

Análisis de estrategias de transición a Industria 4.0 acorde a los desafíos de transformación digital en México

Edgar Sandoval-García
Ingeniería en Logística, Posgrado en Ingeniería Administrativa
Tecnológico Nacional de México / TES de Cuautitlán Izcalli
Cuautitlán Izcalli, México
edgar.sg@cuautitlan.tecnm.mx

Resumen— La naturaleza globalizada de las cadenas de valor prevé que la mayor parte del mundo se verá afectada por la 4RI tarde o temprano, directa o indirectamente, positiva o negativamente. Esta propuesta busca responder a la pregunta: ¿Cuál es la mejor estrategia por seguir para realizar la transición a la I4?0 acorde al contexto nacional? Resaltando la necesidad de un enfoque de implementación tanto arriba-abajo como abajo-arriba, de manera conjunta, lo cual será la clave más importante del éxito al mantener el enfoque de tener a las personas en el centro de las organizaciones. También la propuesta sugiere un mayor involucramiento de las instituciones educativas para cubrir la necesidad de capacitación en todos los niveles del personal involucrado. Así mismo, se enaltece la necesidad de una agenda nacional digital con un marco jurídico y políticas públicas para el desarrollo que permitan un ecosistema propicio en donde la disponibilidad (y asequibilidad) de las tecnologías PDA, así como el nivel y la combinación adecuada de habilidades y capacidades industriales, como condiciones necesarias de transición, sean elementos ampliamente disponibles.

Palabras clave—Industria 4.0, estrategias de transición, análisis, desafíos, transformación digital.

I. INTRODUCCIÓN

La Cuarta Revolución Industrial (4RI) es un término formulado en 2016 por Klaus Schwab, Fundador y presidente ejecutivo del Foro Económico Mundial (WEF). Se caracteriza por la convergencia y complementariedad de dominios de tecnologías emergentes, incluidas la nanotecnología, la biotecnología, los nuevos materiales y las tecnologías de producción digital avanzada (PDA). Estas últimas incluyen impresión 3D, interfaces hombre-máquina (HMI) e inteligencia artificial. La incorporación de tecnologías PDA en los procesos de producción industrial ha dado lugar al concepto de Industria 4.0 (I4.0), también conocida como Smart Factory, aquellas que aprenden mientras operan, adaptando y optimizando continuamente sus propios procesos en consecuencia [1].

Lo que realmente distingue a las tecnologías de la Industria 4.0 es la forma novedosa en la que el hardware, el software y la conectividad se reconfiguran e integran para lograr objetivos cada vez más ambiciosos, la recopilación y análisis de grandes cantidades de datos, la interacción perfecta entre máquinas inteligentes y el difuminar las dimensiones físicas y virtuales de la producción [2].

La 4RI aún no tiene un alcance mundial, de hecho, una investigación de la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (UNIDO, por sus siglas en inglés) menciona que solo cuatro economías líderes (Alemania, China, Estados Unidos y Japón) ostentan más de las tres cuartas partes (77%) de las patentes relacionadas con PDA en todo el mundo. Lo anterior hace evidente que hay un círculo virtuoso en juego: cuantas más industrias intensivas en tecnología y digitalización (como la informática y la electrónica) existan en una economía, más rápida será la difusión de las tecnologías PDA y mayor será la acumulación de experiencia y conocimientos, que, a su vez, aceleran el proceso de digitalización [3].

En otros países como Argentina y Brasil, por ejemplo, solo el 3% y el 4% de las empresas, respectivamente, emplearon alguna tecnología digital avanzada, mientras que, en Ghana, Tailandia y Vietnam, la mecanización no digital representa la gran mayoría de los procesos de fabricación.

Sin embargo, la naturaleza globalizada de las cadenas de valor prevé que la mayor parte del mundo se verá afectada por la 4RI tarde o temprano, directa o indirectamente, positiva o negativamente. Por lo que la capacidad de beneficiarse de la 4RI dependerá de la disponibilidad (y asequibilidad) de las tecnologías PDA, junto con el nivel y la combinación adecuada de habilidades y capacidades industriales, y a menos que las economías en desarrollo sean capaces de cumplir estas dos condiciones necesarias simultáneamente, es probable que las economías pioneras en la transición a la 4RI, las dejen atrás [4].

Ante el inminente proceso de transición a la 4RI, y su amplia repercusión en todos los sectores económicos del país, en específico para las pequeñas y medianas empresas, este estudio busca responder a la pregunta: ¿Cuál es la mejor estrategia por seguir para realizar la transición a la I4.0 acorde al contexto nacional?, a través del análisis de tres diferentes propuestas de implementación de I4.0, contrastándolas con los desafíos locales de la transformación digital.

Para lograr lo anterior, en esta sección introductoria se presentan los cinco desafíos de la transformación digital en México propuestos por el dirigente de la Confederación Patronal de la República Mexicana (COPARMEX) el pasado mes de marzo del 2021. Posteriormente se discuten sucintamente 3 propuestas de implementación sugeridas por empresas proveedoras de tecnología y consultoría que sugieren una metodología arriba-abajo, metodología abajo-arriba y una metodología híbrida, respectivamente. Se presenta también un caso de éxito, en donde desde 2016, en una empresa transnacional de la rama automotriz se han implementado diferentes proyectos de I4.0 basados en los principios de: desarrollo de ideas y conceptos con personal interno (ingenieros mexicanos), y las ideas deben ser soportadas por un grupo de socios estratégicos (proveedores).

Finalmente, en la sección de resultados y discusión se hace un análisis de las tres propuestas de implementación de I4.0 contrastándolas con los desafíos locales de digitalización en México. Así mismo se resalta el papel de la academia como organismo facilitador en el proceso de transición.

A. *Desafíos actuales hacia la transformación digital en México.*

Como ponente en un evento de Industrial Transformation México (Hannover Messe Event), el Dr. José Medina Mora Icaza, presidente actual de la COPARMEX [5], señala que los 5 principales desafíos de la transformación digital en México son:

1. El primero es el analfabetismo digital, donde el tema de solidaridad digital se hace evidente. En la actualidad, menos de una cuarta parte de las compañías que operan en México ha iniciado la digitalización, esto porque el mundo digital es ajeno a sus procesos o simplemente porque existe un gran desconocimiento de la cartera de productos y habilidades que se pueden implementar.
2. Un segundo desafío tiene que ver con la cultura digital, de ahí la importancia de la capacitación para lograr esta cultura digital en todos los colaboradores de las empresas. Las empresas requieren contar con asesoría para esta transición digital y generar desarrollo a través de la estrategia de la innovación. Por lo que es vital contar con procesos de innovación que transformen ideas en exitosas herramientas virtuales, planes de negocio, desarrollo de soluciones, prototipos de implementación y mercadotecnia. La cultura de la innovación debe promover esquemas como el de innovación abierta (open innovation) y redes de contacto para aprovechar fuentes y recursos externos de innovación.

3. Un tercer desafío tiene que ver con el desarrollo de competencias virtuales, en donde es necesario que los colaboradores de las empresas comprendan y crean en el funcionamiento de las soluciones digitales, es importante capacitar a los colaboradores para disfrutar de los beneficios de la transformación digital, esto es lograr un régimen en la subsidiaridad digital. Se tiene que enseñar a los colaboradores para que ellos puedan, una vez adquirido el conocimiento, hacerlo de manera autónoma.
4. El cuarto desafío es el acceso a medios de digitalización. Algunas empresas están dispuestas al cambio, pero desconocen por dónde empezar. Se requiere de orientar, de financiar esquemas digitales y hacer recomendaciones a las empresas para que puedan incorporar las plataformas digitales y con esto entren en este mundo de la I4.0. Aquí el término sobre la justicia digital se hace muy clara, por lo que se necesita lograr que sea de forma masiva el acceso a las plataformas digitales.
5. Un quinto desafío tiene que ver con una agenda nacional digital, esto requiere de una agenda nacional digital con un marco jurídico y políticas públicas para el desarrollo de un ecosistema virtual que fortalezca la conectividad de forma estratégica e incluya temas de avanzada como el gobierno electrónico, el emprendimiento y la industria de las tecnologías de información en México.

El conferencista resaltó la importancia del enfoque a tener a la persona en el centro de las empresas, en el centro de las organizaciones y en ese sentido la responsabilidad de las empresas, pero también de los organismos empresariales de capacitar en este nuevo mundo digital a los colaboradores, para que se puedan adaptar a nuevos puestos de trabajo que se prevén durante la transformación digital de la I4.0.

II. METODOLOGÍA

El enfoque de esta investigación es cualitativo, fundamentado principalmente en la hermenéutica, con la finalidad de comprender el fenómeno en estudio. La finalidad de la investigación es aplicada al contribuir a problemas específicos, relacionados con el objeto de estudio. La fuente de información es documental.

Ante el inminente proceso de transición a la 4RI, y su amplia repercusión en todos los sectores económicos del país, en específico para las pequeñas y medianas empresas, este estudio busca responder a la pregunta: ¿Cuál es la mejor estrategia por seguir para realizar la transición a la I4.0 acorde al contexto nacional?, a través del análisis de tres diferentes propuestas de implementación de I4.0, contrastándolas con los desafíos locales de la transformación digital.

A continuación, se discuten las tres metodologías consideradas en este estudio.

A. Metodología 1. Implementación tecnológica acorde a curva de maduración digital. Un enfoque centrado en el proceso.

Proponiendo una curva de maduración digital empresarial, el Ing. Gerardo Pérez representante de Siemens México [6], asegura que mientras más hacia la derecha y más hacia arriba se encuentren las empresas, significa que su grado de madurez digital se encuentra en un nivel elevado y por lo tanto se puede considerar como una total Industria 4.0.



Fig. 1. Curva de maduración digital.

La parte más básica de madurez digital que es la parte de abajo a la izquierda representa el equipamiento base, caracterizada por conectividad, monitoreo y evaluación de desempeño. Así al hablar de conectividad y de monitoreo, se hace referencia a utilizar internet de las cosas para comenzar a monitorear los equipos cuando son pocas máquinas, pero a medida que va incrementando la cantidad de maquinaria a monitorear o ante altas tasas de cambio de las variables se requieren de tecnologías adicionales que permitan una mayor conectividad y flexibilidad.

En el primer escalón prácticamente se tienen los beneficios de conectividad y monitoreo en donde las actividades típicas de esta fase son el monitoreo de máquinas y la adquisición de datos lo que permite reducir tiempos de paro analizando los datos que estas máquinas generan y el primer paso de implementación, el más básico, es analítica descriptiva. De hecho, la experiencia muestra que muchas compañías que inician con sus proyectos de internet de las cosas y de analítica de datos, inician con la simple analítica descriptiva la cual les otorga muchos beneficios.

El siguiente escalón es uno de los más ansiados a nivel empresarial. En este, es en donde ya se implementa la analítica predictiva, el análisis del Big data. En el primer escalón sólo es posible describir la realidad, en la segunda parte ya es posible realizar un análisis de los datos, así como un análisis de las tendencias. Ya se tiene la capacidad de analizar cuáles pudieran ser las razones y las variables que se encuentran presentes cuando ocurren problemas de calidad, cuando existen fallas, de manera tal que es posible anticipar dichos problemas de calidad y posibles fallas. En este punto es posible

implementar sistemas proactivos que comiencen a identificar tempranamente patrones en los datos, así como el notificar al ser humano para tomar decisiones.

Y la parte que permite transitar del segundo al tercer escalón es la zona prescriptiva, en donde el ser humano ayuda a que los sistemas tengan diferentes escenarios para tomar decisiones.

Finalmente, la parte más compleja es ya la digitalización y la transformación del todo, en donde están involucrados elementos altamente conectados, aquí es en donde ya se presenta un lapso cerrado (close loop), lo que representa iniciar el cierre de ciclo que es en donde ya es posible el perfeccionar ese mundo digital con datos del mundo real de manera tal que cada vez se está perfeccionando y haciendo que el mundo real tenga un mucho mejor comportamiento.

Así, posteriormente se puede alcanzar la zona más alta en donde ya se encuentra la inteligencia artificial compleja con sistemas autónomos, con sistemas que se autorregulan, con sistemas que permiten tener cambios de productos en muy poco tiempo con un desgaste mínimo y además todo esto siempre custodiado bajo una nueva óptica de ciberseguridad industrial.

En la parte más compleja se visualiza un escenario en donde las máquinas deciden por sí misma tomando decisiones, por ejemplo, si una pieza que tal vez no está bien terminada un brazo robótico podrá tomar la decisión de, si la pasa a maquinar o más bien la descarta sin interacción humana.

B. Metodología 2. Soluciones de software que conecten a las personas y a los procesos. Un enfoque centrado en las personas.

La I4.0 representa la interconexión de la máquina con la nube y con el internet. En ese contexto, el potencial de I4.0 va más allá de la automatización, ya que está afectando completamente como se desarrollan los negocios. Una de las vías de transición más comunes es la de basarse en servicios de consultoría, donde por lo general se recibirán las siguientes recomendaciones: primero se debe iniciar del punto de vista de que hay que mejorar las eficiencias operacionales mejorando los activos que tienen las empresas y buscando la reducción de costos y la productividad de los trabajadores. De ahí se procedería avanzar hacia nuevos productos y servicios habilitados por software y la monetización de datos. Desde ese punto, las empresas podrán ir avanzando hacia nuevos modelos económicos al grado de llegar a una integración completa de las cadenas de suministro y de las cadenas de distribución de las empresas, facilitando así modelos económicos completamente nuevos y generación de negocios e ingresos completamente diferentes.

No obstante, dicha estrategia representa una forma muy abstracta de ver las cosas y no es muy proactiva, de hecho, el anterior contexto también explica por qué la transición a la I4.0 ha sido muy estudiada derivando en que muchas empresas quieren empezar su trayectoria de transición, pero pocas logren concretarlo.

Entonces, se debe preguntar ¿por qué es así?, ¿cuál es la situación que ha llevado a esta situación? Para responder

dichos cuestionamientos, en ponencia Oliver Theiss [7], señala que hoy en día muchas de las decisiones de selección de tecnologías que se van a implementar en las empresas, se toman desde el liderazgo de las empresas y se van empujando hacia abajo, lo que implica procesos de toma de decisión muy largos, procesos muy costosos y en ocasiones se toman decisiones a favor de soluciones que no son las adecuadas para las personas que lo van a usar, que son los trabajadores mismos que están al frente del negocio y que hacen las cosas suceder en el día a día y cuando se intenta que las empresas que siguen ese modelo traten de promover sus nuevas tecnologías invariablemente se quedan obstruidos en proyectos pilotos extremadamente largos, lo anterior derivado de un proceso de toma de decisiones de una pirámide invertida (arriba-abajo).

Generalmente en la pirámide invertida se hace una auditoría de estrategia por parte de la junta directiva de las empresas, se empiezan a identificar oportunidades, se definen las iniciativas, se hace una planeación, se comunica ese plan al resto de los trabajadores y el resto de los empleados de la empresa y después la implementación se le empuja a lo que es el liderazgo de las plantas o a los niveles gerenciales medios y después la implementación misma a nivel de piso se hace a nivel de los supervisores y los gerentes de nivel medio.

Un claro ejemplo de la propuesta anteriormente descrita, es la implementación de un ERP (Enterprise Resource Planning, por sus siglas en inglés). Acorde a un estudio de Mckinsey (Casanova, et al., 2019), tres cuartas partes de los proyectos de transformación de ERP no se ajustan al cronograma o al presupuesto, y dos tercios tienen un retorno de la inversión negativo. Por lo que resulta necesario cuestionar ante estas situaciones en realidad por qué y dónde está la generación de valor, y que empresa en realidad puede soportar un retorno de inversión que es tan largo por la definición del tiempo de planeación que se tiene en estos sistemas y eso explica en parte por qué Industria 4.0 es un tema global, pero con bajo nivel de implementación.

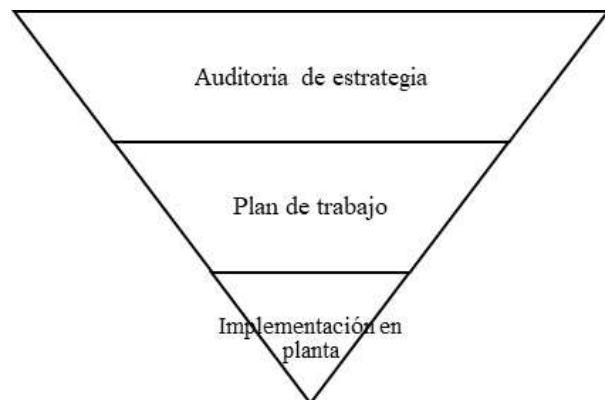


Fig. 2. Ejemplo de una pirámide invertida.

Entonces ¿dónde empezar?, en este sentido, Theiss (2020) señala que la respuesta es empezar en donde el valor reside en las organizaciones y eso está en las personas que están al frente de estas. Por lo tanto, a través de una iniciativa abajo a arriba,

resulta benéfico transformar a los trabajadores de un concepto de mano de obra a un concepto de trabajadores del conocimiento. Dicha iniciativa recibe el nombre de Lean 4.0, y lo que pretende es empoderar y enganchar a la gente y, en este contexto, las plataformas digitales de trabajadores conectados se basan en tres principios los cuales permiten justo iniciar el proceso de transición y hacerlo muy proactivo.

- Por un lado, el uso de plataformas digitales de trabajadores conectados tiene la habilidad de recopilar y de capturar datos en tiempo real, lo que permitiría medir el desempeño de la gente, de los procesos de las fábricas y de los procesos industriales. Así se podrían realizar iniciativas de mejora continua y se podrían resolver problemas de forma muy ágil y sencilla.
- Por otra parte, este tipo de herramientas permiten conectar a la gente, interconectar a la gente con una interfaz, que es similar a medios sociales, lo que permitiría eso es conectar la gente justo para la colaboración y la mejora continua, promoviendo el uso de un sistema Andon Cord¹, que es básicamente la habilidad de cualquier persona de ponerle pausa a un proceso, de pedir ayuda y de escalar un problema inmediatamente dentro de la organización.
- Por último, este tipo de plataformas permiten la digitalización de las hojas de instrucción de trabajo, las listas de comprobación y todo el papeleo que sigue siendo muy utilizado en las empresas con la finalidad de mejorar el entrenamiento de la gente y para permitir procesos de mejora continua que son esenciales para mejorar los procesos, logrando así la mejora continua, la visibilidad hacia los problemas y la estandarización de los procesos lo cual apunta hacia la excelencia operacional.

Así, lo que pretende el Lean 4.0 es acelerar el retorno inversión de cualquier dólar o peso invertido apoyándose en la creatividad humana.

Es recomendable que la implementación de Lean 4.0 se inicie mediante proyectos piloto, los cuales permiten rápidamente identificar defectos y mejorar la calidad de los procesos y productos, mejorando la eficiencia, la productividad, el entrenamiento de las personas, provocando un mejor retorno de inversión a la par de mejorar la transferencia hacia lo que sucede en el día a día en el piso de operaciones y en estos procesos.

Y en esencia lo que se recomienda es invertir la pirámide, evitando un modelo de arriba hacia abajo y prefiriendo un modelo de abajo hacia arriba, empezando los proyectos en donde está el negocio, al frente con los trabajadores de línea.

¹ En el apogeo del Sistema de Producción de Toyota, cuando Toyota estaba reescribiendo los libros de récords para la fabricación de automóviles, implementaron muchas herramientas y procesos únicos. Una de esas herramientas se llamó Andon Cord, también conocida como Andon Board. El Andon Cord era una cuerda que cambió las reglas del juego. Cuando se tiraba, ésta detenía instantáneamente todo el trabajo en la línea de montaje. Y cualquiera tenía derecho a tirar del cordón en cualquier momento. Desde la perspectiva de Toyota, los empleados estaban obligados a tirar del cable si descubrían un problema con la producción.

Además de que a través de los proyectos piloto se puede identificar que tecnología es funcional antes de comprometer cientos de miles de dólares en cualquier iniciativa.

Esto requiere de evaluar los proyectos con pequeños equipos y poco a poco ir escalando en base al éxito obtenido, a final de cuentas la I4.0 se trata de una evolución del modelo de negocio. Para que se pueda ver una evolución del modelo de negocio hay que cambiar los modelos gerenciales y una vez cambiado los modelos gerenciales cambia la estrategia corporativa y eso permite hacer dicha evolución, además de que implementar proyectos piloto no requiere invertir demasiado dinero y fondos, algo que posiblemente no es una buena solución para la empresa.

Como toda iniciativa es muy importante definir los objetivos y definir las métricas de éxito, entonces antes de arrancar los proyectos es importante indicar que objetivos se quieren lograr al pilotear una nueva tecnología, definiendo indicadores de calidad y de productividad que se estarán siguiendo para comprobar si la tecnología y/o herramienta seleccionada es la adecuada para el negocio.

Otra parte importante por evaluar son los cambios al sistema de infraestructura tecnológica, lo que implica reconocer qué tipos de software son con los que cuentan las empresas, qué hardware tienen y qué impacto va a tener la nueva tecnología seleccionada sobre el ecosistema de tecnologías de la información dentro de la empresa, por lo que se debe balancear obviamente la disrupción que puede generar una nueva tecnología y el valor que la empresa puede obtener de hacer ese piloto.

En concreto se recomienda iniciar la transición a través de plataformas digitales de colaboración de trabajadores y empezar, por condiciones actuales de pandemia, con automatizar protocolos de seguridad para los trabajadores. Tales plataformas permiten el uso de equipos móviles personales, obteniendo como resultado tangible una mejora en la productividad, eficiencia y eficacia en los procesos de la empresa, así como la mejora de la calidad y de seguridad.

Además, el poder integrar a los equipos de trabajo a las personas al frente del negocio en la solución de problemas y el poder ayudar a que todos puedan participar con su creatividad a la solución, impulsará la utilización de herramientas digitales en contextos de diferentes procesos desde auditorías de seguridad, auditorías de 5s, apoyos visuales digitales, alertas de calidad inmediatas, verificación de que la gente está usando su equipo de protección personal, la captura de datos en tiempo real, su interpretación y acceso a estos datos en tiempo real, así como la visualización de esos datos mediante tableros de mando² que se podrán mantener actualizados en forma inmediata y con herramientas completamente accesibles para cualquiera como lo son la plataforma de Google, Data Studio y otras herramientas de ese estilo que en muchos casos son gratuitas.

² Documento en el que se reflejan, mediante una representación gráfica, las principales métricas o KPI que intervienen en la consecución de los objetivos de una estrategia.

Tal iniciativa sugerida por Theiss en párrafos anteriores representa una forma muy personal y simple, pero con un gran impacto en el desempeño a nivel de piso de producción o fábrica o cualquier lugar de trabajo.

C. Metodología 3. La necesidad de un enfoque conjunto arriba-abajo y abajo-arriba liderado por promotores del cambio.

Un estudio reciente de Deloitte [8] basado en una serie de entrevistas a diferentes compañías manufactureras de los EUA, señala que, durante el proceso de transición a una fábrica inteligente, los promotores del cambio dentro de las empresas deben brindar apoyo a nivel de liderazgo, así como a nivel de piso, para eliminar obstáculos, lograr la aceptación de la organización y esbozar el caso de negocio. Los líderes deben enfatizar la importancia de la aceptación del proyecto a nivel ejecutivo ya que estas iniciativas a menudo requieren grandes inversiones de recursos, personas, tiempo, activos o recursos financieros, lo cual requiere de un liderazgo eficaz para lograr transformaciones exitosas.

Aunado a lo anterior, el estudio resalta la necesidad de un enfoque de implementación tanto arriba-abajo como abajo-arriba, de manera conjunta, lo cual es la clave más importante del éxito. Así los líderes con amplia experiencia en operaciones, cadena de suministro, estrategia y otras funciones pueden pensar estratégicamente sobre cómo la transformación a una fábrica inteligente puede generar valor de manera más amplia a nivel de red. Por otra parte, los actores a nivel de piso (gerentes de planta, ingenieros de planta, operadores de fabricación, técnicos y otros) pueden impulsar el cambio y los resultados en las diferentes operaciones propias de la empresa.

D. Implementación de I4.0 en México, un caso de éxito en la planta GKN-Automotive, Drive Line en Celaya, Guanajuato.

Derivado de una amplia experiencia acumulada en los últimos años en temas de implementación de proyectos de I4.0, en ponencia el Dr. Fermín Moreno Ponce, director de Planta de GKN-Automotive-Drive Line México [9] considera vital el entender él porque es necesario la Industria 4.0, y esto es para cambiar a digital lo físico y viceversa, lo cual permitirá aumentar la productividad de la planta y hacer una mejor toma de decisiones. Además de reducir los riesgos, mejorar la cadena de suministro, aumentar la utilidad y reducir costos. Entendiendo también que la I4.0 no sólo significa el instalar nuevos equipos o adquirir tecnología de punta. Considerando también, que cualquier decisión de propuesta y/o caso de estudio a evaluar, deberá tener una amplia justificación basada en el retorno de inversión.

Los principios que han regido los proyectos de I4.0 señalados por el autor antes mencionado son:

- Desarrollo de ideas y conceptos con personal interno (ingenieros mexicanos).
- Las ideas deben ser apoyadas por un grupo de socios estratégicos (proveedores).

Aunado a lo anterior deben existir prioridades que definan la implementación de la I4.0 traduciéndolo a promotores, que

en el caso de la empresa GKN-Automotive México han sido: la calidad de los productos y el ser una industria competitiva. Teniendo en cuenta, en la medida de lo posible, un plan estratégico de implementación a largo plazo para no tener que resolver sólo problemáticas emergentes.

Ahondando en el tema de calidad, y derivado de un análisis estadístico realizado, el ponente concluyó que por lo general el inicio de los problemas de calidad son de origen humano al no respetar el sistema de calidad, por lo que algunas de las propuestas de implementación de I4.0 que se han realizado son:

- A. Promover proyectos de colaboración academia-industria, por ejemplo, la empresa desarrolla proyectos de Smart Vision con la Universidad Autónoma de Querétaro. Además de que través de los proyectos se pueden comprobar las competencias en desarrollo o ya apropiadas de los egresados. Este tipo de proyectos son considerados necesarios ya que promueven el trabajo en equipo en un ambiente colaborativo.
- B. De manera interna, se han desarrollado la mayoría de los proyectos entre ellos:
 - a. Desarrollo de software para el control estadístico de proceso, reducción del uso de papel, formatos de calidad.
 - b. Sistema Andon inteligente; el cual genera y envía alertas a las personas involucradas en el proceso para la solución de problemas, obteniendo y compartiendo datos en tiempo real.
 - c. Trazabilidad de producto y procesos a través de códigos QR.
 - d. Desarrollo de aplicaciones y bases de datos que agilizan la Inteligencia del Negocio (Business Intelligence).
 - e. Instalación de conexiones digitales entre máquinas que ofrecen información y datos confiables en tiempo real para la toma de decisiones.
 - f. Automatización de movimiento de materiales.

De manera general, el principal aprendizaje compartido por el ponente se puede resumir en:

- La I4.0 no puede ser tratada como una moda, es imperativo traducirlo a las necesidades de cada empresa.
- La I4.0 puede no ser financieramente viable, pero se deben hacer propuestas inteligentes para crear retorno de inversión.
- México está preparado para poder diseñar e implementar soluciones de I4.0.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ante los desafíos que enfrenta el país respecto a la transformación digital, las tres metodologías expuestas abren la posibilidad de iniciar o acelerar el proceso de transición a la 4ª Revolución Industrial.

Uno de los requisitos para iniciar cualquiera de las metodologías expuestas, es el tema de capacitación, tanto a nivel gerencial como operacional (con un nivel de profundidad diferenciado) en temas como: 4RI e I4.0, ventajas y desventajas de la digitalización, tecnologías de producción digital avanzada, competencias a adquirir y habilidades a desarrollar, entre otros.

Tomando como criterio sugerido, en párrafos anteriores, por el Dr. Medina Mora de elegir estrategias centradas en las personas, la metodología 1, no cumple con el requerimiento, al ser una metodología centrada en los procesos y arriba-abajo. Además de que requiere que las empresas tengan cierto nivel de madurez digital al utilizar el internet de las cosas para monitorear equipo y maquinaria, así como podría requerir una alta inversión en el corto plazo.

Por otra parte, las metodologías 2 y 3, si toman en cuenta el enfoque de: centrado en las personas al transformar a los trabajadores de un concepto de mano de obra a un concepto de trabajadores del conocimiento.

En específico la metodología 3, cubre en un amplio sentido los desafíos 1 a 4 al partir del nombramiento de un líder promotor del cambio, el cual debe brindar apoyo a nivel de liderazgo, así como a nivel de piso, para eliminar obstáculos, lograr la aceptación de la organización y esbozar el caso de negocio.

No obstante, es necesario que las instituciones académicas se conviertan en un pilar para resolver la brecha de capacitación nacional mediante la creación de ofertas de entrenamiento únicas en Industria 4.0 y Tecnologías PDA para que los empleadores evalúen los conocimientos y habilidades de los trabajadores. Dichas instituciones deberán generar, en el corto plazo, propuestas para desarrollar cursos cortos y programas de certificación en tres niveles de competencia: Conciencia, Practicante y Experto.

Así mismo, para respaldar la digitalización en el desarrollo de productos, las empresas necesitan ingenieros con habilidades digitales que comprendan la tecnología y cómo aplicarla para resolver problemas y respaldar las operaciones en donde se vean involucrados. En consecuencia, las instituciones académicas deben preparar a los estudiantes para trabajar en la era de la transformación digital.

Esta transformación a las organizaciones digitales ha dado mayor prominencia a la práctica de "liderazgo horizontal". El liderazgo horizontal cambia de una jerarquía de arriba hacia abajo donde los ejecutivos toman decisiones a una organización más plana formada por equipos empoderados. Este tipo de organización rompe el aislamiento entre grupos y requiere trabajadores con múltiples habilidades. La estructura está bien posicionada para soportar una transformación digital. Sin embargo, para tener éxito, tanto las empresas grandes como las pequeñas necesitarán fuertes líderes horizontales que

puedan trabajar en todas las disciplinas ingenieriles y otros departamentos como fabricación, adquisiciones y finanzas. Las instituciones educativas que pueden ofrecer a los estudiantes experiencias para desarrollar habilidades de liderazgo horizontal los prepararán para convertirse en futuros líderes [10].

Finalmente, derivado de la recopilación y selección de las mejores prácticas de las metodologías antes expuestas, así como el caso de éxito mencionado en la sección anterior, se proponen los siguientes puntos como básicos para poder iniciar un proceso de transición hacia la 4RI:

- I. La estrategia de implementación de I4.0 debe basarse en la misión y visión de la empresa. Es decir, enfocarse en los objetivos, la forma en que se acerca a sus clientes y sus estrategias de crecimiento.
- II. Desarrollar ideas y conceptos con personal interno, apoyándose en socios estratégicos (clientes y proveedores).
- III. Considerar un plan estratégico de implementación a largo plazo para no tener que resolver sólo problemáticas emergentes.
- IV. Iniciar los proyectos de I4.0 como proyectos piloto, para reconocer la viabilidad de la tecnología evaluada. Y un proceso de escalamiento posterior.
- V. Tener claridad en los objetivos y metas que se quieren lograr al pilotear una nueva tecnología, definiendo indicadores de calidad y de productividad.
- VI. Evaluar los cambios al sistema de infraestructura tecnológica, lo que implica reconocer qué tipos de software y hardware son con los que cuentan las empresas, reconociendo el impacto de la nueva tecnología seleccionada.
- VII. Es recomendable un enfoque conjunto de implementación tanto arriba-abajo como abajo-arriba.
- VIII. Promover proyectos de colaboración academia-industria como una vía alterna de implementación I4.0.
- IX. La I4.0 puede no ser financieramente viable, pero se deben hacer propuestas inteligentes para crear retorno de inversión.

Aunado a lo anterior, el empuje que pueda derivarse de la propia necesidad empresarial de transformarse digitalmente tendría pobres resultados si no existe el ecosistema apropiado que fomente la disponibilidad (y asequibilidad) de las tecnologías PDA, junto con el nivel y la combinación adecuada de habilidades y capacidades industriales como premisas de transición a la 4RI, y de ahí la necesidad del diseño de políticas públicas que promuevan la justicia digital.

Conclusiones

Este estudio coadyuva a responder a la pregunta básica del proceso de transición a una I4.0 ¿por dónde empezar?, sugiriendo ocho puntos básicos a considerar en la definición de la ruta de transformación digital, considerando una estrategia de implementación conjunta arriba-abajo y abajo-arriba, manteniendo así el enfoque a tener a la persona en el centro de las empresas y las organizaciones. También la propuesta sugiere un mayor involucramiento de las instituciones educativas para cubrir la necesidad de capacitación en todos los niveles del personal involucrado. Al deber ser la transición a I4.0 una prioridad a nivel país, se enaltece la necesidad de una agenda nacional digital con un marco jurídico y políticas públicas para el desarrollo que permitan un ecosistema propicio en donde la disponibilidad (y asequibilidad) de las tecnologías PDA, así como el nivel y la combinación adecuada de habilidades y capacidades industriales, como condiciones necesarias de transición, sean elementos ampliamente disponibles.

Referencias

- [1] Lavopa, A. y Delera, M., What is the Fourth Industrial Revolution? Industrial Analytics Platform-UNIDO, 2021, <https://iap.unido.org/articles/what-fourth-industrial-revolution>
- [2] Ynzunza, C., Izar, J., Bocarando, J., Aguilar, F., y Larios, M., El Entorno de la Industria 4.0: Implicaciones y Perspectivas Futuras. Conciencia Tecnológica, núm. 54, 2017. Instituto Tecnológico de Aguascalientes. <https://www.redalyc.org/jatsRepo/944/94454631006/html/index.html>
- [3] United Nations Industrial Development Organization, Industrial Development Report 2020. Industrializing in the digital age. Vienna, 2019, <https://www.unido.org/sites/default/files/files/2019-12/UNIDO%20IDR20%20main%20report.pdf>
- [4] Lavopa, A. y Delera, M., What is the Fourth Industrial Revolution? Industrial Analytics Platform-UNIDO, 2021, <https://iap.unido.org/articles/what-fourth-industrial-revolution>
- [5] Medina, J., Conferencia: La industria 4.0 en los negocios y la sociedad en la alianza del pacífico en Industrial Transformation México, 4 de marzo de 2021. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=1co4qvucIPg>
- [6] Pérez, G., Serie de Videoconferencias: Industria 4.0 - Connected Industry 04 | 25 de junio 2020. 04: Industria 4.0: la solución a los retos de la manufactura. Cámara Mexicano-Alemana de Comercio e Industria, A.C. (CAMEXA). <https://www.youtube.com/watch?v=FjVpBjBNAJM>
- [7] Theiss, O., Serie de Videoconferencias: Industria 4.0 - Connected Industry 03 | 19 de junio 2020. 03 Best Practice: Industria 4.0 en momentos de crisis. Cámara Mexicano-Alemana de Comercio e Industria, A.C. (CAMEXA). <https://www.youtube.com/watch?v=BR07ocRuiz0>
- [8] Laaper, S., Dollar, B., Cotteleer, M. y Snidermann, B., Implementing the smart factory. New perspectives for driving value. Deloitte Insights, 2020, <https://www2.deloitte.com/global/en/insights/topics/digital-transformation/smart-factory-2-0-technology-initiatives.html>
- [9] Moreno, F., Conferencia-Webinar: "La industria y la industria 4.0 en el sector automotriz". ENES-León, UNAM, mayo 2021, <https://m.facebook.com/ENESUNAMLEON/videos/2220612021408219/>
- [10] Boucher, M., How Academia Can Close the Skills Gap in the Age of Digitalization, 2020, <https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/resource/close-the-skills-gap/84512G>.