

Condiciones para el desarrollo y certificación de competencias técnicas de Industria 4.0

Patricia Avitia-Carlos, Norma Candolfi-Arballo, José Luis Rodríguez-Verduzco y Bernabé Rodríguez-Tapia

Abstract— The development of Industry 4.0 requires the existence of a workforce with technical skills associated with the new technologies on which it is based, as well as with personal skills that allow them to adapt to the changing work environment. Those competencies can be developed on young people, as a new workforce that joins this market, or with veteran workers who need to be updated to continue current. Several actors are involved, from educational institutions to industry and government. The various international models of skills development in workers focus on tripartite collaboration schemes and the establishment of official standards. Therefore, the purpose of this study is to analyze and describe the existing contextual conditions in Mexico for the development and certification of competencies in Industry 4.0. This study is qualitative and uses document analysis techniques to collect information that is relevant to identify the main elements currently existing. As a result, it is observed the need to strengthen collaboration schemes, as well as to provide the existing national certification system of greater relevance in the worker placement processes. Correspondingly, apprenticeship programs are presented as a field that has not been explored sufficiently within the country context.

Index Terms— Apprentice programs, Competitiveness, Continuing education, Industry 4.0, Technical skills certification.

I. INTRODUCCIÓN

La cuarta revolución industrial, también conocida como Industria 4.0 (I4.0), transforma el panorama futuro de la manufactura [1]. Para la mayoría de los países se ha convertido en un desafío y una oportunidad para incrementar su productividad y competitividad, basado en el crecimiento de la disponibilidad y capacidad de los recursos humanos; así como sobre desarrollo e innovación tecnológica [2]. Por lo tanto, países industrializados como Alemania, Estados Unidos, Francia y China, por nombrar algunos, comprendieron temprano esta oportunidad y han implementado programas estratégicos de gobierno para brindar las condiciones favorables para fomentar su adopción y desarrollo en el corto, mediano y largo plazo [3], [4].

P. Avitia-Carlos es Profesor-Investigador en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología de la Universidad Autónoma de Baja California, Tijuana, México (e-mail: patricia_avitia@uabc.edu.mx).

N. Candolfi-Arballo es Profesor-Investigador en la Universidad Autónoma de Baja California (e-mail: ncandolfi@uabc.edu.mx).

En el ámbito social, el concepto de I4.0 se entrelaza con el concepto emergente de sociedad 5.0 que se propone desde Japón. Las tecnologías asociadas a I4.0 hacen posible, desde la fabricación flexible y digitalizada, la producción de bienes con personalización y programación justo a tiempo. Esta plataforma podría crear una infraestructura social que genere bienestar, proporcionando la cantidad necesaria de bienes y servicios de alta calidad para las personas necesitadas, construyendo una vida activa y cómoda [5].

En consecuencia, el concepto de Industria 4.0 ha ganado mayor relevancia en los últimos años al estar asociado a programas estratégicos de desarrollo económico, tanto de grandes empresas productoras de tecnología como de gobierno en países industrializados. En la Tabla 1 se muestran algunos de los programas representativos promovidos por dichos países. Estas iniciativas están enfocadas a crear condiciones estructurales que fortalezcan el desarrollo de una industria de manufactura inteligente, poseedora de características que hagan más eficiente la cadena de valor y estén asociadas con I4.0: flexibilidad, digitalización, interconexión y eficiencia en la gestión de recursos [6], [3].

TABLA 1
INICIATIVAS PARA EL DESARROLLO DE I4.0 EN PAISES INDUSTRIALIZADOS

País	Iniciativa	Objetivo
Alemania	Industria 4.0	Implementación de un modelo que posicione al país como proveedor líder de tecnologías y centros de producción.
Estados Unidos	Nationwide Network for Manufacturing Innovation (NNMI)	Promueve el uso de tecnologías y procesos de fabricación avanzados.
Francia	La Nouvelle France Industrielle	Modernización del aparato productivo y apoyo a las empresas industriales en la transformación de sus modelos de negocio.
China	Made in China 2025	Desarrollo de la industria de fabricación avanzada.

J.L. Rodríguez-Verduzco es Profesor-Investigador en la Universidad Autónoma de Baja California (e-mail: jlrodriguez@uabc.edu.mx).

B. Rodríguez-Tapia es Profesor-Investigador en la Universidad Autónoma de Baja California (e-mail: rodriguez.bernabe@uabc.edu.mx).

India Make in India Posicionar al país como uno de los principales centros de producción de fabricación y diseño a nivel mundial.

Para lograr los altos niveles de automatización y digitalización de procesos asociados con I4.0, las tecnologías clave asociadas incluyen computo móvil, analítica de datos, nube e Internet de las cosas. La generación de altos volúmenes de datos requerirá el uso de algoritmos complejos para su manipulación, así como el desarrollo y mantenimiento de sistemas mecatrónicos complejos con un alto grado de interoperabilidad.

En el complejo mercado global, las economías enfocadas en la manufactura buscan mantener su ventaja competitiva aumentando la eficiencia de sus procesos y su capacidad para adaptarse a las necesidades de los clientes. El uso de tecnologías digitales que posibiliten estos objetivos se convierte en la estrategia para afrontar los bajos costes de producción que ofrecen algunos países [6]. Sin embargo, se prevé que la falta de suficiente personal capacitado sea uno de los impedimentos para el desarrollo de estos sistemas de fabricación inteligentes [7] y su cadena de valor.

Las estrategias gubernamentales identificadas para promover I4.0 incluyen el desarrollo de infraestructura, conectividad y capital humano. A nivel industrial, se apoya la creación de clústeres especializados y el desarrollo de cadenas de valor [8]. En cuanto al desarrollo del capital humano, existe consenso en la necesidad de establecer colaboraciones formales entre la industria y la universidad. Estos programas incluirían la oferta de títulos y posgrados tecnológicos, programas de educación continua y proyectos conjuntos de investigación [9], [10]. En cuanto a las empresas, los esquemas de formación preferidos son aquellos que les permiten mantener actualizado y / o especializarse a su personal sin necesidad de sustituirlo por nuevas contrataciones, como son los programas de formación en el puesto de trabajo y de educación continua [7]. Adicionalmente, las áreas en las que deben formarse incluyen tanto el desarrollo de habilidades técnicas específicas como de habilidades técnicas generales que les permitan seguir asimilando las nuevas tecnologías a su quehacer diario.

A nivel internacional, el Marco Europeo de Competencias Electrónicas / European e-Competence Framework eCF (www.ecompetence.eu) [11], ha definido cuarenta competencias basadas en el nivel de conocimientos y habilidades sobre tecnologías digitales. La propuesta es producto de una colaboración entre expertos, basada en la Gran Coalición de políticas para empleos digitales de la Comisión Europea (European Commission's Grand Coalition for digital Jobs) y aborda las necesidades en materia de tecnologías digitales en el sector industrial, con acciones orientadas a la sensibilización, certificación y formación en perfiles profesionales tecnológicamente adecuados. Algunas estrategias están orientadas al diseño y difusión de programas de formación para incrementar las tecnologías digitales en la industria, certificación para estimular la mejora continua, movilidad laboral, sensibilización para atraer a los jóvenes a la incorporación de tecnologías digitales, sensibilización sobre las

competencias tecnológicas en el capital humano. de la industria y el aumento de profesionales en las áreas de desarrollo de software y tecnologías de la información.

Al mismo tiempo, la Gran Coalición para empleos digitales hizo esfuerzos en la misma dirección, mientras que se desarrollaron políticas europeas de organizaciones como la Estrategia Europa 2020, la Estrategia e-Skills, el Paquete de Empleo, la Iniciativa de Apertura de la Educación, la Estrategia Repensar la Educación, la Iniciativa de Oportunidades para la Juventud y el Panorama de Habilidades de la UE [12]. Sus principales objetivos incluían el desarrollo de competencias tecnológicas en perfiles profesionales que se encuentran inmersos en el sector productivo. Las iniciativas se centran en las áreas de administración electrónica, empresas, sindicatos, educación, alfabetización digital, tecnologías digitales para profesionales y eLeadership. Estas iniciativas muestran lo relevante que es visualizar el futuro con tendencias hacia la innovación y la competitividad.

A. Competencias laborales para la I4.0

Se considera que las transformaciones tecnológicas propias de I4.0 tendrían un profundo impacto en la desaparición y aparición de puestos de trabajo; así como en la naturaleza de los trabajos y las habilidades que requieren. En consecuencia, las ocupaciones de baja e intermedia cualificación son los empleos más amenazados; especialmente si existen obstáculos para que los trabajadores adquieran nuevas habilidades. Por lo tanto, la fuerza laboral no solo debe estar capacitada para que pueda aprovechar las nuevas oportunidades laborales, sino que también debe preparar a los trabajadores actuales para manejar las nuevas tecnologías de manera que les permitan seguir siendo competitivos en su empleo. Por eso es de suma importancia mejorar permanentemente las competencias básicas y técnicas [13].

Además, Weller [13] considera que adicionalmente a las habilidades y conocimientos técnicos específicos, también son claves competencias como la capacidad para resolver problemas, la capacidad de comunicación y el trabajo en equipo; especialmente para aquellas personas que necesitan adquirir nuevas habilidades debido a las transformaciones tecnológicas, lo que hace necesario el aprendizaje permanente. De igual forma, Novick [14] concluye que el nuevo perfil de trabajo está cada vez más orientado a habilidades y conocimientos multidimensionales, cuyo propósito no se limita a la obtención de títulos académicos, sino a la formación y / o a los procesos de formación a lo largo de la vida.

En consecuencia, debido a la naturaleza de las competencias requeridas para I4.0, es conveniente considerarlas desde un enfoque holístico en tres dimensiones: competencias técnicas, contextuales y conductuales, transferibles y específicas de la organización. Siguiendo este enfoque, la competencia profesional integra todos los aspectos de las personas que pueden influir en su desempeño laboral: conocimientos, habilidades y experiencias [15]. En este sentido, el informe de 2016 "El futuro del trabajo" (Foro Económico Mundial) indica que las competencias básicas para el s. XXI incluyen la capacidad para resolver problemas complejos, el pensamiento crítico, la creatividad, la colaboración y las habilidades

digitales, ya que permiten que las personas sean lo suficientemente flexibles para adaptarse a las necesidades cambiantes del mercado laboral.

Para desarrollar estas competencias en la fuerza laboral, el Departamento de Desarrollo de Habilidades de la Universidad Nacional de Malasia ha elaborado un plan estratégico de diez puntos que incluye, entre otros, fortalecer la relación entre la universidad y la industria, el desarrollo del plan de estudios y la docencia conjunta con la industria, certificaciones duales con estándares internacionales, perfeccionamiento y reciclaje de los trabajadores en colaboración con expertos de la industria [16]. De manera similar, después de estudiar las implicaciones de la Industria 4.0 para la fuerza laboral de manufactura en los Estados Unidos, Krachtt [17] encuentra recomendable una estrategia de tres partes que consiste en certificaciones de habilidades técnicas, asociaciones público-privadas y estrategias de desarrollo interno.

B. Sistemas de aprendices

Un esquema de formación colaborativa de recursos humanos para el desarrollo de competencias técnicas específicas son los sistemas de aprendizaje certificados. Se diferencian de los programas tradicionales de formación y educación técnica y, según Fazio et al [18, p. 15] tienen cuatro características distintivas:

- 1) El aprendiz tiene un trabajo con formación estructurada.
- 2) El plan de formación combina la formación en el puesto de trabajo por parte de un docente de la profesión y la formación presencial.
- 3) Existe un contrato de trabajo escrito entre el empleador y el aprendiz, que establece los derechos y responsabilidades de ambas partes; y
- 4) El aprendiz debe aprobar una evaluación para recibir una certificación reconocida por la industria de las calificaciones adquiridas.

Los programas de aprendizaje se pueden encontrar en países como Alemania, Suiza, Austria, Inglaterra y Francia, entre otros. En estos países, se observa un efecto positivo en el aumento de la productividad, la disminución del desempleo entre los jóvenes y la focalización en trabajos más especializados. Además, las empresas se benefician de un aumento de la productividad y de la reducción de los costes de contratación de mano de obra especializada [19]. En cuanto al desarrollo de competencias, se informa que los programas de aprendizaje no solo mejoran las habilidades específicas de una profesión, sino también las habilidades socioemocionales [18]. Los programas de aprendizaje proporcionan un entorno constructivo en el que el alumno puede combinar la teoría del aula con su aplicación en entornos reales, así como adquirir un contexto y una experiencia valiosos [20].

Por ello, de cara a I4.0, una propuesta que contribuya al incremento de la competitividad del capital humano al tiempo que genera oportunidades de formación y empleo, se construye a partir de un esquema de colaboración entre empresa y universidad para la implementación conjunta de programas de educación continua y formación de nuevos aprendices. Estos esquemas de colaboración pueden estar orientados tanto al desarrollo de competencias técnicas específicas I4.0 requeridas

por el mercado laboral, como a competencias genéricas de adaptabilidad y autoaprendizaje. Los ejemplos de programas exitosos de este tipo se basan en la evaluación a través del sistema nacional de certificación y en el aseguramiento de la calidad [18]. En este enfoque, las políticas y programas públicos sociales se articulan fuertemente con los empleadores y generan estructuras de incentivos adecuadas en las que la gobernabilidad y la transparencia están presentes como elementos articuladores.

C. Certificación de competencias laborales

Los cambios en las habilidades requeridas por los trabajadores y la necesidad de validar de manera transparente su adquisición, permitiendo la movilidad laboral horizontal y vertical, son la base para la certificación de competencias laborales. Estos se definen como "el reconocimiento público, formal y temporal de la capacidad de trabajo demostrada por un trabajador, realizado en base a la evaluación de sus competencias en relación con una norma y sin estar necesariamente sujeto a la culminación de un proceso educativo" [21, pág. 75].

En un principio, las certificaciones eran un mecanismo para complementar la formación del trabajador, al identificar aquellas competencias asociadas al perfil que no fueron aprobadas durante su evaluación. Posteriormente, el enfoque cambió a uno de valorización de las ocupaciones y, más recientemente, como parte del aprendizaje permanente [14]. La certificación debe tener las características de significado, vigencia, transparencia y actualización. Para la orientación al sector industrial de la certificación, se sugiere un modelo de competencias en el que se separan los órganos de formación, evaluación y emisión; poder incorporarse a la universidad, las empresas y el gobierno [21]. Puede tomarse como referencia a países como Alemania, que cuentan con un amplio sistema de certificación de competencias, y las cámaras de comercio administran los exámenes de certificación al tiempo que contribuyen a la construcción de una fuerza laboral certificada para la industria regional [22].

La certificación de competencias ofrece una serie de beneficios para el trabajador, el empleador y las autoridades educativas. Para los empleadores, las certificaciones apoyan los procesos de reclutamiento, contratación y promoción. Para el trabajador significa que puede demostrar un conjunto de competencias específicas, generalmente asociadas con la actualización y / o industrias específicas. A su vez, la demanda y oferta de certificaciones por parte de la industria implica que los contenidos de la oferta educativa sean relevantes al contexto [22].

Ante este competitivo escenario internacional, el objetivo de este estudio es establecer el contexto estructural existente para el desarrollo y certificación de habilidades técnicas requeridas para el desarrollo de I4.0 entre los jóvenes mexicanos.

II. METODOLOGÍA

Para lograr el objetivo presentado, a lo largo de este estudio se realiza una revisión teórica y conceptual basada en un análisis documental. Este método consistió en la búsqueda, recopilación y análisis del contenido de una serie de

documentos, artículos e informes oficiales de organismos internacionales. El análisis de documentos es un procedimiento sistemático para revisar o evaluar documentos presentados tanto en fuentes impresas como electrónicas. Este método cualitativo conduce a la recopilación de información de forma sistemática, analítica, sintética y crítica. Por otro lado, una de las principales desventajas de este método radica en los posibles sesgos introducidos por el investigador durante la selección e interpretación de los documentos [23], [24].

Se realizó una búsqueda en bases de datos electrónicas como Scopus y Elseviere, utilizando los términos de búsqueda "Industria 4.0" y "México", para trabajos publicados de 2016 a 2020. Posteriormente, se utilizaron los delimitadores "universidad" o "certificación" en el título, resumen o palabras clave de los trabajos resultantes. Con los resultados de estos nuevos criterios, se realizó una primera selección en función de su contenido abstracto. Posteriormente, se leyeron y revisaron los títulos seleccionados. Además, se revisaron las páginas electrónicas oficiales de los sitios gubernamentales. Estos incluyeron los del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), la Secretaría de Educación Pública (SEP), la Secretaría de Economía (SE) y el Consejo Nacional de Normalización y Certificación de Competencias Laborales (CONOCER). En estas páginas se buscó información sobre la certificación de competencias laborales en los campos asociados a la Industria 4.0.

Por lo tanto, este estudio relaciona las características de la industria, así como las habilidades y competencias asociadas al incipiente mercado laboral, y los esquemas de participación entre escuela, industria y gobierno que están impulsando algunos países para el desarrollo de aprendices certificados. Esta revisión se contrasta con las condiciones estructurales y relacionales del contexto mexicano; dirigido a identificar el potencial de las estrategias educativas para el desarrollo del capital humano en el panorama nacional.

III. RESULTADOS

Los resultados producen una agrupación temática que se indica en la Figura 1. De la lectura de los documentos se extrae el panorama nacional cualitativo que se describe a continuación. México ocupó el puesto 13 en el índice de competitividad manufacturera de 2018 de Deloitte. Incluso cuando los pilares generales eran aceptables, los resultados eran insatisfactorios en la preparación tecnológica, la educación y la formación [6]. Según el Índice de Competitividad Global 4.0 de 2019 del Foro Económico Mundial, México ocupó el puesto 48 de una lista de 141 países. Sin embargo, en el 3er pilar (adopción de las TIC), el país ocupó el puesto 74 y el 89 en el 6º pilar (Habilidades). En una mirada más cercana a esa categoría, encontramos Habilidades de la fuerza laboral actual (79) y Habilidades de la fuerza laboral futura (102) [25]. Esto nos permite ver que en cuanto a preparación tecnológica, el país se ubica en los últimos lugares, considerando que no se utilizan herramientas tecnológicas y aplicaciones de Industria 4.0 que favorezcan el desarrollo de dichas organizaciones productivas,

las cuales representan enormes desafíos en los próximos años.

En México, la promoción de vocaciones tecnológicas regionales y la definición de metas orientadas al desarrollo de la Industria 4.0 exige el establecimiento de políticas que apoyen la industria manufacturera avanzada y el desarrollo de productos, generación de nuevos negocios y servicios, desarrollo de infraestructura para la implementación de cómputo en la nube, tecnología de impresión 3D, analítica de datos e inteligencia artificial, redes Fab Labs e incubadoras para empresas de alta tecnología, así como mecanismos más eficientes para la actualización del currículo de los programas técnicos y de ingeniería [8].

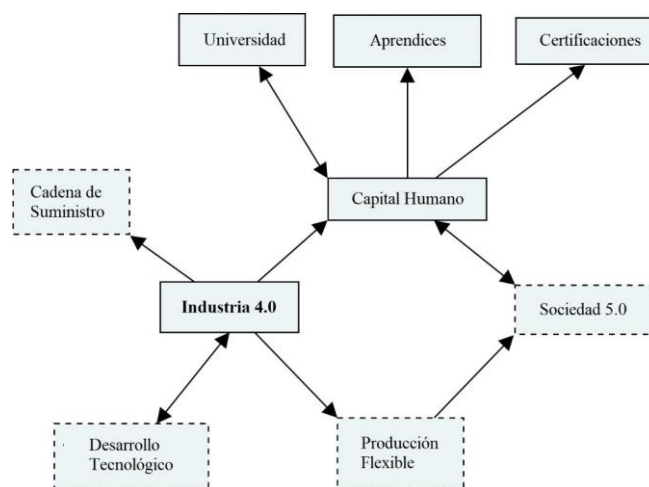


Fig. 1 - Agrupación temática de las competencias asociadas a la I4.0.

Si se compara la proporción de adultos que tienen un título de educación superior en México con la del resto de países miembros de la OCDE, en 2018 el país se ubicó muy por debajo del promedio (37%) al alcanzar solo el 17% [28]. Si, además, se observan los campos de estudio más frecuentes, vemos que el principal campo de estudio de los egresados universitarios mexicanos fue administración de empresas y derecho (35%), seguido de ingeniería y construcción (21%) en segundo lugar. En cambio, en países como Austria, Alemania y la Federación de Rusia, la mayoría de los títulos universitarios correspondieron al campo de la ingeniería, la manufactura o la construcción como se informó.

En cuanto al porcentaje de adultos con estudios de posgrado, maestría o doctorado, el promedio de los países miembros de la OCDE es del 14%, mientras que en México solo llega al 2%. En este sentido, el país tiene el mismo porcentaje que otros países de la región como Argentina, Brasil, Chile y Costa Rica. Por el contrario, en países como Suiza, la Federación de Rusia y la República Eslovaca el porcentaje alcanza hasta el 20% [29].

Por tanto, el desarrollo de planes estratégicos sobre el sistema educativo nacional es decisivo para el desarrollo de talentos en diseño e ingeniería, fortaleciendo vocaciones técnicas y habilidades empresariales en un entorno que favorece tanto las

necesidades del sector productivo como de los emprendedores. Al mismo tiempo, brindar oportunidades para adquirir y certificar habilidades laborales permitiría a los jóvenes acceder a mejores trabajos y a los trabajadores veteranos mantenerse actualizados. La Figura 2 muestra tanto algunas de las estrategias implementadas por el gobierno mexicano, como la posible articulación con los sistemas de certificación y aprendizaje discutidos.

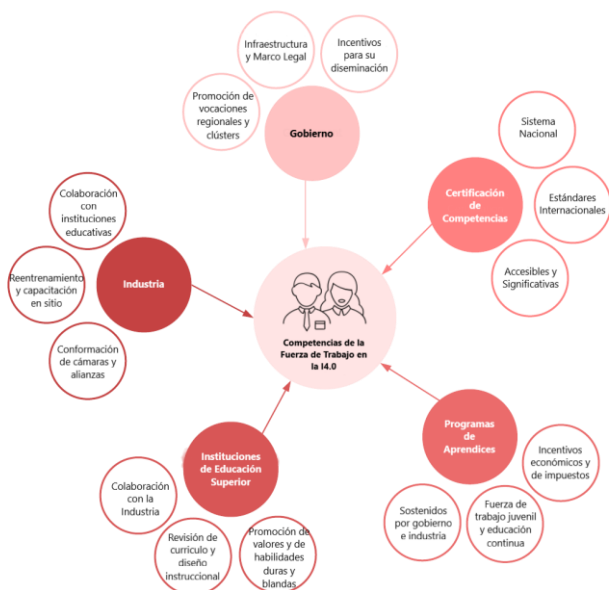


Fig. 2 - Componentes de las alianzas para el desarrollo de competencias de la fuerza laboral I4.0.

Sin embargo, a pesar de su marcado impacto positivo en todos los indicadores de productividad, los programas de aprendizaje para el desarrollo de habilidades técnicas no se han implementado adecuadamente en América Latina. Los programas que se han establecido para la formación de jóvenes y su incorporación al mercado laboral no cubren de manera confiable las características distintivas de un programa de aprendizaje. En el caso de México, se señalan experiencias en la formación técnica vocacional, con impedimentos estructurales en los aspectos legales de la contratación, la informalidad de los empleos, la falta de confianza en las instituciones y la escasa participación de las Instituciones de Educación Superior (IES) [18], [19].

En México, la certificación de competencias está regulada por el Sistema de Certificación de Competencias Laborales, que junto con el Sistema de Normalización de Competencias Laborales, conforman el Sistema Nacional de Competencias (SNC), el cual es coordinado y regulado por el Consejo Nacional de Normalización y Certificación de Competencias Laborales (CONOCER). Este último promueve la organización y funcionamiento de los Comités de Normalización [30]. Su tarea central radica en la identificación de funciones que puedan estandarizarse dentro de los procesos productivos y en la definición de los estándares o Normas Técnicas de Competencia Laboral (NTCL) para cada uno de ellos. Las

NTCL se definen en relación con funciones productivas y no con puestos de trabajo, debido al gran dinamismo tecnológico [26].

Actualmente, la CONOCER cuenta con 1019 estándares de competencia, agrupados en 29 sectores, entre los que se destacan con el mayor número de estándares: Servicios Profesionales y Técnicos (195), Educación y Formación de Personas (119) y Administración Pública (73). Entre estas, se pueden identificar las certificaciones asociadas a I4.0 diseminadas entre diferentes sectores (Educación y Capacitación de Personas, Automotriz, Maquilas y Manufactura, Tecnologías de la Información) [31]. CONOCER, ha incorporado recientemente a la Universidad Abierta y a Distancia de México (UnADM) como organismo certificador de TIC entre estudiantes y docentes [32]. Asimismo, se han aprobado estándares relacionados con I4.0 en las áreas de nube, administración, producción, innovación e investigación utilizando tecnologías de Microsoft [33].

IV. CONCLUSIONES

Dada la irrupción de las nuevas tecnologías y su consecuente impacto en el empleo, el desarrollo de competencias en los trabajadores debe considerarse como una actividad permanente en la que colaboran la empresa y las instituciones educativas. Con una orientación al aprendizaje permanente, las competencias deben enfatizar la adaptabilidad y resiliencia ante el cambio; así como desarrollar conocimientos y habilidades básicos que apoyen la adquisición de conocimientos especializados.

Hacer frente a los desafíos existentes en la vinculación de habilidades y productividad, empleo y desarrollo; requiere la coordinación de políticas e instituciones, además de la participación de los actores sociales, laborales y educativos. Las políticas públicas deben ayudar a reducir las brechas existentes entre la oferta y la demanda de habilidades; y las instituciones garantizan la confiabilidad de las credenciales obtenidas y generan sistemas de información laboral actualizados [14].

Las certificaciones cobran mayor importancia debido a la prontitud de la obsolescencia de los títulos académicos frente a las transformaciones tecnológicas. Estos buscan garantizar la actualización profesional y luego son relevantes para el mercado laboral [36]. El desarrollo y actualización de estándares entre empresas y academia, así como la evaluación transparente de competencias, posibilita el desarrollo del capital humano y un registro sistematizado tanto de las vocaciones regionales como de su potencial de atracción de inversión y crecimiento.

Es importante reconocer que en México muchas de las grandes empresas cuentan con programas de capacitación interna no asociados a CONOCER y que, en cambio, las Micro, Pequeñas y Medianas Empresas no realizan grandes inversiones en capacitación por falta de recursos [26]; las políticas públicas pueden desarrollar estrategias para incentivar su incorporación. De igual forma, la inversión de programas sociales para apoyar la formación de jóvenes será evaluada a partir de la adquisición

de una competencia debidamente evaluada y certificada. Los programas de aprendizaje certificados tienen pruebas suficientes de éxito en los países donde se implementan como parte de una política integral de educación y empleo. Los clústeres e industrias regionales que reciben incentivos para implementar la tecnología I4.0 deberían ser los primeros beneficiarios de estos esquemas. Según Carrillo et al [37], cuanto mayor es el nivel de conocimiento de las tecnologías I4.0 de los ingenieros, mayor es la implementación de estas tecnologías en las empresas en las que trabajan.

Las IES mexicanas (IES) enfrentan el desafío de liderar una transformación de los mecanismos de vinculación que, asegurando la pertinencia del currículo, demuestren suficiente capacidad de respuesta para enfrentar el rápido cambio en las demandas de competencias laborales; así como tener presencia en los sistemas de certificación de competencias específicas en programas de aprendizaje por parte de quienes requieran su adquisición o actualización.

¿Cómo convergen en el escenario de la Industria 4.0 las necesidades nacionales para incrementar la competitividad económica del país y generar mayores oportunidades educativas y laborales? Hemos visto que ante los nuevos escenarios técnicos y comerciales globales, no existe una respuesta sencilla, única e infalible. Por el contrario, nos encontramos ante un campo de oportunidad que requiere acciones sistemáticas en el mediano y largo plazo, requiriendo la colaboración entre los sectores público y privado. Para enfrentar la estructura cambiante de los mercados laborales, se destaca la relevancia de la formación profesional y el análisis permanente de los cambios en la demanda de calificaciones y habilidades en términos de políticas públicas; así como la consiguiente adaptación de contenidos y metodologías [13]. Este trabajo contribuyó a establecer un punto de referencia para el análisis y desarrollo de estrategias coordinadas entre el gobierno, la industria y las instituciones educativas.

REFERENCIAS

- [1] Y. Lu, "Industry 4.0: A survey of technologies, applications and open research issues," *Journal of Industrial Information Integration*, pp. 1-10, 2017.
- [2] J. Bonales Valencia and E. P. Gallegos Ortiz, "Competitividad y Comercio Internacional," *INCEPTUM*, vol. IX, no. 16, pp. 49-58, 2014.
- [3] Y. Liaoa, F. Deschamps, E. de Freitas Rocha Louresa and L. F. Pierin Ramosa, "Past, present and future of Industry 4.0 - a systematic literature review and research agenda proposal," *International Journal of Production Research*, pp. 3609-3629, 2017.
- [4] C. B. Ynzunza-Cortés, J. M. Izar-Landet, J. G. Bocarando- Chacón, F. Aguilar-Pereyra and M. Larios-Osori, "El Entorno de la Industria 4.0: Implicaciones y Perspectivas Futuras," *CONCIENCIA TECNOLÓGICA*, pp. 33-45, 2017.
- [5] M. Peña-Cabrera, V. Lomas and G. Lefranc, "Fourth industrial revolution and its impact on society," in *IEEE CHILEAN Conference on Electrical, Electronics Engineering, Information and Communication Technologies (CHILECON)*, Valparaiso, Chile, 2019.
- [6] A. Khan and K. Turowski, "A Survey of Current Challenges in Manufacturing Industry and Preparation for Industry 4.0.," in *First International Scientific Conference "Intelligent Information Technologies for Industry"*, Switzerland, 2016.
- [7] M. Baygin, H. Yetis, M. Karakose and E. Akin, "An Effect Analysis of Industry 4.0 to Higher Education," in *15th International Conference on Information Technology Based Higher Education and Training (ITHET)*, Istanbul, Turkey, 2016.
- [8] Ministry of Economy, "Crafting the Future. A roadmap for Industry 4.0 in México," Gobierno de México, Ciudad de México, 2016.
- [9] A. Benešová and J. Tupa, "Requirements for Education and Qualification of People in Industry 4.0," *Procedia Manufacturing*, p. 2195 – 2202, 2017.
- [10] J. Wu, Y. Yang, X. Cheng, Z. Cheng and H. Zuo, "The Development of Digital Twin Technology Review," in *Chinese Automation Congress*, 2020.
- [11] eCompetence, "European e-Competence Framework" 2016. [Online]. Available: www.ecompetence.eu
- [12] European Commission, "The Digital Skills and Jobs Coalition," December 2020. [Online]. Available: <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/digital-skills-and-jobs-coalition>.
- [13] J. Weller, *Las transformaciones tecnológicas y su impacto en los mercados laborales*, Santiago: CEPAL, 2017.
- [14] M. Novick, "Metodologías aplicadas en América Latina para anticipar demandas de las empresas en materia de competencias técnicas y profesionales.," CEPAL, Santiago, 2017.
- [15] D. Guerrero, I. De los Ríos, F. Gómez Gajardo and J. Guillén, "Modelos internacionales de certificación de competencias profesionales: una caracterización de ocho modelos.," in *XIV Congreso Internacional de Ingeniería de proyectos*, Madrid, 2010.
- [16] N. E. Sohimi, H. M. Affandi, M. S. Rasul, R. M. Yasin, N. Nordin and S. Adam, "Malaysian Industrial Collaborations for Skills Development in 4th Industrial Revolution," *Journal of Technical Education and Training*, vol. 11, no. 3, pp. 63-72, 2019.
- [17] N. Kracht, "The workforce implications of Industry 4.0: manufacturing workforce strategies to enable enterprise transformation," *University of Wisconsin-Platteville, United States*, 2018.
- [18] M. V. Fazio, R. Fernández-Coto and L. Ripani, *Aprendices para el siglo XXI. ¿Un modelo para América Latina y el Caribe?*, Washington D.C.: Banco Interamericano de Desarrollo, 2016.
- [19] R. Novella and Y. S. Pérez-Dávila, "¿Son Efectivos los Programas de Aprendices?: Lecciones para América Latina y el Caribe.," Banco Interamericano de Desarrollo, Washington D.C., 2017.
- [20] Y. Norhayati, S. Mohamad, A. M. Suimi, S. Mohamad and M. Y. Ruhizan, "Authentic Teaching and Learning in Malaysian National Dual Training System (NDTS) Apprenticeship Program," *Journal of Technical Education and Training*, vol. 12, no. 1, pp. 91-99, 2020.
- [21] M. Irigoien and F. Vargas, "Certificación de Competencias. Del concepto a los sistemas.," *Competencia Laboral*, no. 152, pp. 75-88, 2002.
- [22] M. Prebil and M. A. McCarthy, "Education Policy," 17 September 2018. [Online]. Available: <https://www.newamerica.org/education-policy/reports/building-better-degrees-using-industry-certifications/>.
- [23] G. A. Bowen, "Document Analysis as a Qualitative Research Method," *Qualitative Research Journal*, vol. 9, no. 2, pp. 27-40, 2009.
- [24] I. Chong, "Métodos y técnicas de la investigación documental," in *Investigación y Docencia en Bibliotecología*, Ciudad de México, UNAM, 2007, pp. 183-201.
- [25] World Economic Forum, "The Global Competitiveness Report 2019," WEF, Geneve, 2019.
- [26] F. Vargas Zúñiga, "La certificación de competencias en México. CONOCER.," in *La certificación de competencias en el marco de las políticas de empleo y formación.*, Montevideo, Organización Internacional del Trabajo, 2015, pp. 137-150.
- [27] Ministry of Education, "Estadísticas Básicas de Educación Superior," agosto 2020. [Online]. Available: <https://www.dgesu.ses.sep.gob.mx/EBESNACIONAL.aspx>.
- [28] OECD, "Higher Education in Mexico: Labour Market Relevance and Outcomes," OECD Publishing, Paris, 2019.
- [29] OECD, "Education at a Glance 2019: OECD Indicators," OECD Publishing, Paris, 2019.
- [30] CONOCER, "Sistema Nacional de Competencias," 25 abril 2017. [Online]. Available: https://conocer.gob.mx/acciones_programas/sistema-nacional-competencias/.
- [31] CONOCER, "Listado de Estándares de Competencia CONOCER," 28 agosto 2019. [Online]. Available: <http://148.244.170.140/templates/conocer/listado.html>.
- [32] Secretaría de Gobernación, "Diario Oficial de la Federación," 28 diciembre 2020. [Online]. Available:

https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5608949&fecha=28/12/2020. [Accessed 10 abril 2021].

- [33] Secretaría de Educación Pública, "Blog de la Secretaría de Educación Pública," Gobierno de México, 08 marzo 2021. [Online]. Available: <https://www.gob.mx/sep/es/articulos/comunicado-conjunto-no-5-se-integra-unadm-al-sistema-nacional-de-competencias-del-conocer?idiom=es>. [Accessed 10 abril 2021].
- [34] Secretaría de Economía, "Centro de Innovación Industrial," Prosoft Industria 4.0 MX, 2019. [Online]. Available: <https://prosoft.economia.gob.mx/industria4-0.aspx>. [Accessed 10 Abril 2021].
- [35] Universidad Autónoma de Nuevo León, "Iniciativa UANL 4.0," Universidad Autónoma de Nuevo León, 2018. [Online]. Available: <https://www.uanl.mx/iniciativa-uanl-4-0/>. [Accessed 11 Abril 2021].
- [36] B. Raimundo Vossio, "Certificación y normalización de competencias. Orígenes, conceptos y prácticas.," Competencia Laboral, no. 152, pp. 51-74, 2002.
- [37] J. Carrillo, R. Gomis, S. De los Santos, L. Covarrubias and M. Matus, "¿Podrán transitar los ingenieros a la Industria 4.0? Análisis industrial en Baja California," Entreciencias: Diálogos en la Sociedad del Conocimiento, vol. 22, no. 8, pp. 1-22, 2020.



Bernabé Rodríguez-Tapia (Tecate, 1985) recibió el título de Ingeniero en Electrónica por la Universidad Autónoma de Baja California (UABC), México, en 2010, y un Doctorado en Tecnología por la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ), México, en 2020. Es actualmente Profesor-Investigador en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología de la UABC.

Sus intereses de investigación incluyen el procesamiento de señales, aplicación de la inteligencia artificial, así como la innovación y el desarrollo tecnológico.

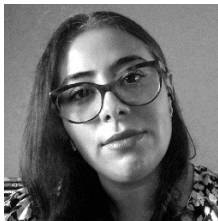
El Dr. Rodríguez es integrante de la Red de Educación Apoyada en Tecnologías de la Información, Comunicación y Colaboración. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) de México.



Patricia Avitia-Carlos (Mexicali, 1978) obtuvo el título de Ingeniero en Electrónica por la Universidad Autónoma de Baja (UABC), México, en 2000; Maestría en Ciencias en Mecatrónica por la Universidad de Ciencias Aplicadas Ravensburg-Weingarten, Alemania, en 2005, y el Doctorado en Sistemas y Ambientes Educativos por la Universidad de Guadalajara, México, en 2021.

Ella ha trabajado en la industria de manufactura entre los años 2000 y 2008. A partir de 2009, se unió a la UABC como Profesor de Tiempo Completo en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología. Sus intereses de investigación incluyen la apropiación social de la tecnología, el future del trabajo en el área de tecnología y la virtualización de la educación en ingeniería.

La Dra. Avitia recibió en 2021 el premio a la mejor tesis de doctorado sobre educación superior por la Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior (ANUIES). Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) de México.



Norma Candolfi-Arballo (Ensenada, 1983) recibió el título de Ingeniero en Computación y la Maestría en Ingeniería por la Universidad Autónoma de Baja California (UABC), México, en 2005 y 2008, respectivamente. Obtuvo el grado de Doctor en Sistemas y Ambientes Educativos por la Universidad de Guadalajara, México, en 2020.

Actualmente es Profesor-Investigador en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología de la UABC. Es la Coordinadora del programa de maestría en tecnologías para el aprendizaje organizacional.

La Dra. Candolfi gestiona y promueve proyectos para el Desarrollo de habilidades y competencias tecnológicas en varios sectores económicos, así como en comunidades vulnerables. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) de México.



José Luis Rodríguez-Verduzco (Los Mochis, 1976), graduado como Ingeniero en Electrónica por el Instituto Tecnológico de Sonora, México, en 1999 y como Maestro en Ciencias en Sistemas Digitales por el Centro de Investigación y Desarrollo de Tecnología Digital (CITEDI) del Instituto Politécnico Nacional, México, en 2004.

Es Profesor en la Universidad Autónoma de Baja California de 2009 a la fecha. Sus áreas de interés son la automatización, instrumentación virtual y desarrollo de software didáctico.