

La enseñanza de IoT como estrategia para desarrollar competencias técnicas para la Industria 4.0

Teaching IoT as a strategy to develop technical skills for Industry 4.0

Víctor Miguel Cuchillac.

Ingeniería en Electrónica, por la Universidad Don Bosco, El Salvador.

Maestría en Informática Aplicada a Redes de la Universidad Francisco Gavidia, El Salvador.

Candidato a Doctor en Gestión Pública y Ciencias Empresariales,

por el Instituto Centroamericano de Administración Pública (ICAP) y la Universidad Francisco Gavidia, El Salvador.

Investigador en Ingeniería y Tecnología, en el Instituto de Ciencia, Tecnología e Innovación

de la Universidad Francisco Gavidia, El Salvador.

Coordinador de la Maestría en Informática Aplicada en Redes (MIR)

y la Maestría en Gestión Estratégica de Tecnologías de la Información (MAGETI)

de la Universidad Francisco Gavidia, El Salvador.

vcuchillac@ufg.edu.sv

<https://orcid.org/0000-0002-2822-117>

Fecha de recepción: 23 de mayo de 2023.

Fecha de aprobación: 12 de junio de 2023.

DOI: <https://doi.org/10.5377/ryr.v1i57.16694>



RESUMEN

El advenimiento de la Industria 4.0 y la inminente Industria 5.0 presenta tanto beneficios como retos; uno de ellos es la formación del capital humano que realizará los nuevos procesos inherentes de la transformación digital en la implementación de la cuarta revolución industrial.

La formación de capital humano con pensamiento digital bajo una hiperconectividad no es solo responsabilidad del Estado: la Educación Media y Superior son claves. No obstante, las competencias técnicas de la Industria 4.0 son muy vastas, pues involucran diferentes tecnologías como *Big Data*, Internet de las Cosas, Inteligencia Artificial, Realidad Híbrida, etc. Sin embargo, desarrollar planes de estudios y estrategias de formación en países en vía de desarrollo, representa una inversión muy onerosa; por ello, analizar y seleccionar cuál es la tecnología que debe primarse en la formación de competencias técnicas, es el objetivo principal de este artículo.

A partir de una búsqueda bibliográfica y bibliométrica se listan las tecnologías disruptivas de la Industria 4.0, se crean criterios de valoración y se consulta a expertos en tecnologías para evaluar y determinar, finalmente, cuál es la tecnología que debe priorizarse para ser impartida en Educación Media y Educación Superior para formar a los nuevos profesionales.

Palabras clave: Industria 4.0, formación para la Industria 4.0, Internet de las Cosas.

ABSTRACT

The advent of Industry 4.0 and the imminent Industry 5.0 present beneficial challenges. One of those challenges is the training of human capital that will carry out the new inherent processes of digital transformation in the implementation of the fourth industrial revolution.

The formation of human capital with digital thinking under hyperconnectivity is not only the responsibility of the state: Secondary and Higher Education are key. However, the technical skills of Industry 4.0 are very vast, since it involves different technologies such as Big Data, Internet of Things, Artificial Intelligence, Hybrid Reality, etc. However, developing curricula and training strategies in developing countries represents a very expensive investment; for this reason, analyzing and selecting which technology should be prioritized in the training of technical skills is the main objective of this article.

From a bibliographic and bibliometric search, the disruptive technologies of Industry 4.0 are listed, evaluation criteria are created and technology experts are consulted to evaluate, and finally determine which technology should be prioritized to be taught in Secondary Education and Higher Education to train new professionals.

Keywords: Industry 4.0, training for Industry 4.0, Internet of Things.

Introducción

A lo largo de la historia del ser humano se puede observar como el uso de herramientas permitió el desarrollo de civilizaciones; en la actualidad sería muy exiguo hablar de herramientas solamente, pues se requieren conocimientos y procedimientos específicos para emplearlas de forma efectiva (eficaz y eficientemente). Por lo cual, se habla de tecnologías, las cuales pueden entenderse como la fundamentación teórica, las técnicas y los recursos que permiten la solución de problemas o la creación de innovaciones.

Dada la progresiva incursión de la Industria 4.0 en las actividades productivas de las economías del primer mundo, los países en vías de desarrollo deben prepararse para implementarla y formar a los profesionales requeridos lo más pronto posible, antes que la brecha generada relegue drásticamente a los países que no lo hagan. No obstante, preparar al capital humano para la Industria 4.0 debe ser un proceso planificado, evaluado y consensado, partiendo por comprender qué tecnologías son las más representativas.

La Industria 4.0 en la actualidad

Es innegable que el desarrollo de las tecnologías está transformando muchos escenarios como el laboral, el económico, la salud, la educación, etcétera. Verbigracia, en el contexto laboral cada vez más se automatizan procesos por medio de robots colaborativos y aplicaciones inteligentes en línea: las empresas pueden ser más competitivas al agregar más valor a sus productos y servicios, reduciendo con ello costos en la fabricación, la comercialización y la mano de obra empleada. En el contexto económico, la misma dinámica de la tecnología mejora o produce nuevos productos y servicios que, desplazan o sustituyen, la oferta tradicional que no es atractiva para los nuevos consumidores.

En el área de la salud las innovaciones tecnológicas desarrollan implementaciones con equipos y aplicaciones informáticas que mejoran los diagnósticos y los tratamientos médicos; así mismo, facilitan la recolección, el almacenamiento y el análisis de datos. En el área de la educación, no solo se crean canales y contenidos que fortalecen la modalidad de enseñanza virtual, si no que proveen de recursos que mejoran las competencias de los educandos al accederse a tecnologías como los simuladores, los emuladores o los servicios en la nube, que brindan infraestructuras tecnológicas para la elaboración industrial de productos (diseño e impresión de circuitos electrónicos, impresión en 3D, etc.), manejo de equipos remotamente con grandes capacidades de procesamiento digital, acceso a bases de datos sobre diferentes áreas académicas e industriales.

Toda esta transformación es parte de la Industria 4.0, también llamada cuarta revolución industrial, la cual es caracterizada por su velocidad y escala sin precedentes: se adopta un esquema de operaciones basado en datos. Estos datos, que son extraídos de sus activos, agregan valor y permiten tomar

decisiones más inteligentes (Schume, 2020). Además, la Industria 4.0 aglutina las estrategias de países desarrollados para innovar los procesos de producción, y se puede decir que posee su propia “independencia de caracterización histórica, de la difusión del paradigma de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) a la manufactura y la producción” (CEPAL, 2019, p. 10).

En la Industria 4.0 participan muchas tecnologías, algunas de ellas son prerequisites, mientras que otras son concomitantes. La CEPAL, a partir del trabajo de McKinsey (2013) y Schwab (2016), propone tres dominios de aplicación para clasificar las tecnologías empleadas en la Industria 4.0:

Tabla 1

Clasificación de tecnologías empleadas en la Industria 4.0: dominios de aplicación.

Dominio digital	Dominio físico
<ul style="list-style-type: none"> • Big Data o macrodatos: el almacenamiento, procesamiento y análisis de grandes cantidades de datos complejos. • Cloud Computing o Computación en la nube: son las infraestructuras informáticas brindadas por empresas tecnológicas privadas, que permiten el uso de equipos informáticos, sistemas operativos, plataformas de desarrollo, servicios informáticos específicos, etc. • Computación en la niebla o borde: son los servicios de comunicación por dispositivos electrónicos en la Internet de las Cosas. • Inteligencia Artificial: es el conjunto de técnicas y tecnologías digitales que aprenden, razonan y toman decisiones, para realizar predicciones o procesos mucho más rápidos que los modelos tradicionales. • Blockchain o Cadena de bloques: son tecnologías de registro de transacciones digitales en un esquema distribuido que incrementa la seguridad al cifrar las transacciones. 	<ul style="list-style-type: none"> • Internet of things (IoT) o Internet de las Cosas (IdC): es la interconexión de diferentes sensores, actuadores y equipos de comunicación, que recolectan datos y los envían hacia plataformas digitales empleando generalmente la Internet como canal principal. • IIoT o Internet de las Cosas Industrial: similar a la anterior, pero enfocada en entornos industriales en donde los protocolos y la arquitectura empleada son más robustos. • Vehículos autónomos o semiautónomos: son los vehículos maniobrados sin la intervención humana, o con una intervención humana mínima. Para esto se emplean sistemas GPS, IoT, computadoras e Inteligencia Artificial. • Robótica avanzada (cobots): son máquinas, sistemas automatizados y robots que realizan tareas automatizadas interconectando grandes cantidades de datos y sistemas con Inteligencia Artificial. • Impresión en 3D: Es un proceso de creación de piezas físicas utilizando diferentes tipos de materiales y métodos.
Dominio biológico	
<ul style="list-style-type: none"> • Nueva gnómica: tecnologías digitales para el estudio de la secuenciación del ADN (información genética en el desarrollo y funcionamiento de los organismos vivos o virus). • Edición génica: herramientas de ingeniería genética que permiten cortar y editar de manera precisa y direccionada el ADN. • Pasaje a continuo y sistemas descartables de bioprocesos: procesos continuos como alternativa a la producción en lotes; permiten operar flexiblemente con reactores más pequeños, manteniendo la estabilidad de los insumos en el proceso. 	

Fuente: elaboración propia con base a CEPAL. (2019, p. 11).

Aunque la CEPAL no considera la red de comunicación 5G en la taxonomía anterior, en otras publicaciones la CEPAL las menciona como una tecnología de soporte en la agricultura de precisión (CEPAL, 2019, p. 76). Además, las comunicaciones 5G cada vez más logran su punto de madurez, y su implementación augura un cambio en los procesos industriales. Por su parte, Naciones Unidas considera al 5G como una de las tecnologías de vanguardia de la Industria 4.0 (Junta de Comercio y Desarrollo de Naciones Unidas, 2019, pp. 6, 15).

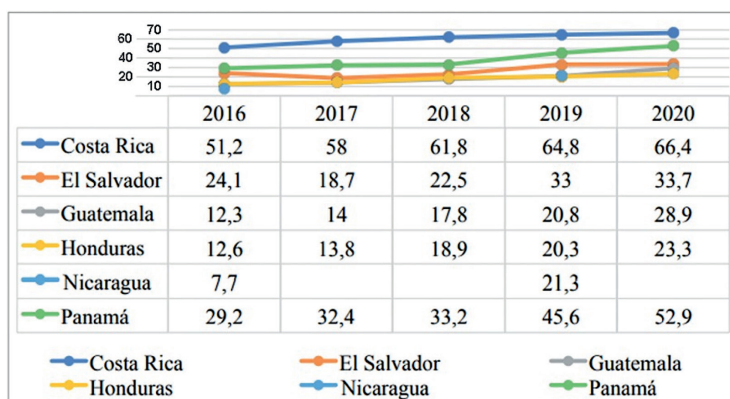
En la región centroamericana, debido a la falta de recopilación de datos cuantitativos y cualitativos, es muy difícil dimensionar la penetración de la cuarta revolución industrial, por lo cual los indicadores generales de las TIC (Tecnologías de la Información y las Comunicaciones), sirven de manera indirecta como un contexto para inferir el estado de la Industria 4.0 (Segura González, 2022). El uso de las tecnologías se ha incrementado en los últimos años, tanto El Salvador como la región centroamericana, tal como se muestra en la Figura 1 sobre el índice del uso de las TIC.

Este índice está formado por tres componentes con el mismo peso porcentual (33.33 %):

- El porcentaje de personas que usan Internet,
- Las suscripciones a Internet de banda ancha fija por cada 100 habitantes, y
- Las suscripciones activas de banda ancha móvil por cada 100 habitantes.

Figura 1

Índice de uso de las TIC en Centroamérica.



Fuente: Segura González (2022, p. 27).

En la figura anterior se puede observar que de manera sostenida en el quinquenio 2016 a 2020, Costa Rica es el país con el mayor índice de uso de TIC, seguido de Panamá. Para el caso de El Salvador, el índice posee valores cercanos a la mitad del índice que posee Costa Rica.

El riesgo del desplazamiento laboral por la Industria 4.0

La implementación de la Industria 4.0 presenta tanto beneficios como impactos en los países que buscan la industrialización; pero no implementar, ni incursionar en la cuarta revolución industrial presagia condiciones en donde la competitividad de las organizaciones no podrá estar al nivel de los países que aprovechan los beneficios de la implementación de la Industria 4.0. Además, los ciudadanos paulatinamente tendrán una reducción en la calidad de vida al no estar preparados para los puestos laborales nuevos y modificados. En este aspecto Naciones Unidas expresa (Junta de Comercio y

Desarrollo de Naciones Unidas, 2019):

La tecnología de vanguardia está evolucionando rápidamente, de modo que el cambio tecnológico podría ampliar la brecha tecnológica y, por ende, la desigualdad entre los países. La rapidez de los cambios de las tecnologías de vanguardia también puede dificultar a los trabajadores y los responsables de la formulación de políticas sociales la gestión de las transiciones en el mercado laboral, y aumentar de ese modo las desigualdades dentro del ámbito nacional.

... Además, la automatización, alimentada por la rápida evolución de la inteligencia artificial y la robótica, puede destruir empleos en una primera oleada de efectos. Si bien es probable que se creen nuevos puestos de trabajo, su número podría ser menor, y quizá requiera tiempo. Este proceso podría desplazar a trabajadores y ejercer presión a la baja sobre los salarios. (pp. 2, 3).

Recientemente, el Foro Económico Mundial en su Informe sobre el futuro de los trabajos en 2023 (*Future of jobs report 2023*) se resume que (World Economic Forum, 2023):

- Los empleadores anticipan una rotación estructural del mercado laboral del 23 % de los puestos de trabajo en los próximos cinco años
- Actualmente, las organizaciones estiman que el 34 % de todas las tareas relacionadas con el negocio las realizan máquinas, y el 66 % restante lo realizan humanos.
- Los empleadores estiman que el 44 % de las habilidades de los trabajadores se verán afectadas en los próximos cinco años.
- Las mayores pérdidas se esperan en los roles administrativos y en los roles tradicionales de seguridad, fábrica y comercio.

En los países en vías de desarrollo no solo se debe considerar cómo capacitar al talento humano que se encuentra laborando, sino también incluir a los nuevos profesionales con un perfil que permita incorporarse en los escenarios de la cuarta revolución industrial. La automatización que involucra la Industria 4.0, al emplear máquinas o dispositivos inteligentes (IoT), robots colaborativos (cobots), sistemas en la nube (*Cloud Computing*) y la Inteligencia Artificial (esta última en un crecimiento expansivo), modifica las competencias de los trabajadores, y si bien es cierto que se crean nuevas plazas, no es probable que los todos desplazados sean reubicados en los nuevos puestos de trabajo.

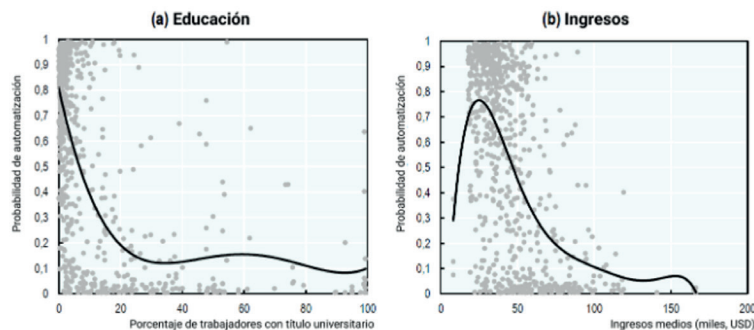
Es de hacer notar que la Industria 4.0 no afectará solamente al trabajador del segmento industrial (producción, logística, manufactura, control de calidad, mantenimiento, bodega, etc. Esta revolución es omnidireccional dentro de las organizaciones. Ante eso, la OIT (Organización Internacional del Trabajo), expresa:

La industria 4.0 promete, además, la redefinición completa de ciertos negocios, la reorganización de los procesos al interior de la firma, y la modificación de las estrategias de producción vertical y horizontal en un mundo que la tecnología altera velozmente. (Organización Internacional del Trabajo y Unión Industrial Argentina, 2020, p. 13).

Ya existen estudios sobre el desplazamiento laboral, por ejemplo, Pablo Juan Fernández muestra en la siguiente figura la probabilidad de automatización de los trabajadores en función de su educación y de sus ingresos en los Estados Unidos de América (Fernández Cotrina, 2022, pág. 12):

Figura 2

Probabilidad de la automatización de los trabajadores en función de su educación y de sus ingresos en los Estados Unidos de América¹.



Fuente: Fernández Cotrina (2022, p. 12).

En la figura anterior se aprecia que la probabilidad de automatizar trabajos de baja calidad (trabajos más operativos y con menor especialización académica), es mucho mayor que aquellas profesiones en donde la especialización académica es más alta; también muestra que los puestos con menor empleo poseen mayor probabilidad de ser automatizados.

La necesidad de formar personal en la Industria 4.0

La generación de los puestos de trabajo que implica la Industria 4.0 involucra nuevas competencias en el capital humano. Pero no solo la cuarta revolución industrial genera empleo. La Organización Internacional del Trabajo, en su resumen ejecutivo sobre las Tendencias mundiales del empleo juvenil en 2022, expone que:

Al igual que las economías verde y azul, la economía digital tiene un considerable potencial de creación de empleo para los jóvenes. La creciente digitalización de la economía y la sociedad está afectando profundamente al mundo del trabajo, y se espera que la tendencia continúe e incluso se acelere en los próximos años. (OIT, 2022, p. 3).

En 2018 la Comisión Europea indicaba que cerca de 3.5 millones de personas trabajaban como profesionales en las TIC; algunos de sus pronósticos sobre la ocupación en las TIC para finales

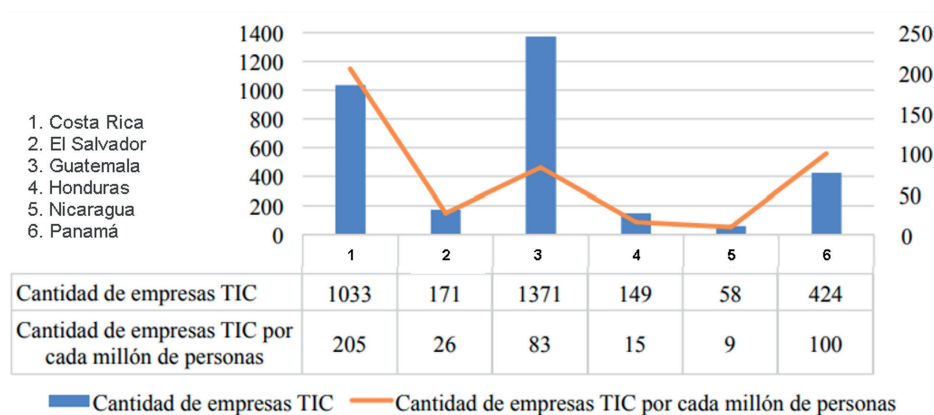
¹ Los datos utilizados por Fernández Cotrina (2022), provienen del apéndice del artículo de *Technological Forecasting & Social Change* de Frey & Osborne (2017).

del 2030 son: la creación de al menos 395,000 nuevos empleos, el porcentaje de profesionales con calificaciones de nivel medio será más o menos el 23 % y el porcentaje de profesiones con un nivel de grado superior será hasta un 74 % (European Labour Authority, 2020).

En la medida que nuevas empresas aparezcan, o que las organizaciones inicien la transformación digital, se comenzará a demandar profesionales calificados para los retos y cambios tecnológicos y procedimentales, y es aquí donde la deficiencia de personal calificado será más notoria. Esa deficiencia de personal técnico especializado para el caso salvadoreño no es latente debido a la cantidad de empresas de tecnología existentes. En la siguiente figura se muestra la cantidad de empresas vinculadas directamente con las TIC y su proporción con la densidad poblacional de los países de Centroamérica y Panamá.

Figura 3

Cantidad de empresas TIC y cantidad de empresas TIC por cada millón de personas en Centroamérica para el año 2020.



Fuente: Segura González (2022, p. 30).

El reto no solo es formar nuevos profesionales, si no actualizar las competencias de los trabajadores actuales. El Foro Económico Mundial en su Informe sobre el futuro de los trabajos en 2023, indica que “seis de cada 10 trabajadores requerirán capacitación antes de 2027, pero se considera que solo la mitad de los trabajadores tienen acceso a oportunidades de capacitación adecuadas en la actualidad” (World Economic Forum, 2023, p. 7).

La interrogante de investigación

Para un país en vías de desarrollo con una brecha digital significativa, capacitar al talento humano en las tecnologías que involucra la Industria 4.0 es muy oneroso y complejo, pues se debe tener el

equipamiento, los instructores certificados y los programas de estudios con las nuevas competencias. Por lo cual es necesario priorizar qué tecnologías pueden ser enseñadas en una fase inicial y cuáles deben impartirse paulatinamente.

Tradicionalmente la formación de las competencias requeridas en los profesionales ha estado bajo la responsabilidad de la Educación Superior. No obstante, de forma empírica se observa que el desempeño académico en carreras de ingenierías es mayor en los graduados de bachillerato técnico vocacionales, por lo que la articulación de ambos niveles infiere un mejor perfil.

Enseñar varias de las tecnologías vanguardistas involucradas en la cuarta revolución industrial implica a una institución de Educación Media o Educación Superior, realizar grandes inversiones en tecnología, la formación certificada de capital humano y disponer de modelos educativos con programas actualizados para cada disciplina o tecnología. Debido a esta complejidad, es conveniente identificar cuáles son las tecnologías más viables que permitan preparar a estudiantes con habilidades calificadas para incorporarse en la dinámica de la Industria 4.0.

Dentro de este contexto surge la siguiente interrogante: ¿cuál es la tecnología que debe priorizarse para ser impartida en Educación Media y Educación Superior en El Salvador, a fin de preparar al talento humano para la Industria 4.0?

Metodología

Para determinar qué tipo de tecnología es la más conveniente para la enseñanza en los niveles Medio y Superior en áreas técnicas para la Industria 4.0, se diseñaron cuatro fases: la primera fue concebida para determinar los criterios que evaluarían qué tan factible es impartir la tecnología, la segunda fase corresponde al diseño del instrumento que permita cuantificar las valoraciones de los expertos consultados, la tercera fase es la de la discriminación de las tecnologías a ser evaluadas, y por último la selección de los especialistas para la consulta.

Creación de criterios de viabilidad para la enseñanza

Para la identificación de la o las tecnologías más viables para formar personal capacitado fue necesario definir criterios cuantitativos y cualitativos acorde a las siguientes cuatro dimensiones:

- Financiera: involucra los costos de adquisición, mantenimiento y uso de la tecnología.
- Viabilidad técnica: disponer de personal calificado para la enseñanza en las aulas o laboratorios, acceso a recursos digitales para enseñanza (currículos, vídeos, lecturas, simuladores, plataformas en línea, aplicaciones móviles, etc.) y equipos de laboratorio para las prácticas y proyectos.
- Habilidades empleadas: abarca tanto las habilidades cognitivas como las manuales que no sean fácilmente automatizadas.

- **Vinculación:** incluyen la integración de una tecnología con otras tecnologías del ecosistema de la Industria 4.0, así como la capacidad de vincularse con la realidad de los estudiantes.

Los criterios para la selección de las tecnologías fueron los siguientes:

El costo de implementación en las instituciones de formación. Evidentemente hablar de innovación tecnológica implica inversión de recursos financieros, por lo cual no es extraño que los países que más han invertido en la tecnología digital posean menor brecha digital, logrando con esto un mayor porcentaje de empleo directo en áreas de tecnologías. Por ejemplo: el Banco de Desarrollo Interamericano (BID) lista las inversiones de los países latinoamericanos miembros de la OCDE en donde se observa que El Salvador necesita invertir USD 225,788,081 para crear 204,337 empleos directos (BID, 2021). Este comportamiento macro inversión → reducción brecha digital → usuarios beneficiados, puede aplicarse a nivel micro en las instituciones de formación.

Tecnología que pueda enseñarse desde edades tempranas a la Educación Superior. Para lograr un pensamiento digital es muy aconsejable en las etapas previas a la educación terciaria que los jóvenes tengan experticias con el uso, diseño e implementación de las TIC. Por ejemplo, el gobierno japonés, en su modelo de formación en TIC para escolares, no solo les entrega una tableta electrónica y contenidos digitales de calidad, si no que las TIC permiten identificar los aprendizajes de los estudiantes de manera que “ningún niño se quede atrás”, garantizando con esto que “los niños estarán preparados para el futuro, la era digital” (The government of Japan, 2021).

Acceso a los recursos o suministros que emplea la tecnología. El confinamiento producido por el COVID-19 impactó significativamente los procesos productivos de las organizaciones, generando con ello suspensiones parciales o completas debido a la falta de canales de distribución, acceso a materias primas, ausencia de la fuerza laboral y altos costos de operación. Sobre ello:

En el informe Especial COVID-19 la CEPAL, identificó tres grupos de sectores según la magnitud de los efectos de la crisis catalogándolos como: fuertes, significativos y moderados. Siendo los sectores más afectados el comercio mayorista y minorista; las actividades comunitarias sociales y personales; hoteles y restaurantes; actividades inmobiliarias, empresariales y de alquiler, y las manufacturas. (CEPAL, 2020, párr. 4).

Aún dos años después del confinamiento por el COVID-19, sectores claves para la Industria 4.0 como la producción de circuitos integrados no se recuperan: no porque no existan las materias primas o los canales de distribución, sino porque la demanda de los chips es muy grande (Gallegos, 2021), además se requieren “procedimientos extremadamente complejos que se llevan a cabo en unas instalaciones que deben cumplir unos requisitos muy exigentes” (López, 2022, párr. 10).

Por tanto, de manera análoga adquirir tecnologías muy especializadas que dependan de procesos muy complejos para la producción de componentes o instrumentos, presenta un riesgo en la continuidad del proceso de formación.

Aplicación de habilidades cognitivas. La reciente explosión de la Inteligencia Artificial (IA) en diferentes tareas cotidianas ha generado debate sobre el desplazamiento de puestos de trabajo al ser implementada. Autores como Kai-Fu Lee, ha planteado en su libro *AI Superpowers: China, Silicon Valley, and the New World Order* (Kai-Fu, 2018), que al momento han existido cuatro olas: 1) La primera es la IA en la Internet (2010), aplicando motores de búsqueda con sugerencias, algoritmos en los juegos en línea, procesos de validación en el comercio electrónico, etc.; 2) La segunda ola es IA en los negocios (2014), en donde su impacto fue en la toma de decisiones para la banca, empresas de seguros, el comercio, y apoyo a los procesos de logística y educación; 3) La tercera fue la percepción de la IA (2016) en donde se vincula con la IoT, drones, gestión de energía, hogares y ciudades inteligentes, aquí K. Lee destaca que, aparte de EUA, China también ha incursionado; por último 4) La cuarta ola es la IA autónoma (2018), en la aplicación de enjambres de drones realizando tareas de agricultura, autos manejados por IA con sensores que le permiten “ver”, “escuchar” y tomar decisiones en el viaje autónomo.

Al analizar las olas tres y cuatro, que menciona K. Lee, se infiere la capacidad superior de las máquinas para tomar decisiones apoyadas con más datos que el conocimiento de un ser humano entrenado. Es por lo anterior, que el criterio “Aplicación de habilidades cognitivas” permitirá valorar mejor las tecnologías que requieran habilidades y conocimientos vinculados a la creatividad, y no solo al desarrollo de operaciones rutinarias, o análisis simples y complejos.

Aplicación de habilidades manuales. Si bien es cierto que existen robots que realizan procesos de manufactura desde la tercera revolución industrial, por ahora las máquinas no crean máquinas, ni las máquinas instalan máquinas. En ese sentido la instalación de dispositivos como sensores, controladores y actuadores, instalación y configuración de equipos de comunicación, siguen siendo realizados por personal técnico.

Además, procesos como reparación de tuberías, instalación de tomas corrientes, mantenimiento de equipos es realizado por el momento por seres humanos; ya que, los robots, cobots y drones se encargan de otra serie de tareas. Este criterio busca identificar y ponderar mejor las tecnologías que requieran habilidades manuales fuera de una línea de producción o que sean automatizadas.

Vinculación con otras tecnologías. Este criterio busca ponderar mejor a las tecnologías que permitan la concomitancia con otras tecnologías adyacentes en el ecosistema de la Industria 4.0. En términos de “economía educativa” es mejor enseñar aquellas tecnologías que involucren diferentes competencias, por ejemplo: almacenamiento de datos, análisis de datos, lógica computacional, uso de plataformas en línea.

Vinculación con la realidad del estudiante. En la experiencia del autor de este artículo, como jurado de ferias nacionales de tecnología, se valoraron proyectos tecnológicos en donde la solución a un problema era simulada en un escenario que no representaba fielmente a la realidad, o que la solución del problema requería de un costo muy elevado. Verbigracia, fue recurrente ver proyectos en donde existía un carro automatizado que simulaba un recogedor de basura: la basura estaba representada por figuras geométricas de colores que eran identificados por los sensores del carrito, y por medio de las pinzas eran tomadas y llevadas a otro extremo del escenario que simulaba el lugar de acopio. Como ejercicio de aplicación este escenario es perfecto, pues se desarrolla la lógica computacional, uso de lenguajes de programación, permite la comprensión de sensores y actuadores, y se fomenta en la conciencia hacia el procesamiento de los desechos.

Sin embargo, no es un proyecto que los participantes pudieran implementar en sus hogares o centros de estudios, pues la basura no posee formas regulares acorde a las pinzas del carro robot; aun cuando se superara que las pinzas tomaran diferentes tipos de desperdicio y lo almacenaran en los depósitos correspondientes, el costo de adquirir un equipo empleado en los centros de estudio es muy alto y su uso no está adecuado para actividades fuera de las condiciones de los laboratorios (protección contra líquido, polvo, golpes, etc.).

En tal sentido un proyecto que permita automatizar las luminarias del hogar o tomar datos del entorno donde se hospeda la mascota, pueda que sea menos glamoroso que un carro recolector de basura autónomo, pero es más fácil de implementar y encontrar una vinculación con el entorno fuera del laboratorio.

En la siguiente tabla se agrupan los criterios que permiten la priorización de las tecnologías más convenientes para iniciar la formación en tecnologías incorporadas en la Industria 4.0; la agrupación de los criterios ha sido realizada acorde a las cuatro dimensiones previamente expuestas.

Tabla 2

Dimensiones para los criterios de selección de la o las tecnologías a ser priorizadas en la formación de personal calificado para la Industria 4.0.

Vinculación	Habilidades empleadas	Viabilidad técnica	Financiera
<ul style="list-style-type: none"> Vinculación con la realidad del estudiante. Vinculación con otras tecnologías. 	<ul style="list-style-type: none"> Aplicación de habilidades cognitivas. Aplicación de habilidades manuales. 	<ul style="list-style-type: none"> Tecnología enseñable previo a Educación Superior. Acceso a los recursos o suministros que se emplean. 	<ul style="list-style-type: none"> Costo de implementación en las instituciones de formación.

Fuente: elaboración propia.

Valoración de los criterios

Una vez definidos los criterios y agrupados en dimensiones, fue necesario emplear un mecanismo que permita reducir la subjetividad en las valoraciones de las tecnologías. Para reducir la subjetividad, se empleó una escala de Likert que, dependiendo del criterio, podría tener cuatro o cinco valores.

En la siguiente tabla se muestra la ponderación y la escala de valoración empleada para cada criterio.

Tabla 3

Ponderación y escala para los criterios de selección de las tecnologías seleccionadas.

Criterio	Ponderación	Consideraciones en el criterio	Escala de valoración
1. Costo de implementación en las instituciones de formación.	20	Se considera un puesto de trabajo para instituciones de Educación Media y Superior, que puede estar formado por uno hasta 4 estudiantes. Los precios están en USD.	Costos: 1 = muy altos (más de 10,500) 2 = altos (7,501 – 10,500) 3 = razonables (5,001 – 7,500) 4 = bajos (2,001 – 5,000) 5 = muy bajos (hasta 2,000)
2. Tecnología enseñable previo a la Educación Superior.	20	Este criterio valora la viabilidad de impartir la tecnología, considerando disponer de docentes calificados, equipos especializados y el desarrollo de proyectos con la tecnología a evaluar.	Enseñanza: 1 = muy difícil 2 = difícil 3 = moderada 4 = fácil 5 = muy fácil
3. Acceso a los recursos o suministros que emplea la tecnología.	10	Existen en el mercado los suministros o recursos que requiere la tecnología.	Acceso a recursos: 0 = ninguno 1 = poco 2 = medio 3 = mucho
4. Aplicación de habilidades cognitivas.	10	Los conocimientos que se necesitan son muy especializados y no son automatizados.	Habilidad cognitiva: 0 = ninguna 1 = poca 2 = media 3 = mucha
5. Aplicación de habilidades manuales.	10	Se hacen tareas manuales, conexiones, soldaduras, bricolaje, etc.	Habilidad manual: 0 = ninguna 1 = poca 2 = media 3 = mucha
6. Vinculación con otras tecnologías y campos de desarrollo.	15	La tecnología permite integrarse o complementarse con otras tecnologías de la Industria 4.0.	Vinculación con tecnologías: 0 = ninguna 1 = poca 2 = media 3 = mucha

Criterio	Ponderación	Consideraciones en el criterio	Escala de valoración
7. Nivel de vinculación con la realidad del estudiante.	15	Aquí se trata de vincular la realidad de los estudiantes con la tecnología enseñada, es decir qué tanto pueden aplicar la tecnología para innovar su realidad.	Vinculación con realidad: 0 = ninguna 1 = poca 2 = media 3 = mucha
Suma de puntos	100		

Fuente: elaboración propia.

Identificación y selección de las tecnologías propuestas para la enseñanza

A partir de una búsqueda bibliográfica inicial empleando palabras claves en las bases de datos relacionadas de EBSCOhost, se obtuvieron 197,014 resultados.

Figura 4

Creación de la búsqueda de artículos y citas relacionadas con la Industria 4.0 dentro del motor de búsqueda de EBSCOhost.

The screenshot displays the EBSCOhost search results page. On the left sidebar, under 'Depurar los resultados', the search criteria are shown: 'Búsqueda actual' and 'Booleano/Frase: "Industria 4.0" AND "Industria 4.0" OR "I...". The main search results area shows 'Resultados de la búsqueda: 2,001 a 2,050 de 197,014'. The first result is titled '2,001. Modified Cnn Based Heart Disease Detection Integrated With Iot.' by Kwatra, Chetna; Babu, Bukya Mohan; Praveen, M.; Kumar, T. Sampath; Solanki, Ram Kumar; Mayuri, A. V. R. The second result is '2,002. An efficient FBI-iForest approach-based home energy management'.

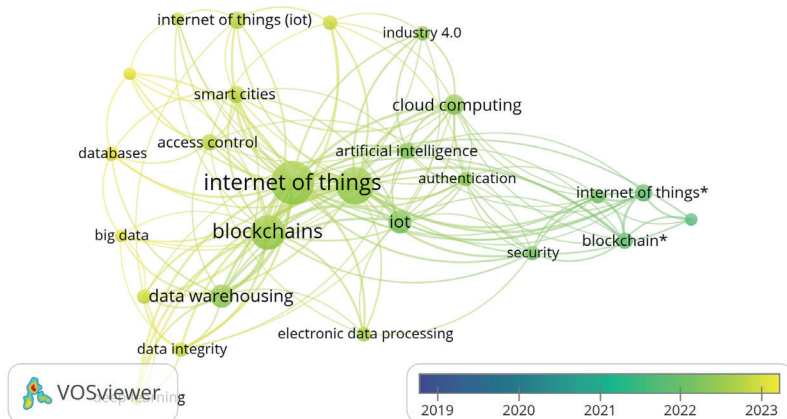
Fuente: elaboración propia, utilizando la base de datos EBSCOhost.

Posteriormente, los resultados se depuraron y se exportaron a un formato RIS (formato de etiqueta estandarizado, desarrollado por Research Information Systems, que permite a los programas de citas bibliográficas intercambiar datos). Dado que la tecnología evoluciona rápido se consideraron los resultados de los últimos cinco años.

Con la nueva base de datos en formato RIS, se cargaron los datos en VOSviewer para identificar los clústeres y la agrupación de los temas encontrados, tal y como se muestra en la siguiente figura.

Figura 5

Visualización bibliométrica en VOSviewer de las publicaciones científicas para Industria 4.0 dentro de la base de datos EBSCOhost.



Fuente: elaboración propia en VOSviewer a partir de base de datos de metadatos de EBSCOhost.

Selección de los expertos en tecnología

Para valorar el tipo de tecnología más recomendada y validar los criterios del instrumento se seleccionó a seis docentes de la Maestría en Gestión Estratégica de las TIC de la Facultad de Postgrados de la Universidad Francisco Gavidia. La selección de los expertos fue por muestreo no probabilístico por conveniencia, pues algunos de los docentes son expertos en temas como ciberseguridad, *Ethical Hacking*, manejo de *Big Data*, *Cloud Computing*, Internet de las Cosas y de aplicaciones.

Con los 26 ítems encontrados a través de la búsqueda en EBSCOhost y la agrupación en VOSviewer, se generó una lista de once tecnologías que fue validada por los expertos consultados, siendo las tecnologías seleccionadas las mostradas en la siguiente tabla.

Tabla 4

Lista de tecnologías a ser evaluadas².

No.	Tecnología	Puntaje	Seleccionada
1	Big Data	5	
2	Blockchain	4	
3	Ciberseguridad	5	

² Entre los ítems encontrados estuvo *Machine Learning* e IA, pero los expertos consideraron dejar solamente IA.

No.	Tecnología	Puntaje	Seleccionada
4	Cloud Computing	5	
5	Impresión en 3D	4	
6	Inteligencia Artificial (IA)	5	
7	Internet de las Cosas (IoT)	5	
8	Realidad aumentada	4	
9	Realidad virtual	4	
10	Robótica (Educativa)	4	
11	<i>Machine Learning</i>	3	No

Fuente: elaboración propia a partir los clústeres y temas de VOSviewer.

Inicialmente se consideró la robótica basada en tecnologías empleadas en entornos reales, pero en la discusión con los catedráticos expertos de la Maestría en Gestión de Tecnologías de la Información de la Universidad Francisco Gavidia, se acordó cambiarse a Robótica Educativa, pues la primera es muy onerosa, mientras que la segunda posee más factibilidad financiera y técnica para implementarse en instituciones de Educación Media y Educación Superior.

Instrumento de priorización de las tecnologías a enseñar

Una vez definidos los criterios y las tecnologías, se procedió a crear una matriz para cuantificar la valoración de cada criterio con respecto a cada tecnología. El instrumento se envió vía correo electrónico a los especialistas y por medio de una hoja de cálculo se generaron las ponderaciones.

Tabla 5

Instrumento para valorar las tecnologías.

Tecnologías inmersas en el ecosistema de la Industria 4.0	1. <i>Big Data</i>	2. <i>Blockchain</i>	3. Ciberseguridad	4. <i>Cloud Computing</i>	5. Impresión en 3D	6. Inteligencia Artificial	7. Internet de las Cosas	8. Realidad aumentada	9. Realidad virtual	10. Robótica (Educativa)
Criterio de valoración										
1. Costos										
2. Enseñanza										
3. Acceso a recursos										
4. Habilidad cognitiva										
5. Habilidad manual										
6. Vinculación con tecnologías										
7. Vinculación con realidad										

Fuente: elaboración propia a partir de los criterios y lista de tecnologías.

A continuación, se muestra la fórmula que se utilizó para calcular el puntaje total de cada tecnología:

$$\text{Puntaje} = \beta_1(\bar{X}_1) + \beta_2(\bar{X}_2) + \beta_3(\bar{X}_3) + \dots + \beta_n(\bar{X}_n) = \sum \beta_n(\bar{X}_n)$$

Puntaje = 20 (Promedio criterio 1) + 20 (Promedio criterio 2) + 10 (Promedio criterio 3) + 10 (Promedio criterio 4) + 10 (Promedio criterio 4) + 10 (Promedio criterio 5) + 15 (Promedio criterio 6) + 15 (Promedio criterio 7).

Resultados

En la siguiente tabla se muestran los valores promedios de las ponderaciones realizadas por los especialistas consultados.

Tabla 6

Resumen con los resultados de las valoraciones de los expertos en tecnología.

Tecnologías inmersas en el ecosistema de la Industria 4.0	1. Big Data	2. Blockchain	3. Ciberseguridad	4. Cloud Computing	5. Impresión en 3D	6. Inteligencia Artificial	7. Internet de las Cosas	8. Realidad aumentada	9. Realidad virtual	10. Robótica (Educativa)
Criterio de valoración										
1. Costos	2.0	2.5	4.3	3.5	3.5	2.3	4.3	3.5	2.5	2.0
2. Enseñanza	1.8	1.5	1.3	3.5	3.5	1.5	3.3	2.0	2.0	3.0
3. Acceso a recursos	2.3	1.5	2.3	3.0	2.8	2.3	2.8	2.0	2.0	3.0
4. Habilidad cognitiva	3.0	2.8	2.3	2.5	2.5	3.0	2.3	2.0	2.0	2.0
5. Habilidad manual	1.3	1.0	0.7	0.8	3.0	0.5	2.8	3.0	2.0	3.0
6. Vinculación con tecnologías	3.0	1.8	1.3	3.0	1.5	3.0	3.0	2.0	2.0	3.0
7. Vinculación con realidad	1.8	0.8	3.0	2.5	1.5	2.0	2.8	2.0	2.0	2.0

Fuente: elaboración propia.

Tabla 7

Puntajes finales asignados a cada tecnología.

Tecnologías inmersas en el ecosistema de la Industria 4.0	Ponderación	1. Big Data	2. Blockchain	3. Ciberseguridad	4. Cloud Computing	5. Impresión en 3D	6. Inteligencia Artificial	7. Internet de las Cosas	8. Realidad aumentada	9. Realidad virtual	10. Robótica (Educativa)
Criterio de valoración											
1. Costos	20	40.0	50.0	86.7	70.0	70.0	45.0	85.0	70.0	50.0	40.0
2. Enseñanza	20	35.0	30.0	26.7	70.0	70.0	30.0	65.0	40.0	40.0	60.0

Tecnologías inmersas en el ecosistema de la Industria 4.0	Ponderación	1. <i>Big Data</i>	2. <i>Blockchain</i>	3. Ciberseguridad	4. <i>Cloud Computing</i>	5. Impresión en 3D	6. Inteligencia Artificial	7. Internet de las Cosas	8. Realidad aumentada	9. Realidad virtual	10. Robótica (Educativa)
3. Acceso a recursos	10	22.5	15.0	23.3	30.0	27.5	22.5	27.5	20.0	20.0	30.0
4. Habilidad cognitiva	10	30.0	27.5	23.3	25.0	25.0	30.0	22.5	20.0	20.0	20.0
5. Habilidad manual	10	12.5	10.0	6.7	7.5	30.0	5.0	27.5	30.0	20.0	30.0
6. Vinculación con tecnologías	15	45.0	26.3	20.0	45.0	22.5	45.0	45.0	30.0	30.0	45.0
7. Vinculación con realidad	15	26.3	11.3	45.0	37.5	22.5	30.0	41.3	30.0	30.0	30.0
Total	100	211.3	170.0	231.7	285.0	267.5	207.5	313.8	240.0	210.0	255.0

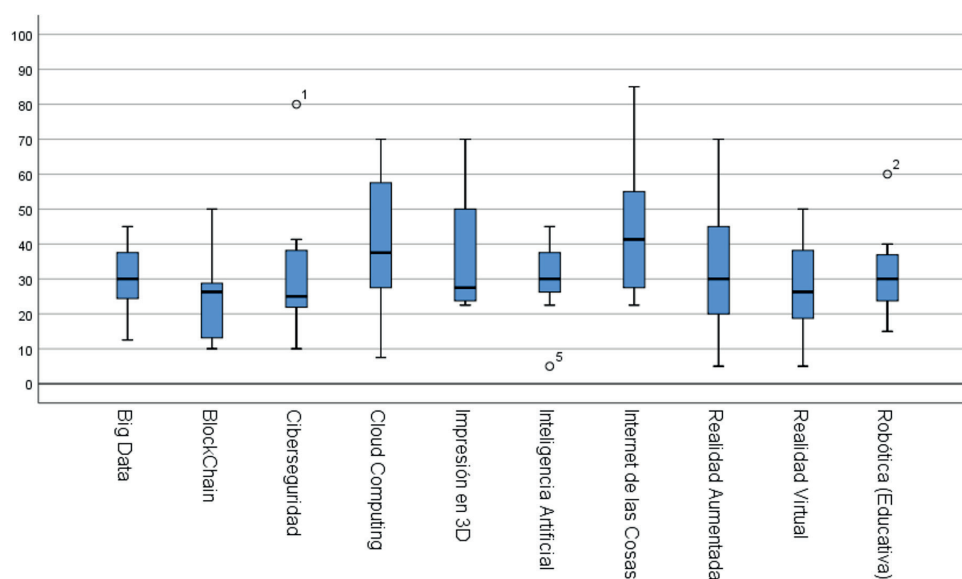
Fuente: elaboración propia usando la fórmula definida para la valoración del puntaje final

Tal como lo muestra el puntaje total, la tecnología que obtuvo el mayor puntaje es la Internet de las Cosas (con 313.8), lo que significa que la estrategia para iniciar la formación de competencias técnicas en Educación Media y Superior es la instrucción en la Internet de las Cosas

Para comprender mejor los puntajes contenidos por cada tecnología, se realizó estadígrafo descriptivo de todas las tecnologías. Por lo cual en la siguiente figura se muestra un gráfico de cajas generado en Statics de IBM SPSS con valores ponderados de los criterios.

Figura 6

Comparación de los promedios y estadísticos descriptivos provenientes de los instrumentos utilizados.



Fuente: elaboración propia a partir de los datos recolectados y procesados en IBM SPSS Statics.

En la figura los criterios con tamaños más cortos indican que los especialistas convergieron más en sus valoraciones, o están más de acuerdo; en el caso de IoT posee el valor máximo y el mayor promedio.

Finalmente, la siguiente tabla muestra un análisis estadístico descriptivo, en donde las tecnologías con mayores puntajes obtenidos fueron IoT, seguida de *Cloud Computing* e Impresión en 3D.

Tabla 8

Puntaje final de cada tecnología.

Estadísticos descriptivos						
	N	Mínimo	Máximo	Suma	Media	Desv. Desviación
Internet de las Cosas	7	22.5	85.0	313.8	44.829	22.8482
Cloud Computing	7	7.5	70.0	285.0	40.714	23.1262
Impresión en 3D	7	22.5	70.0	267.5	38.214	21.8763
Ciberseguridad	7	10.0	80.0	235.1	33.586	22.8697
Realidad aumentada	7	5.0	70.0	235.0	33.571	23.2673
Robótica (Educativa)	7	15.0	60.0	226.3	32.329	14.6215
<i>Big Data</i>	7	12.5	45.0	211.3	30.186	10.9996
Inteligencia Artificial	7	5.0	45.0	207.5	29.643	13.7256
Realidad virtual	7	5.0	50.0	195.1	27.871	16.8420
<i>Blockchain</i>	7	10.0	50.0	170.1	24.300	13.9475
N válido (por lista)	7					

Fuente: elaboración propia usando los datos obtenidos y procesados en IBM SPSS Statics.

Discusión

Al analizar las tecnologías seleccionadas por los especialistas para ser impartidas en los niveles de Educación Media y Superior, se observa que pueden agruparse en dos grandes contextos:

- *Software* mayoritariamente: *Big Data*, *Blockchain*, Ciberseguridad, *Cloud Computing*, Inteligencia Artificial.
- *Hardware*: Impresión en 3D, Internet de las Cosas, Realidad aumentada, Realidad virtual, Robótica (Educativa).

Evidentemente la inversión en laboratorios especializados es mucho mayor en el segundo contexto que en el primero. Para optimizar la inversión se propone una clasificación de tres niveles para identificar las tecnologías que poseen un nivel de integración con otras tecnologías concomitantes a la Industria 4.0. De esta manera, las tecnologías que poseen un mayor nivel indican que su implementación facilita la incorporación de más tecnologías y la reutilización del equipamiento o software. Los niveles propuestos son:

- Bajo: *Blockchain*, Impresión en 3D.
- Medio: *Big Data*, Ciberseguridad, Realidad aumentada, Realidad virtual.
- Alto: *Cloud Computing*, Inteligencia Artificial, Internet de las Cosas, Robótica Educativa.

Al realizar una intercepción entre los contextos y los niveles previos se observa que destacan la IoT y la Robótica Educativa como tecnologías del contexto *hardware* y *software*; mientras que para el contexto *software*: *Cloud Computing* e Inteligencia Artificial.

En los entornos industriales la Robótica y la Internet de las Cosas Industrial (IIoT) frecuentemente se amalgaman de forma muy natural para la automatización y el incremento de la eficiencia en diferentes áreas dentro de la empresa. De igual manera ocurre en los entornos educativos, en donde los contenidos de la Robótica Educativa y la IoT frecuentemente se solapan o complementan. No obstante, aunque la Robótica Educativa y la IoT comparten aspectos comunes, poseen diferencias fundamentales.

De forma resumida, la robótica engloba lo relacionado al diseño, la construcción y la programación de robots que realizan tareas complejas y muy precisas de una manera autónoma, por ejemplo: los procesos de fabricación industrial, la agricultura robotizada, la nascente exploración espacial, entre otros. Por su parte la IoT se refiere a la interconexión que establecen dispositivos inteligentes, sensores, actuadores u objetos de la cotidianidad para el envío de datos hacia sistemas informáticos por medio (generalmente) de la Internet.

Al analizar la Internet de las Cosas y la Robótica Educativa, se observa que la primera presenta más y mejores resultados en los siguientes aspectos:

- Costos: es menos oneroso adquirir sensores, actuadores, equipos de control y dispositivos de comunicaciones de diferentes marcas para crear escenarios en la IoT, que comprar los pequeños androides, carros electrónicos, brazos mecanizados, u otros tipos de robots. Además, muchas de las soluciones disponibles para la Robótica Educativa son cerradas, lo cual complica o imposibilita la integración con otras tecnologías, la garantía se pierde (en algunos casos) si se utilizan otras herramientas informáticas para la programación, y se necesita pagar por la capacitación técnica para la operación de los laboratorios.
- Vinculación con la realidad: debido a los costos y requisitos necesarios para instalar tecnologías de robótica empleadas en los entornos industriales, en los escenarios académicos se usan tecnologías para Robótica Educativa cuyo objetivo es desarrollar las competencias para la robótica industrial. Que si bien es cierto crea los fundamentos técnico-tóricos, las interfaces de usuario son muy diferentes, ya que no se usan los protocolos industriales, los valores de corriente y voltaje son distintos a los usados en las plantas industriales. Además, con la IoT se puede comprar productos como lámparas, tomas, sensores, relevadores, asistentes tipo parlante de Amazon, Google, Apple,

etc., que se conectan a plataformas en línea privadas (Microsoft, Oracle, Blynk, etc.) o gratuitas (ThingSpeak, KAA IoT, Macchina.io, etc.), empleando tarjetas de desarrollo y pequeñas computadoras como tarjetas Arduino, tarjetas con ESP32, computadoras Raspberry PI, y para la programación se pueden emplear muchas herramientas de pago o gratuitas.

Dado el avance de la tecnología en la fabricación de circuitos, se pueden adquirir kits de desarrollo para IoT basados en microcontroladores empleados en la IIoT. Además, debido a que existen diferentes *frameworks* de desarrollo, los discentes pueden programar los kits con diferentes esquemas, por ejemplo: programación gráfica (o programación visual), programación por código o programación por medio de la interacción de otras plataformas en línea (plataformas que pueden ser empleadas tanto en escenarios industriales como educativos).

Algunas de las tecnologías concomitantes y competencias que se logran en la enseñanza de la IoT son:

Tabla 9

Tecnologías concomitantes y competencias desarrolladas por la IoT.

Tecnologías	Competencias
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Big data</i> (macro datos). • Enlaces Wi-Fi, <i>Bluetooth</i>, 5G, Lora, Sigfox, etc. • Plataformas IoT en línea y On Premise. • Herramientas para el procesamiento de datos • <i>Dashboard</i> digitales. • Cifrado de datos y canales, SSL MQTT, CoAP. • Simuladores de electrónica (analógica y digital). • Creación de tarjetas PCB. • Creación de piezas en 3D (carcasas). • Aplicaciones móviles para monitoreo IoT • Conexión a asistentes digitales como Alexa, Siri. • Creación de equipos en la nube (IaaS). 	<ul style="list-style-type: none"> • Pensamiento lógico. • Pensamiento digital. • Programación por código. • Comprensión de la interacción de variables físicas a variables digitales. • Desarrollo de soluciones para su entorno. • Conexión física de sensores y actuadores. • Uso de recomendaciones de ciberseguridad. • Configuración de equipos en la niebla. • Conexión a servicios PaaS o SaaS en plataformas como AWS IoT, Azure IoT hub, IoT Core Google, etc. • Trabajo en equipo. • Comunicación efectiva. • Aplicación de estadística y modelado matemático.

Fuente: elaboración propia.

Dado el desarrollo de la Industria 4.0 y su adopción por economías que buscan una mayor productividad, eficiencia e innovación, aparecen nuevas competencias técnicas, cognitivas y actitudinales en los perfiles de los trabajadores actuales y futuros. La cuarta revolución industrial se caracteriza por una hiperconectividad y un análisis de información en tiempo real a lo largo de la cadena de valor de los procesos claves de una organización.

Es necesario que los gobiernos de los países en vías de desarrollo comiencen a modificar o crear planes de estudio para formar al capital humano requerido para la Industria 4.0 y próxima Industria 5.0. Esta formación no debe ocurrir en la educación terciaria, pues el pensamiento digital en los procesos

cognitivos de los discentes debe ser algo intrínseco en las dinámicas de enseñanza y aprendizaje de los niveles Básico, Media y Superior.

La enseñanza de la IoT en los niveles de Educación Medio y Superior permite la interacción con otras tecnologías concomitantes a la Industria 4.0, pues su instrucción involucra competencias relacionadas con *hardware* y *software*. Esta enseñanza apoyada en el enfoque STEM/STEAM/ STEM+H, o en el Aprendizaje Basado en Proyectos, permite diferentes niveles de profundidad acorde al perfil de los discentes. En ese sentido pueden utilizarse kits IoT que envíen datos a aplicaciones móviles o ubicadas en la nube. Pero también es posible diseñar y construir una solución IoT que se vincule con un asistente digital como Alexa, o enviar datos a una plataforma IoT como es AWS IoT (Servicios de IoT de Amazon Web Services).

La enseñanza de la IoT presenta una inversión menor comparada con tecnologías como la Robótica Educativa o la Realidad Aumentada. Además, para instituciones cuyo presupuesto es muy limitado, existe la posibilidad de instruir a los discentes utilizando simuladores. Sobre este aspecto, el autor del artículo recientemente coordinó el desarrollo de contenidos IoT para más de 300 estudiantes provenientes, en su mayoría, del sistema público de ocho departamentos del país: se utilizaron simuladores gratuitos, tanto en línea como instalables, lo cual evidenció la viabilidad de la enseñanza de varias competencias técnicas con un presupuesto menor al de una modalidad presencial.

Dado que existen simuladores sencillos y complejos para la IoT, las instituciones de formación pueden escoger una plataforma o aplicación acorde el tipo de discente, por ejemplo, la plataforma en línea Tinkercad es gratuita y permite simular la conexión y el control de componentes de electrónica analógica y digital con tarjetas de desarrollo como Arduino UNO o Micro:bit. Aquí se tiene la opción de programar de manera visual o por código; además, esta plataforma permite la creación de piezas para impresión 3D.

Si se desea experimentar la conexión de simuladores con plataformas en línea reales, es decir simular los sensores y los dispositivos de control, y enviar los datos generados para ser graficados o analizados en plataformas en línea como ThingSpeak (gratuita y de pago) o Blink, se pueden utilizar las siguientes tecnologías: el simulador de PacketTracer de CISCO, donde existen objetos para IoT e IIoT y se puede programar el Python o JavaScript, o usar la programación gráfica. Dado que se usa Python, la conexión hacia entornos de análisis de datos, *BigData*, *dashboard* u otras aplicaciones es muy amplia.

La plataforma en línea Wokwi lleva la simulación a otro nivel, pues permite la simulación de tarjetas de desarrollo basadas en SoC (*System on Chip*) como el ESP32 o micro PC como la Raspberry PI, con otros dispositivos conectados por los protocolos I2C, MQTT usando microPython. En la versión de pago la plataforma Wokwi envía datos a otras plataformas en línea o equipos físicos reales. Obviamente este escenario es para un nivel terciario.

La *Cloud Computing* (computación en la nube) fue la segunda tecnología recomendada. Es viable porque la competencia entre las empresas que brindan los servicios tipo IaaS (tener servidores alojados en la nube) o tipo PaaS (tener servicios de plataformas de desarrollo en la nube), poseen planes gratuitos durante un año para perfiles con restricciones. Sin embargo, el paradigma de migrar los servidores o servicios dentro de las organizaciones hacia la nube cada vez se consolida más, de manera que en el futuro un profesional de infraestructura deberá realizar esto como si fuera preparar una computadora recién adquirida.

Referencias

- Banco Interamericano de Desarrollo [BID]. (2021). *Cerrar la brecha digital podría crear 15 millones de empleos en América Latina y el Caribe*. <https://www.iadb.org/es/noticias/cerrar-la-brecha-digital-podria-crear-15-millones-de-empleos-en-america-latina-y-el-caribe>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL]. (2019). *Industria 4.0: oportunidades y desafíos para el desarrollo productivo de la provincia de Santa Fe*. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/44954-industria-40-oportunidades-desafios-desarrollo-productivo-la-provincia-santa-fe>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL]. (2020). *Impactos de la pandemia en los sectores productivos más afectados abarcarán a un tercio del empleo y un cuarto del PIB de la región*. <https://www.cepal.org/es/comunicados/impactos-la-pandemia-sectores-productivos-mas-afectados-abarcaran-un-tercio-empleo-un>
- European Labour Authority. (2020). *The future of work: ICT professionals*. https://eures.ec.europa.eu/future-work-ict-professionals-2020-09-25_en
- Fernández Cotrina, P. J. (2022). *Efectos sobre el empleo de la Industria 4.0 en la OCDE*. Universidad de Valladolid. <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/53500/TFG-E-1387.pdf?sequence=1>
- Gallegos, A. (2021). *La escasez mundial de chips, ¿cómo llegamos a este punto?* https://iteso.mx/web/general/detalle?group_id=27800884
- Junta de Comercio y Desarrollo de Naciones Unidas [UNCTAD]. (2019). *Transformación estructural, cuarta revolución industrial y desigualdad: desafíos para las políticas de ciencia, tecnología e innovación*. https://unctad.org/system/files/official-document/ciid43_es.pdf
- Kai-Fu, L. (2018). *Ai Superpowers: China, Silicon Valley, and the New World Order*. New York: Harcourt Publishing Company.

- López, J. (2022). *No hay escasez de chips, lo que hay es un déficit enorme: estamos fabricando más que nunca y aun así no es suficiente*. <https://www.xataka.com/componentes/no-hay-escasez-chips-que-hay-deficit-enorme-estamos-fabricando-que-nunca-asi-no-suficiente>
- Organización Internacional del Trabajo [OIT] y Unión Industrial Argentina. (2020). *El futuro del trabajo en el mundo de la industria 4.0*. Argentina: Organización Internacional del Trabajo. https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---americas/---ro-lima/---ilo-buenos-aires/documents/publication/wcms_749337.pdf
- Organización Internacional del Trabajo [OIT]. (2022). *Tendencias mundiales del empleo juvenil 2022: Invertir en la transformación de futuros para los jóvenes*. https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---dgreports/---dcomm/---publ/documents/publication/wcms_853332.pdf
- Schume, P. (2020). *Improve product quality and yield with intelligent, secure, and adaptable manufacturing operations*. IBM Blog: <https://www.ibm.com/blog/iot-manufacturing-ready/>
- Segura González, S. (2022). Industria 4.0 en Centroamérica: estado actual y esfuerzos para su acercamiento a las PYMES ante los nuevos retos y oportunidades post COVID-19. *Revista de Fomento Social*, (302), 23-39. <https://doi.org/10.32418/rfs.2022.302.5189>
- The government of Japan. (2021). *ICT in schools equips students with life skills for digital era*. https://www.japan.go.jp/kizuna/2021/04/ict_in_schools.html
- World Economic Forum. (2023). *Future of jobs report 2023*. https://www3.weforum.org/docs/WEF_Future_of_Jobs_2023.pdf