de



costos en la cadena de valor; La IoT incrementará la competitividad mundial en el marco de la Industria 4.0; Detonación del desarrollo regional; Reforma del marco legal de las telecomunicaciones; Costos competitivos de mano de obra calificada.

Amenazas

Prioridad a la adquisición de tecnología por sobre la generación; El riesgo de quedarse atrás en el uso y aplicaciones de las tecnologías 4.0; Ladrones de datos y ciberseguridad; Bajo uso de la información digital por percepción de inseguridad; Sistemas globales sin interoperabilidad; Decrecimiento de la tecnología como consecuencia de los intereses de terceras partidas no relacionadas; Marco legal indefinido; Falta de acceso a financiamientos por parte de las Micro, Pequeñas y Medianas empresas; Inexistencia de una comisión específica o entidad para asistir a la Industria 4.0; Programas pilotos iniciales deben ser considerados; Ausencia de una visión común para reformas legales y marco legal aplicable; Baja difusión de las mejores prácticas de Industria 4.0 en clústeres y parques tecnológicos; Otros países con costos de producción más bajos; Influencia de políticas estadounidenses en los sectores económicos e industriales (Economy, 2016).

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

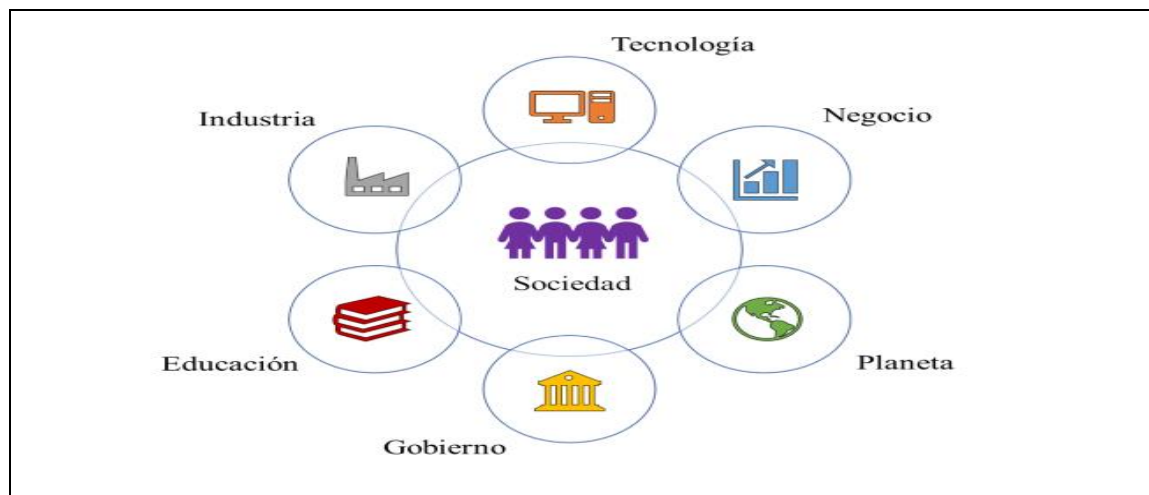
El cambio derivado por la transformación digital que afecta tanto a los sectores industriales, económicos y sociales, se caracteriza por la implementación de tecnologías de información y conectividad. También han surgido otras tecnologías que impactan nuestra vida diaria las cuales crean incertidumbre 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. 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.

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

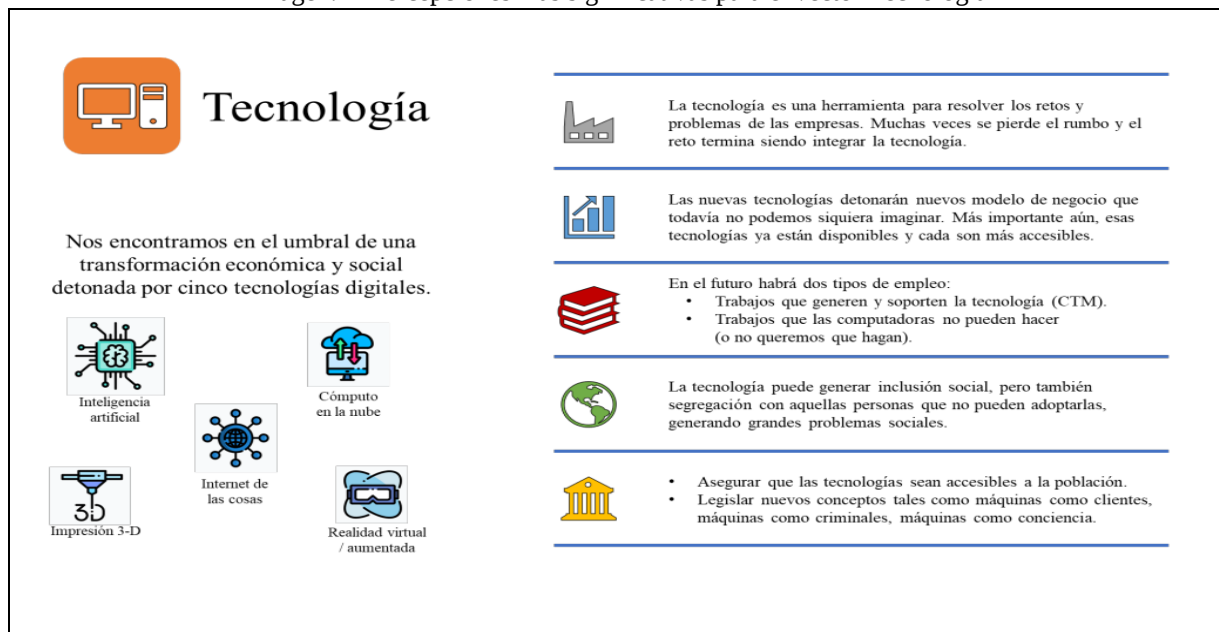
Vector Tecnología

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. El otro tipo de empleo será aquellas actividades que no podrán realizar las computadoras, o bien que no se quiera que hagan las computadoras, tales como arte, legislación, impartición de justicia, o trabajo social, por citar algunos ejemplos. 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.

Imagen: 2 Percepciones más significativas para el vector Tecnología



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. En estricto sentido, existe una infraestructura de primer nivel instalada con posibilidades de atraer nuevas inversiones y generar un círculo virtuoso de crecimiento tanto económico como social. En especial se debe fomentar la vinculación con universidades y centros de investigación ya que, si bien el papel de estos es desarrollar tecnología y el de las empresas es utilizar la tecnología, el punto en el que convergen es al momento de insertarla en las empresas. No obstante, el balance que debiera existir entre la industrialización y el medio ambiente no ha sido el adecuado, poniendo en riesgo las reservas de agua, alimento y energía. 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 trasnacionales, con tecnología de punta, procesos de vanguardia y salarios atractivos.

Imagen 3 Percepciones más significativas para el vector Industria



Fuente: Elaboración propia con datos de la investigación

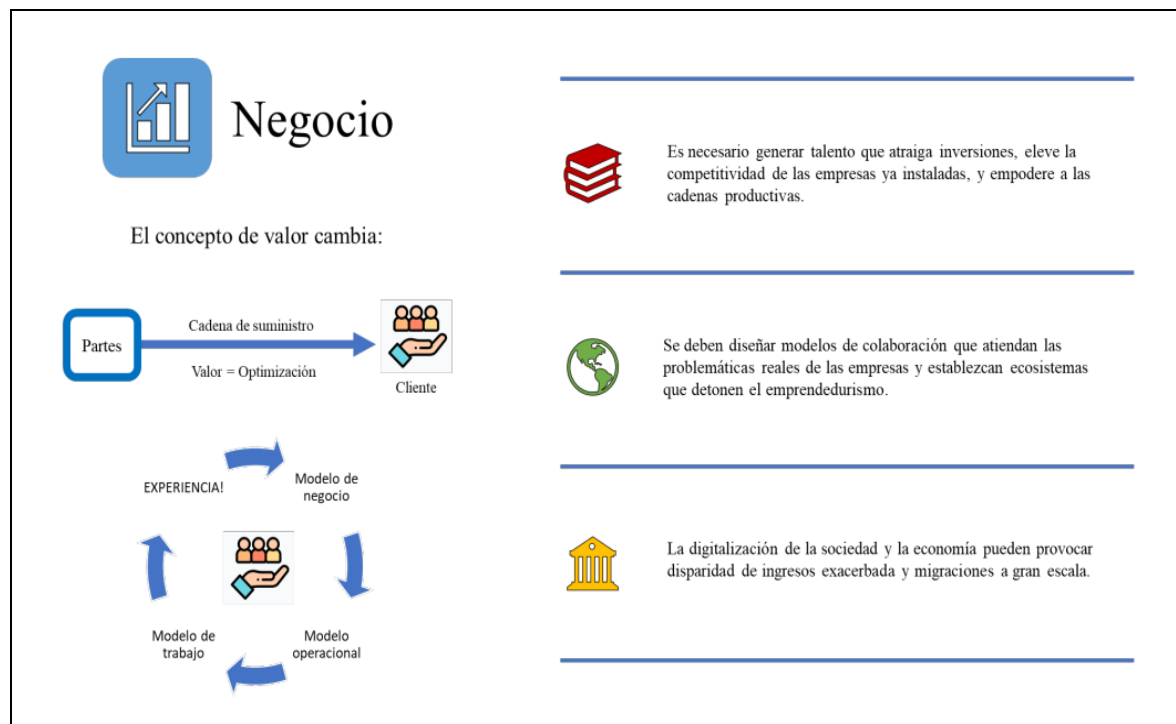


Lamentablemente, mucho de las ganancias que generan y la propiedad intelectual que generan emigra a los países de origen. Por otro lado, la gran mayoría de empresas de capital mexicano, muchas de ellas PYMES, se encuentran rezagadas en un paradigma de Industria 2.0 donde la calidad es el objetivo final, 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.

Imagen 4 Percepciones más significativas para el vector Negocio.



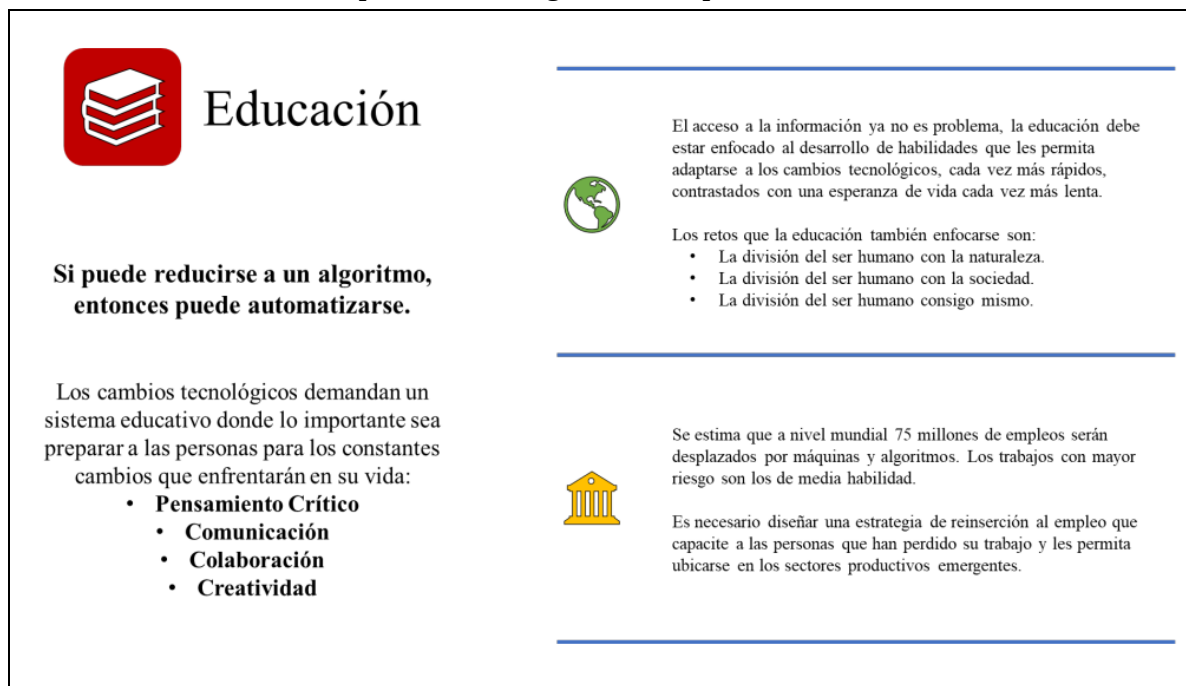
Fuente: Elaboración propia con datos de la investigación

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.

Imagen 5 Percepciones más significativas para el vector Educación.



Fuente: Elaboración propia con datos de la investigación

Vector Planeta



Es 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 concentrarse 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 analizada 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.

Imagen 6 - Percepciones más significativas para los vectores Planeta y Gobierno



Planeta



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.

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.



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.

3. 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. Mexico City: 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
- 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
- Mukhuty, 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.mx/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 meanings 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: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.