

REALIDAD Y REFLEXIÓN ES UNA PUBLICACIÓN PERIÓDICA DE CARÁCTER SEMESTRAL DE LA UNIVERSIDAD FRANCISCO GAVIDIA.
AÑO 24, N° 59, ENERO-JUNIO 2024. SAN SALVADOR, EL SALVADOR, CENTROAMÉRICA.

*REALITY AND REFLECTION IS A BIENNIAL PERIODICAL PUBLICATION OF THE FRANCISCO GAVIDIA UNIVERSITY.
YEAR 24, N° 59, JANUARY-JUNE 2024. SAN SALVADOR, EL SALVADOR, CENTRAL AMERICA.*

Simuladores virtuales: análisis de experiencias de aprendizaje

Virtual simulators: analysis of learning experiences

Víctor Miguel Cuchillac

Ingeniería en Electrónica, Universidad Don Bosco, El Salvador
Maestría en Informática Aplicada a Redes, Universidad Francisco Gavidia, El Salvador
Doctorado en Gestión Pública y Ciencias Empresariales, Instituto Centroamericano de Administración Pública (ICAP), Costa Rica
Investigador en Ingeniería y Tecnología, Instituto de Ciencia, Tecnología e Innovación de la Universidad Francisco Gavidia, El Salvador
Coordinador de la Maestría en Gestión Estratégica de Tecnologías de la Información (MAGETI), Universidad Francisco Gavidia, El Salvador
Coordinador de la Escuela de Jóvenes Talento en TIC, Universidad Francisco Gavidia, El Salvador
vcuchillac@ufg.edu.sv
<https://orcid.org/0000-0002-2822-1177>

Fecha de recepción: 22 de enero de 2024
Fecha de aprobación: 22 de febrero de 2024
DOI:



RESUMEN

Las organizaciones cada vez requieren más personal técnico calificado para mantener la innovación, aumentar la rentabilidad, y ofrecer tanto productos como servicios de calidad. De no hacerlo, se hacen más vulnerables a ser relegadas, realizar procesos desfasados y perder participación en el mercado. No obstante, la formación del capital humano es onerosa, lenta e incipiente. Por lo cual no es extraño que actualmente el aprendizaje basado en la simulación sea una modalidad cada vez más común, en especial, por la llegada de nuevas tecnologías para este fin. La cuarta revolución industrial requiere nuevas plazas con perfiles específicos donde las competencias técnicas especializadas y las habilidades blandas son imprescindibles, por lo cual los procesos de formación deben incluir a su vez estrategias novedosas que puedan amalgamar lo técnico y lo actitudinal de manera efectiva. Por este motivo el autor continúa a través de este aporte la investigación sobre la enseñanza de la Internet de las Cosas¹ como una estrategia viable técnica y financieramente para formar capital humano para la Industria 4.0. En este artículo comprende el análisis de dos experiencias de aprendizaje sobre IoT en donde se ha empleado simuladores virtuales para discentes de Educación Media y Superior, mostrándose los beneficios y las limitaciones de esta modalidad, así como la identificación de las causas que dificultan su aplicación eficaz y eficiente, brindando con esto insumos que validen o muestren elementos claves en la formación de cursos técnicos.

Palabras clave: aprendizaje basado en simulación, Internet de las Cosas, simuladores virtuales, El Salvador.

ABSTRACT

Organizations increasingly require more qualified technical personnel to maintain innovation, increase profitability, and offer both quality products and services. If they do not do so, they become more vulnerable to being relegated, carrying out outdated processes and losing market share. However, the formation of human capital is onerous, slow and incipient. Therefore, it is not surprising that simulation-based learning is currently an increasingly common modality, especially due to the advent of new technologies for this purpose. The Fourth Industrial Revolution requires new positions with specific profiles, where specialized technical competencies and soft skills are essential. Therefore, training processes must incorporate innovative strategies that can effectively blend the technical and attitudinal aspects. For this reason, the author continued research on Internet of Things education as a viable strategy, both technically and financially, for developing human capital for the Industry 4.0. This article summarizes the analysis of two learning experiences about IoT in which virtual simulators have been used for students of Secondary and Higher Education, showing the benefits and limitations of this modality as well as the identification of the causes that hinder its effective and efficient application, thereby providing inputs that validate or show key elements in the formation of technical courses.

Keywords: simulation-based learning, Internet of Things, virtual simulators, El Salvador.

¹ Se recomienda la lectura previa de la investigación *La enseñanza de IoT como estrategia para desarrollar competencias técnicas para la Industria 4.0*, en: <https://camjol.info/index.php/RyR/article/view/16694>

Introducción

Evidentemente la tecnología ha realizado cambios muy significativos en múltiples esferas del accionar humano en las últimas décadas; no obstante, a partir de la pandemia por COVID-19, el uso de la tecnología en los procesos económicos, educativos, lúdicos, sanitarios, bélicos, entre otros procesos, se ha incrementado y especializado aún más, buscando con ello incrementar la innovación, la comunicación, la productividad, ampliar mercados y «mejorar la calidad de vida de las personas».

Si bien lo anterior se lee favorable, el uso de la tecnología cada vez más especializada presenta desafíos e inconvenientes. Entre los desafíos se pueden mencionar: la necesidad de personal cada vez más especializado con menor tiempo de formación, dependencia de la tecnología para la continuidad de los procesos de la organización, demanda de mayores capacidades en la infraestructura tecnológica requerida para operar, altos costos para implementar la transformación digital, más vulnerabilidades en la ciberseguridad.

Para el caso de los inconvenientes se puede mencionar: la creciente brecha digital entre economías regionales o locales, el desplazamiento de las personas sustituidas por las innovaciones tecnológicas, la dependencia de la tecnología para el desarrollo cognitivo y la interacción social, generación de problemas de salud mental (estrés, ciber acoso, ansiedad), la exposición a radiaciones con frecuencias en el orden de las microondas y mayor cantidad de basura tecnológica.

Por ello no es extraño que la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONU DI) afirme que aunque la Inteligencia Artificial (IA) ChatGPT era de acceso libre y generalizado, mantiene correlaciones positivas con el uso de IA en países que obtienen puntuaciones más altas en el índice de capital humano frente a países con mayor número de artículos STEM (Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas, por sus siglas en inglés) y, por el contrario, existe una correlación negativa en el uso de IA con las personas de los países con menores ingresos (Palh, 2023).

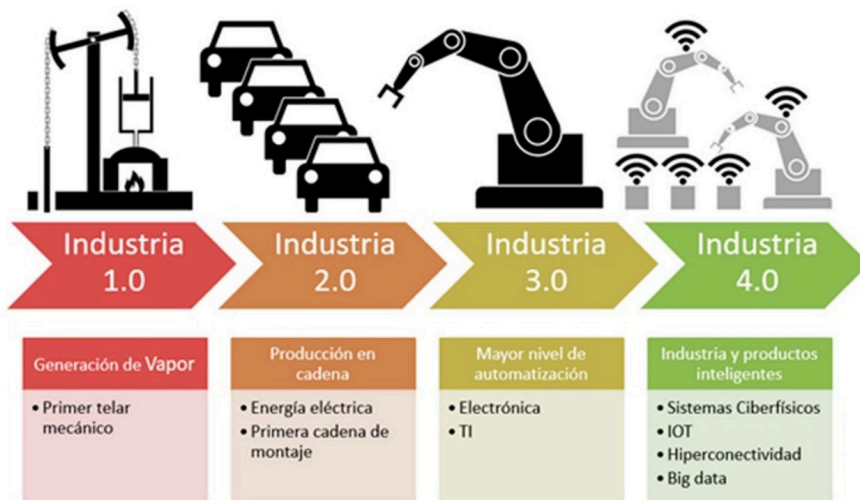
Importancia de la Industria 4.0 (I4.0) e Industria 5.0 (I5.0) en la productividad

Tal como ha ocurrido en otras épocas de la historia humana, existieron cambios muy significativos en los procesos humanos que trajeron beneficios e inconvenientes similares a lo expresado con anterioridad; estos cambios son las revoluciones industriales. Por ejemplo, el economista y filósofo escocés Adam Smith analizó en 1776 el impacto de la Revolución Industrial en su obra más famosa *La riqueza de las naciones* (Salinas, 2023), donde propone que las tecnologías como la máquina de hilar Jenny y la máquina de vapor de James Watt impulsaron la producción sin precedentes (Smith, 2018). Casi cien años después, el sociólogo y filósofo comunista prusiano Friedrich Engels abordó profundamente las repercusiones en la esfera económica y social de la Revolución Industrial (Ediciones Akal, 2020).

Se considera que han ocurrido cuatro revoluciones industriales desde 1760 hasta nuestros días. En la Figura 1 se ilustran las tecnologías más relevantes en cada revolución.

Figura 1

Revoluciones industriales hasta la fecha



Fuente: González-Hernández *et al.* (2021).

La Industria 4.0, también conocida como la cuarta revolución industrial, simboliza un cambio significativo en la forma en que se produce, gestiona y opera en el entorno industrial. Se diferencia de su predecesora en la forma en la cual convergen tecnologías concomitantes para la creación de productos y servicios, siendo, a veces, difuso identificar los límites en la aplicación de las tecnologías empleadas.

En la Industria 4.0 se evidencia la presencia de las siguientes características apoyadas por tecnologías vanguardistas.

- La interconexión de sistemas heterogéneos: esto se logra por medio de la Internet de las Cosas (IoT), sistema de cuarta generación (4G), banda ancha ultra rápida, sistemas dentro de la computación la nube (*Cloud Computing*), los nuevos sistemas de Internet satelital
- Una automatización avanzada: apoyada por la robótica industrial, los robots colaborativos (Cobots), el IoT, la Inteligencia Artificial (IA), el *Machine Learning*, gemelos digitales y los dispositivos inteligentes embebidos entre otros.
- Una fabricación inteligente y con autoaprendizaje: empleando los diferentes tipos de impresión 3D, cortadoras CNC inteligentes con visión artificial, Macrodatos (*Big Data*), Realidad Aumentada (RA) y Realidad Virtual (RV), Internet de las Cosas.
- Frecuentes optimizaciones en las cadenas de suministros y procesos: por medio del uso de los

macrodatos, la Internet de las Cosas, los servicios en la nube, la inteligencia artificial, uso de *software* empresarial de gestión de recursos (ERP) interconectados a diferentes plataformas.

- Constante innovación en productos, servicios y modelos de negocio: la convergencia de diferentes tecnologías ha permitido aumentar las funciones en los productos y servicios ofrecidos a los clientes, así como crear nuevos paradigmas como la economía naranja, economía circular, la personalización masiva, economía plateada, servicios espaciales.

Hablar del estado de la industria 4.0 es hacerlo considerando las economías más industrializadas como Alemania, Japón, los Estados Unidos de América. A partir de los datos dinámicos del Banco Mundial, los países más industrializados para 2022 fueron: China, Estados Unidos, Japón, Alemania, India, República de Corea, México, Italia (Banco Mundial, 2023). Por esto no es coincidencia que los diez principales países productores del mundo sean: China (28.7 %), Estados Unidos (16.8 %), Japón (7.5 %), Alemania (5.3 %), India (3.1 %), Corea del Sur (3 %), Italia (2.1 %), Francia (1.9 %), Reino Unido (1.8 %), Indonesia (1.6 %) por volumen de producción industrial mundial (Safeguard Global, 2023).

No obstante, este efervescente escenario de la Industria 4.0 presenta cambios muy rápidos en estos países, dando cabida a una inminente Industria 5.0, la cual representa la próxima evolución en la producción industrial, diferenciándose de su predecesora en la estrecha colaboración entre seres humanos y sistemas cibernéticos avanzados para realizar procesos de manufactura modernos. Por cibernético se debe entender la interacción de tecnologías como IA, los robots colaborativos y otras tecnologías concomitantes como la IoT, *Cloud Computing*, *Big Data*, etc. Este nuevo tándem «cibernética y humanos» presenta un gran desafío para las organizaciones que forman capital humano técnico especializado, pues las personas no se forman con la velocidad y especialidad requerida a corto plazo.

Dificultades para la formación del capital humano en áreas especializadas de la I4.0

Debido al rápido desarrollo de las tecnologías inmersas en la Industria 4.0 y la inminente Industria 5.0, se produce una creciente demanda de profesionales calificados en las tecnologías cibernéticas mencionadas generando retos a la academia y la formación no formal para lograr su cometido. Evidentemente, formar capital humano especializado en áreas técnicas es oneroso; la adquisición de equipos de laboratorio, licencias de uso, suministros, capacitaciones, soporte técnico entre otros, impone una inversión considerable y constante. Por otra parte, también existen nuevas tendencias tecnológicas que pueden hacer que la inversión recién adquirida pierda vanguardismo y rentabilidad, tanto en proveedores como en usuarios finales.

Por ejemplo, la famosa empresa danesa LEGO Systems A/S recientemente retiró del mercado su emblemático sistema de robótica educativa *Mindstorms* luego de liderar mundialmente por casi 25 años una de las soluciones de formación para niños y jóvenes (Verdejo, 2022). Aunque habrá soporte para su plataforma de desarrollo 2024 (Europa Press PortalTIC, 2022), las instituciones educativas que

han invertido, al menos, unos 360 euros por cada *Robot inventor*, deberán plantearse cómo continuarán con este recurso o si deben analizar otras soluciones tecnológicas.

Dada la relación entre las tecnologías afines incluidas en la I4.0, el perfil técnico de los formadores requiere un conocimiento avanzado en diversas áreas. Lo que hace un par de décadas se consideraban áreas independientes, ahora son disciplinas complementarias, por lo cual, para un proyecto en IoT, se necesitan sólidas competencias en electricidad, electrónica, automatización, programación en lenguajes de alto nivel, redes de computadoras (*Networking*), ciberseguridad, macrodatos, estadística y ciencia de datos.

Como se conoce, el mítico sistema de tarjetas de desarrollo Arduino ha sido desplazado por tarjetas de desarrollo basados en los SoC² (System on Chip) ESP8266 y ESP32. Estas tecnologías, además de disponer de capacidades de comunicación vía Bluetooth y Wi-Fi, presentan la posibilidad de ser programadas por los lenguajes C++, MicroPython, LUA, JavaScript, y programación gráfica³. Como se intuye, no basta dominar el lenguaje C++ para realizar compilaciones más efectivas que consuman menos recursos en los chips, si no que ahora es menester utilizar las bondades que ofrece el lenguaje Python para la conectividad hacia plataformas en línea o el procesamiento de datos en gran volumen.

Indudablemente actualizar las competencias del personal académico solo en el área de la programación requiere de tiempo y los costos asociados en sus certificaciones; análogamente, para el mismo caso del proyecto de IoT se requiere actualizar las competencias en electrónica para trabajar con las nuevas las tarjetas de desarrollo que incluyen la tecnología LoRa⁴ o las opciones de seguridad para la comunicación entre los dispositivos y la aplicación en línea. Esto evidencia que el personal académico debe contar con sólidos conocimientos, habilidades y actitudes previas que permitan la actualización constante para mantener un perfil afín al formador requerido por la I4.0

Otra dificultad en la formación académica del personal técnico, es la limitación para actualizar los planes de estudios con nuevos contenidos conforme a los nuevos puestos demandados por la cuarta revolución industrial, pues, en algunos casos, es ineludible esperar cuatro o cinco años para realizar cambios significativos en los programas de estudios, o la reorientación del perfil.

Enseñar con simuladores

La simulación es una estrategia de aprendizaje muy empleada en las ciencias sociales, matemáticas, física, medicina e ingeniería porque favorece la resolución de problemas y la toma de decisiones de

² Los SoC (sistema en chip), son circuitos integrados que poseen dentro del encapsulado un microcontrolador y protocolos como TCP, ICMP, HTTP, FTP, facilitando la comunicación entre dispositivos y plataformas en la Internet.

³ También conocida como programación visual, corresponde a la forma de programar sin utilizar digitación de código, ya que en su lugar se utilizan objetos gráficos que se van interconectando para crear el flujo deseado. Es muy utilizado en la inicialización de nuevas tecnologías o para el desarrollo del pensamiento computacional en niños.

⁴ LoRa es el acrónimo en inglés para Long Range o largo alcance. Es una tecnología de comunicación inalámbrica diseñada para proporcionar conectividad de largo alcance y baja potencia para dispositivos de IoT.

forma grupal o autónoma (Orozco *et al.*, 2020). No es una estrategia reciente y su eficacia se debe a que está fundamentada en diversas teorías como la teoría conductual (Watson y Skinner), teoría del conductismo (Jean Piaget), teoría cognitiva (Piaget, David Ausubel, Jerome Bruner, etc.), la teoría social (Vigotsky) y la teoría del aprendizaje experiencial (Kolb) (Sánchez Mendiola, *et al.*, 2023). Permite flexibilidad a los formadores para aplicar la teoría que mejor se adapte a sus necesidades. Así como evoluciona la tecnología, lo ha hecho la educación (aunque a una velocidad más conservadora); en ese sentido, el aprendizaje basado en la simulación presenta para la educación del siglo XXI la oportunidad de dinámicas de aprendizaje en donde los discentes pueden realizar prácticas de laboratorio más precisas (Perason, 2023).

Existen muchas formas de realizar la simulación como estrategia de aprendizaje, pero en esta investigación se empleó la simulación virtual que señala «la recreación de la realidad representada en una pantalla de computadora. Una simulación que involucra a personas reales que operan sistemas simulados» (Sánchez Mendiola *et al.*, 2023, p. 353). Es de acotar, también, que en la simulación virtual se pueden utilizar dispositivos hápticos (chalecos, guantes, todo lo relacionado con el tacto), visores para realidad aumentada y realidad virtual, y equipos conectados a un computador como los simuladores de carro o avión. Asimismo, en este artículo, se entenderá como simulador a las herramientas o plataformas informáticas que recrean dispositivos y componentes electrónicos de una manera controlada y real, con el fin apoyar el aprendizaje en la Internet de las Cosas.

Sería deseable que las instituciones de formación utilizaran los simuladores que se emplean en la industria, o simuladores que recreen perfectamente el comportamiento y manejo de los equipos reales; sin embargo, es muy común emplear «simuladores educativos» con funciones similares o más limitadas debido a costes, curva de aprendizaje, requerimientos para la operación y consideraciones sobre seguridad industrial (evitar la ingeniería inversa o duplicación de tecnología).

Por ello es necesario que el uso de los simuladores se enfoque en el desarrollo de las competencias requeridas por el sector productivo, y no en el uso de los simuladores propiamente. No debe olvidarse que lo que se aprende en el aula debe estar correlacionado con la solución de problemas, o con los procesos de innovación requeridos en la Industria 4.0, pues de no hacerse de esta manera la formación impartida no preparará al profesional ante un inminente cambio tecnológico en el contexto industrial salvadoreño y centroamericano.

Métodos

Dado que el autor en una investigación previa determinó que una de las áreas más conveniente para la formación técnica en competencias requeridas para la Industria 4.0 es la enseñanza de la IoT⁵, se

⁵ Más información sobre las áreas analizadas: <https://camjol.info/index.php/RyR/article/view/16694>

analizaron las experiencias de aprendizaje de dos capacitaciones en donde se emplearon simuladores virtuales, dado que emplear un recurso tecnológico vanguardista o de moda no garantiza la eficaz y eficiente implementación, ni el logro de los saberes planteados.

Uno de los intereses de esta investigación fue que los simuladores empleados en ambas experiencias de aprendizaje no necesiten de *hardware* especial como sería el caso de visores o cascos para realidad aumentada y/o realidad virtual, equipamiento háptico o entrenadores especializados; el requerimiento tecnológico fue *software*, computadoras y conexión a la Internet.

La primera experiencia considerada fue con las Academias Sabatinas Departamentales (ASD)— programa completamente gratuito que desarrolla el Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología (Mineducyt) — desde hace más de una década en donde a partir del desarrollo de seis disciplinas durante 30 sesiones presenciales (o síncronas), desarrollan competencias para la investigación científica en estudiantes de Educación Básica y Media. En esta experiencia era viable la entrevista con los docentes y el coordinador de la disciplina robótica educativa de la modalidad virtual (y presencial), por lo cual se podría realizar un análisis de los resultados del módulo de Internet de las Cosas que se desarrolló con los niveles IV y V (correspondiente a Educación Media). Además, se realizó una encuesta en línea a 138 estudiantes de Educación Básica y Media para valorar aspectos relacionados con la capacitación recibida.

La segunda experiencia de aprendizaje empleando simuladores virtuales fue la cátedra de Internet de las Cosas del último ciclo de la Maestría en Informática Aplicada a Redes (MIR). Esta capacitación se desarrolló con los maestrantes de la última cohorte de la MIR, que previo acuerdo con ellos se impartió el nuevo enfoque y prácticas contenidas en la asignatura del mismo nombre, pero dentro de la Maestría en Gestión Estratégica de las Tecnologías de la Información (MAGETI) de la Universidad Francisco Gavidia. En esta experiencia de aprendizaje la mayoría de los maestrantes tenían sólidas competencias en programación y en *Networking*, y solo uno poseía los fundamentos de electrónica; pero, a diferencia de la primera experiencia, el tiempo para lograr las competencias estaba circunscrito a cinco semanas, la mitad del tiempo que poseían las ASD. Con ambas experiencias se tenían discentes legos en términos del desarrollo de proyectos de IoT, diferentes edades, perspectivas, recursos y tecnologías a emplear.

El proceso investigativo realizado fue el siguiente: construir una base epistemológica sobre la enseñanza con simuladores virtuales, establecer las preguntas de investigación, definir los objetivos específicos, obtener los datos, analizar los resultados, sintetizar las discusiones y crear aportes para las instituciones interesadas en la formación con simuladores. En la Tabla 1 se detalla la matriz de congruencia empleada en esta investigación.

Tabla 1*Matriz de congruencia de la investigación*

Pregunta de investigación	Objetivo específico	Técnica o herramienta de captura de datos
¿Cuáles son las principales causas que dificultan la formación técnica especializada?	Listar las principales causas que dificultan la formación técnica especializada	Entrevista abierta a los docentes y expertos consultados. Elaboración de un diagrama de Ishikawa para resumir las causas principales encontradas
¿Cuáles son los beneficios de utilizar la simulación virtual en la enseñanza de la IoT?	Describir los beneficios del uso de la simulación virtual para la enseñanza de la IoT	Entrevista abierta a los docentes y expertos consultados
¿Cuáles son los resultados o experiencias en formación con simuladores virtuales?	Analizar los resultados de los cursos de formación con empleo de simuladores	Cuantificar las percepciones de las experiencias de aprendizaje

Fuente: elaboración propia.

Resultados

A continuación, se detallan los principales resultados encontrados, ordenados según los objetivos específicos descritos previamente.

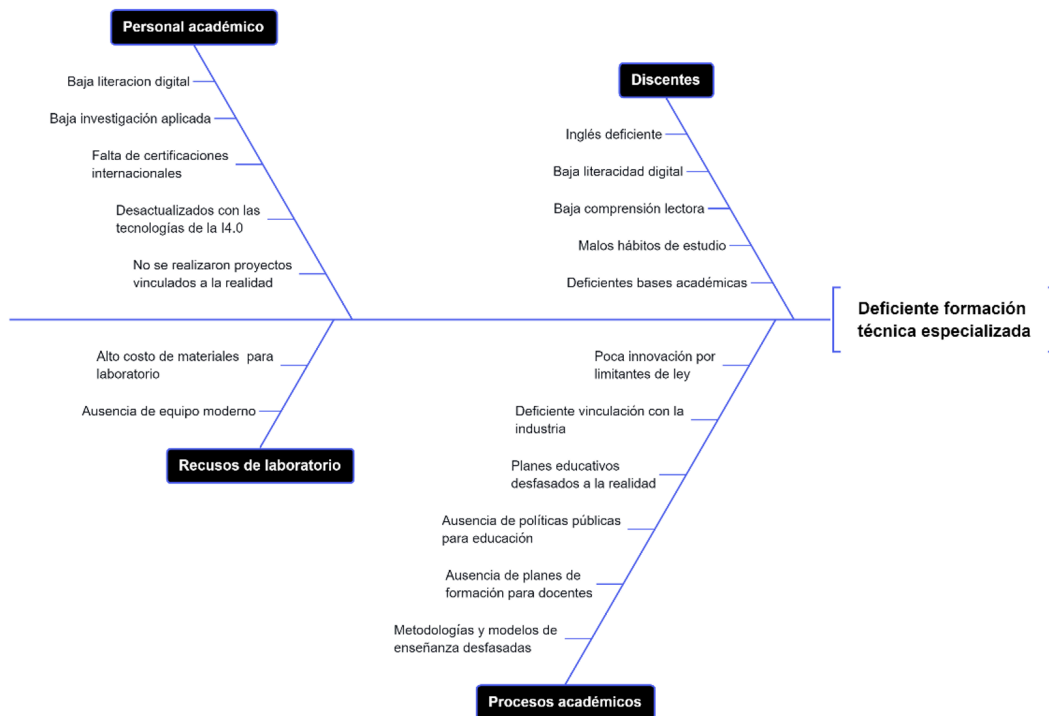
Principales causas que dificultan la enseñanza técnica especializada

A partir de las entrevistas con docentes y coordinador de la disciplina Robótica Educativa de las ASD, y registro del catedrático de la asignatura Internet de las Cosas de la MIR, se listaron, agruparon y sintetizaron las principales causas que dificultan la formación técnica especializada.

Con las causas identificadas se construyó un diagrama de Ishikawa, o espina de pescado, empleando como partida el modelo de las 4M: *machine* (maquinaria), *man* (personal), *methods* (métodos) y *materials* (materiales) (Cahyana, 2018), sustituyéndose materiales por discentes, mano de obra por personal académico, maquinaria por recursos de laboratorio y métodos por procesos académicos. En la Figura 2 se muestra el diagrama de pescado.

Figura 2

Espina de pescado para las principales causas para una deficiente formación técnica especializada



Fuente: elaboración propia a partir de las entrevistas realizadas.

Beneficios del uso de la simulación virtual para la enseñanza de la IoT

En 2022 se impartió de manera presencial para los niveles IV y V (bachillerato) de las Academias Sabatinas Departamentales (ASD) del Mineducyt, el módulo de Internet de las Cosas, utilizando la tarjeta de desarrollo micro:bit de Microsoft y un kit de IoT básico compatible con dicha tarjeta para realizar las prácticas de laboratorio en dos de las sedes. Para las restantes siete sedes se impartió de manera virtual con sesiones síncronas el módulo lógica computacional basado en IoT (llamado así para diferenciarlo del presencial) en el cual se utilizó la plataforma en línea *ThinkerCad* de Autodesk. En 2023 se impartió la asignatura Internet de las Cosas en la MIR, utilizando el simulador *Packet Tracer* de CISCO. A partir de estas experiencias de aprendizaje se observaron los siguientes beneficios:

Disminución de costes. Dado que solo se adquirió equipamiento de micro:bit para dos de las sedes, la estrategia seleccionada para desarrollar las competencias en IoT con las restantes siete

sedes fue el uso del simulador ThinkerCad, el cual es completamente gratuito y que al estar en línea permite el uso de computadoras con un perfil medio en capacidades computacionales. De esta manera, el conglomerado estudiantil de las ASD pudo desarrollar las competencias para la conexión de sensores y actuadores, la programación en lenguaje C++ para tarjetas Arduino UNO y la aplicación de procesos de automatización sin pagar licencia alguna. De la misma manera, para las prácticas de los maestrantes en la asignatura Internet de las Cosas se realizaron prácticas de laboratorio empleando el simulador *Packet Tracer*, con el cual se emularon dispositivos para domótica, equipos de comunicación de redes, equipo para la Internet de las Cosas Industriales (IIoT), placas Arduino y computadoras tipo *Raspberry.PI*. Al ser virtuales los componentes y equipos empleados, si existe una falla para la institución educativa no existe desembolso en reposición o sustitución por actualización.

Aprendizaje personalizado. Tanto el conglomerado estudiantil y los maestrantes contaron con las guías de forma previa, lo que permitió personalizar la experiencia de aprendizaje al realizar las prácticas de laboratorio en los espacios personales disponibles, al ritmo deseado y en las veces necesarias. Ambas formaciones fueron impartidas en modalidad semipresencial, y en las sesiones síncronas (ASD) o presenciales (maestría) los instructores hicieron hincapié en realizar las guías entregadas, consultar los tutoriales provistos por los desarrolladores de los simuladores y practicar hasta lograr los objetivos de aprendizaje. Además, las plataformas virtuales de apoyo almacenaron las grabaciones de las sesiones síncronas lo que permitía poder consumir dichos recursos bajo demanda.

Oportunidad de formar a más personas. Esto quedó claro cuando siete de las nueve sedes de las ASD pasaron de la modalidad presencial a la modalidad virtual para la disciplina de Robótica Educativa (en la cual se encontraba el módulo de IoT para los niveles IV y V). Dado que se empleó una plataforma en línea, el Mineducyt no tuvo que aumentar la carga informática a sus servidores, pues el simulador se ejecuta con sus propios servidores en una arquitectura que permite el acceso desde cualquier parte del mundo (excepto Irán y Corea del Norte).

Aunque es recomendable incrementar la cantidad de tutores virtuales, incrementar la cantidad de participantes en las formaciones es mucho más fácil, abaratado y eficaz que tener más participantes presenciales en mesas de trabajo reales.

Provee entornos controlados y seguros. Una de las mayores ventajas que aporta la simulación virtual para las formaciones de IoT, Robótica Educativa, electrónica y física es que no hay riesgo de daño físico a los discentes ni a los componentes o equipos electrónicos, pues una mala conexión o configuración no los daña. Existen simuladores que incluso emulan la explosión de los componentes cuando ocurre un error y otros indican que la acción creada por los usuarios no debe realizarse. Desde el punto de vista cognitivo, cometer errores sin riesgos produce: a) Un aprendizaje más profundo al analizar lo que ocurre cuando existen fallas; b) Un pensamiento más crítico al identificar y analizar las causas para encontrar una solución óptima; c) Mejora la resiliencia pues en los proyectos, como en la

vida real, se debe lidiar con situaciones adversas que necesitan una actitud más proactiva (esencial en generaciones cuyo nivel de frustración tiende a ser bajo).

Facilita la innovación y la vinculación con otras tecnologías concomitantes. Dado que los dos simuladores empleados en las formaciones de los jóvenes y maestrantes son desarrollados por prestigiosas empresas líderes en sus respectivas tecnologías, se tienen muchísimos recursos en línea que permiten profundizar más en los temas de IoT. Por ejemplo, *ThinkerCad* permite simular la tarjeta de desarrollo micro:bit de Microsoft: con esto, no solo los grupos virtuales podrían realizar las prácticas desde la conveniencia de sus residencias, si no que los discentes de las dos sedes presenciales podrían probar sus códigos o reparar lo visto sin necesidad de utilizar la tarjeta de desarrollo micro:bit y el kit para IoT. En la última sesión de las ASD se dejó que el conglomerado estudiantil desarrollara un proyecto en el cual tenían la libertad de emplear los componentes vistos y no vistos en el curso.

En el caso de los maestrantes, el simulador *Packet Tracer* permitió enviar los valores de los sensores virtuales a plataformas en línea reales como *ThingSpeak* para crear paneles de monitoreo en tiempo actual; esto a su vez permite emplear aplicaciones móviles para el telecontrol y monitoreo de los paneles. Esta capacidad de «salir» de lo virtual y comunicarse con el mundo real permite vincular otras tecnologías concomitantes cibernéticas; por ejemplo, *ThinSpeak* que al ser desarrollada por *Mathworks* vincula a *MathLab*⁶ para realizar análisis estadísticos y matemáticos en la búsqueda de patrones o modelos matemáticos que permitan la inferencia a partir de una gran cantidad de macrodatos.

Por supuesto que las capacidades de los simuladores en general permiten la interacción con inteligencia artificial, realidad virtual y realidad aumentada, así como la renderización de procesos de impresión en 3D, fabricación de placas electrónicas entre otras tecnologías concomitantes.

Coadyuva al trabajo en equipo y la motivación para aprender. De forma general, los simuladores en línea poseen opciones para trabajar en equipo, lo que se evidenció con la plataforma *ThinkerCad* que se pueden compartir los circuitos creados por los usuarios, facilitando con ello el desarrollo de proyectos complejos o extensos. Para el caso de *Packet Tracer* (PT) es posible realizar la comunicación entre dos computadoras, lo que facilita la creación y distribución de proyectos muy complejos, pues, a diferencia de *ThinkerCad*, PT se instala en la computadora y el consumo de recursos computacionales es directamente proporcional a la complejidad de la programación y la cantidad de elementos usados.

Los simuladores virtuales aportan esa extensión de la tecnología educativa hacia la computadora de los participantes, entrando con rutinas muy conocidas debido a las actividades lúdicas de los videojuegos. Por lo cual, tareas como la comunicación y coordinación con sus compañeros de grupo para el logro

⁶ MathLab es una plataforma de programación y cálculo numérico utilizada por millones de ingenieros y científicos para analizar datos, desarrollar algoritmos y crear modelos. Es ampliamente utilizado en campos como la ingeniería, la física, la economía y la ciencia de datos a nivel mundial.

de la meta, trabajo bajo presión con contador de tiempo descendente y desafíos con escenarios más complejos, son perfectamente comprensibles para muchos jóvenes, coadyuvando de esta manera la participación en las clases, las habilidades blandas y mejorando el rendimiento académico.

Mejor preparación de la academia para confinamientos regionales o globales. Otro beneficio para la academia con el uso de los simuladores virtualizados es la posibilidad de contar con recursos digitales que en un momento de confinamiento local o mundial puedan servir como plan de contingencia para continuar con el proceso de enseñanza y aprendizaje.

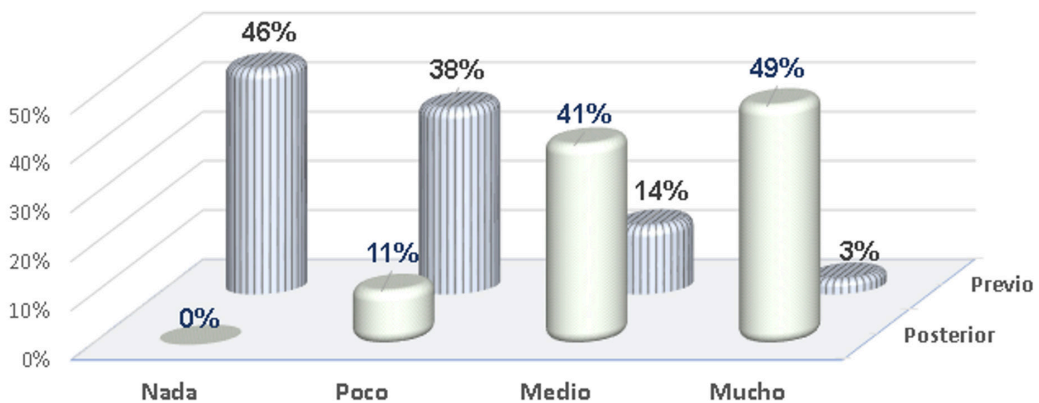
Valoraciones de las experiencias de aprendizaje con simuladores

A continuación, se presentan los resultados de la encuesta realizada al conglomerado estudiantil relacionados con sus experiencias en la formación técnica empleando el simulador virtual *ThinkerCad*; el universo de las encuestas realizadas corresponde a 138 encuestados.

Al inicio del curso virtual se preguntó ¿cuánto se conocía de la temática previo al curso? Observándose que el 46 % de los participantes nada conocían del tema, mientras que un 3 % sabía mucho y un 14 % nivel medio. Se evidencia que más del 80 % desconoce sobre Robótica Educativa e Internet de las Cosas. La valoración de los mismos estudiantes al finalizar el módulo sobre el aprendizaje logrado fue: cerca de la mitad (49 %) aprendió mucho, un 41 % aprendió medianamente lo que representa casi un 90 %, mientras que un 11 % indicó que aprendió poco a lo que ya sabía.

Figura 3

Conocimientos previos y posteriores al curso de formación con simuladores virtualizados

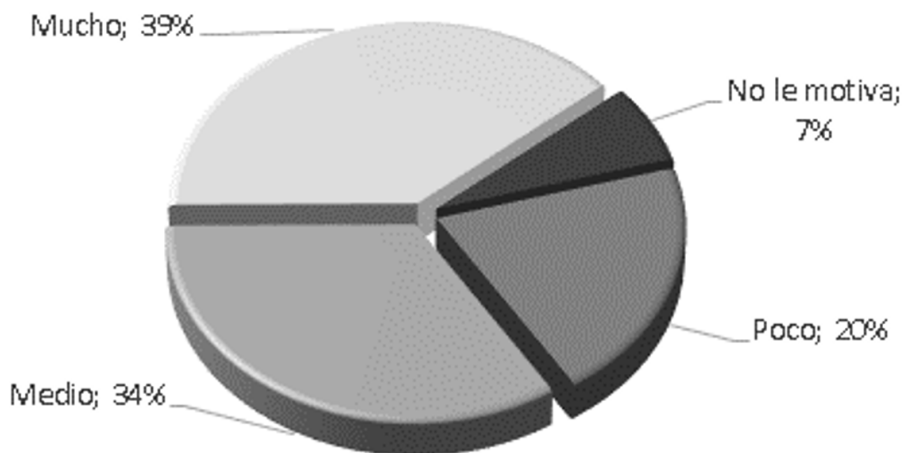


Fuente: elaboración propia.

Para determinar si después del curso de IoT existía alguna una motivación para estudiar carreras de ingeniería, se consultó a los estudiantes de bachillerato (N = 59) si dicho curso les incentivaba a hacerlo, obteniéndose los siguientes resultados: casi un 40 % se motivó, mientras que el resto estuvo distribuido entre no le motiva (7 %), poco (20 %) y medio (34 %).

Figura 4

Distribución del nivel de motivación para estudiar carreras de ingeniería después de finalizar el curso



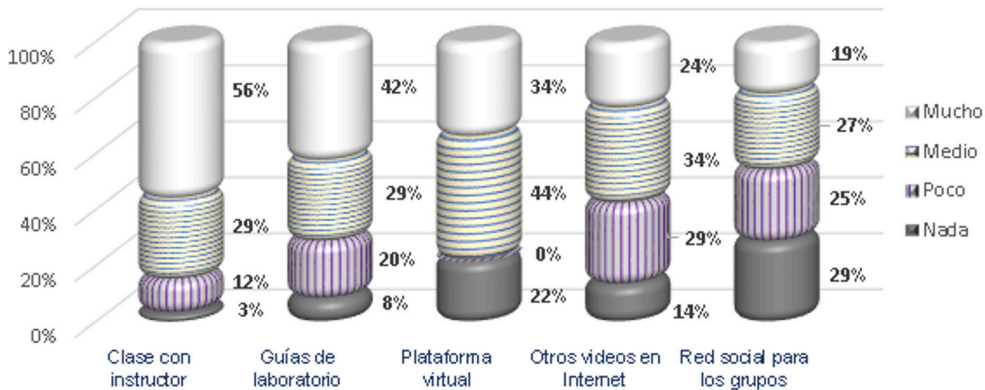
Fuente: elaboración propia a partir de los datos recolectados.

En la encuesta se trató de analizar cuáles son las herramientas que favorecen la formación técnica cuando se utilizan simuladores virtuales, siendo las clases con el instructor con un 85 % de ayuda. Esto tiene sentido al contrastarse con la cantidad de personas que desconocían la Internet de las Cosas (más del 80 %).

Sobre las guías de laboratorio se tuvo que la cualificación de la ayuda al aprendizaje es del 70 %, mientras que la plataforma apoya con el 78 %. En la plataforma se colocaban las indicaciones de los instructores y enlaces a otros recursos de apoyo no obligatorios. El uso de vídeos disponibles en la Internet y de consumo libre y opcional presentó una ayuda del 58 %, mientras que la red social utilizada por el conglomerado estudiantil para las comunicaciones entre los grupos de clase y equipos de trabajo aportó un 46 %. En la Figura 5 se ilustran los niveles de ayuda de los recursos utilizados para la formación con el simulador en línea.

Figura 5

Herramientas que coadyuvaron a la formación con el simulador en línea



Fuente: elaboración propia a partir de las respuestas de 59 discentes de bachillerato.

En la encuesta también se consultó sobre las dificultades para el aprendizaje, siendo la primera variable para medir la ausencia de computadora propia para realizar las prácticas de laboratorio, la cual presentó solamente el 13.8 %. Este bajo porcentaje es el resultado de la entrega de computadoras que el Gobierno de El Salvador ha realizado en años anteriores al conglomerado estudiantil del sistema público, y es de acotar que más del 90 % de los estudiantes del curso corresponden al sector público.

Una variable muy particular del curso fue la conectividad hacia la Internet, ya que a los participantes se les proporcionaba saldo para la conectividad. En los encuestados no hubo diferencia significativa entre el porcentaje de la zona urbana y rural, es decir, la mitad de los encuestados estaba en cada tipo de zona. Lo medido en la encuesta indica que uno de cada dos participantes tuvo problema de conectividad y por ende retrasos en las actividades o incapacidad para realizarlas. Además, en algunos casos el ancho de banda no fue el óptimo para estar activos en las clases síncronas o en el uso del simulador.

Cerca del 33 % de los participantes tuvieron problemas con el idioma inglés, aunque el material proporcionado estaba en español y la plataforma *ThinkerCad* puede colocarse en español. Es posible que el material consultado de forma libre para la realización de los proyectos de fin de módulo o vídeos de apoyo estuvieran en inglés.

La falta de una persona para consultas (cerca del 30 %) y la falta de tiempo para realizar prácticas (43 %) afectaron el desarrollo de algunas actividades en mayor y menor medida. Ante esto, los docentes realizaban repases y consultas sobre la sesión anterior al inicio de la clase, para mitigar retrasos o

deficiencias en el aprendizaje. Análogamente, casi la totalidad de los maestrantes requirieron sesiones sincrónicas para abordar aspectos técnicos de los simuladores, y el material extra proporcionado es muy similar al empleado por los otros estudiantes, con lo que se evidenció que puede emplearse material digital (vídeos y lecturas) para cualquier nivel (Básica, Media y Superior).

Otros aspectos relevantes en la experiencia con los maestrantes fueron que el contenido en inglés no generó problemas como se esperaba y ellos fueron más receptivos a asimilar escenarios complejos. La ausencia de conocimientos en electrónica permitió que se hicieran conclusiones erróneas cuando los simuladores permitían ciertas operaciones que en el mundo real no podría realizarse.

Para el desarrollo de los proyectos finales de la asignatura, se demandaron diferentes conocimientos técnicos en el catedrático. La articulación de los saberes en asignaturas previas hizo que la aplicación de tecnologías concomitantes fuera factible de implementarse. Se evidenció que desarrollar proyectos vinculados a la realidad y actualidad tecnológica inciden sobre la motivación de los discentes.

Discusión

Con respecto al capital humano, la Industria 4.0 requiere dos aspectos fundamentales: a) Robustas competencias técnicas especializadas, y b) Un menor tiempo de formación. Por estas razones, tanto la academia como las organizaciones de capacitación técnica, deben realizar modificaciones en sus procesos de formación de manera que los discentes adquieran las competencias cibernéticas requeridas para el diseño, creación y adaptación de soluciones tecnológicas efectivas (eficaces y eficientes). No obstante, para ello las instituciones formadoras deben hacer actualizaciones a los planes de estudio, especialización de los formadores, innovación en los modelos educativos e inversiones en laboratorios modernos y especializados. Siendo para los últimos tres aspectos que el uso de los simuladores en la formación técnica es una estrategia viable por la especialización técnica y costos que posee.

Al resumir los beneficios de las experiencias de aprendizaje empleando simuladores virtualizados desarrolladas en el apartado anterior, sobresalen los siguientes cuatro aspectos: a) La reducción de los costes de implementación/actualización de las tecnologías con respecto al equipamiento físico; b) La posibilidad de incluir más personas virtualmente que físicamente; el aprendizaje personalizado que no solo permite avanzar a un ritmo propio, sino que mejora la toma de decisiones y habilidades de respuesta bajo presión; c) La innovación tecnológica bajo un ámbito de trabajo en equipo; y d) Las condiciones de seguridad que proveen los entornos virtuales controlados con respecto a los puestos de laboratorios físicos.

Aunque el uso de simuladores aporta significativamente a las competencias del perfil técnico, no se deben descuidar los siguientes aspectos:

- *La vinculación con la realidad.* Visitas técnicas o el uso real de equipamiento es recomendado para

reducir la precepción de artificialidad y ampliar el conocimiento de los componentes virtualizados.

- *Evitar el uso exclusivo de este modelo de enseñanza.* La retroalimentación personal es necesaria tanto por motivos éticos, como para valorar la toma de decisiones y el impacto de ellas en la organización, mercados y sociedad.
- *El empleo de otros recursos para sustentar las conclusiones y experiencias adquiridas.* Es primordial la lectura de textos y artículos técnicos para comprobar, rebatir o ampliar lo aprendido por medio del simulador. La redacción de los hallazgos es otra competencia que no solo ayuda con las habilidades de comunicación, sino además coadyuva con la capacidad de síntesis.
- *La actualización constante de los formadores.* La actualización no solo involucra lo relacionado con los avances tecnológicos, se debe incluir el uso de herramientas de apoyo al proceso de enseñanza y aprendizaje, como herramientas trabajo en equipo, comunicación, gamificación, creación de contenido (draw.io, sladio, metimeter, excalidraw, canva.com, tovari, entre otros), además de técnicas de motivación y neurociencias enfocadas al conglomerado estudiantil para captar la atención y mejorar las dinámicas de aprendizaje; y las técnicas para la evaluación de los aprendizajes. De lo anterior, se deriva la premisa que no solo basta la implementación de un simulador virtual, pues los formadores son la «segunda pierna» en la vía de la formación con simuladores.

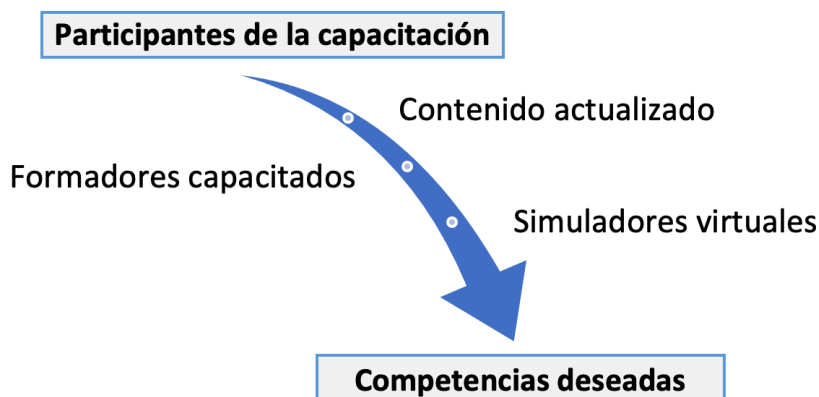
En la encuesta realizada al conglomerado estudiantil se evidenció que la clase con el instructor fue uno de los elementos que más aportó al logro de los aprendizajes (85 %). También, fue interesante la convergencia del coordinador de la modalidad virtual con los encargados de las sedes presenciales, quienes indicaron que la acción proactiva de algunos docentes se vio reflejado fuertemente en el desempeño académico y motivación del conglomerado estudiantil; siendo un corolario la correlación directa entre la acción proactiva de los formadores y el logro de las competencias en los discentes.

De igual forma, la encuesta mostró aspectos logísticos que deben ser analizados en una formación con simuladores, por ejemplo, la conectividad hacia la Internet, el tipo de computadoras o dispositivos que se emplearán, las herramientas de apoyo a la capacitación (plataformas LMS, guías de laboratorio, plataformas de comunicación y trabajo en equipo), los horarios de tiempo para las tutorías o consultas. Por lo cual es evidente que la formación de capital humano en áreas técnicas necesita de varios elementos que acompañen al uso de simuladores virtuales. Usar exclusivamente un simulador virtual, no garantiza que los participantes obtengan todas las competencias requeridas.

Finalmente, se recomienda a las instituciones de Educación Media, Superior y no formal, emplear el diagrama Ishikawa mostrado en la Figura 2 como un insumo para iniciar un plan de acción que permita reducir las dificultades propias en la formación con simuladores y aplicar el siguiente flujo de implementación.

Figura 6

Flujo propuesto de implementación



Fuente: elaboración propia.

Referencias

- Banco Mundial. (2023). *Industrialización, valor agregado a partir de los datos sobre cuentas nacionales de la OCDE*. https://datos.bancomundial.org/indicador/NV.ind.manf.cd?end=2022&most_recent_value_desc=true&start=1960&view=chart
- Cahyana, R. (2018). *A preliminary investigation of information system using Ishikawa diagram and sectoral statistics*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.
- Europa Press Portal TIC. (2022, 28 de octubre). LEGO discontinuará los kits de robótica MINDSTORMS a finales de 2022. *Europa Press Portal TIC*. <https://www.europapress.es/portaltic/gadgets/noticia-lego-descontinua-kits-robotica-mindstorms-finales-2022-20221028152725.html>
- González-Hernández, I. J., Armas-Alvarez, B., Coronel-Lazcano, M., Maldonado-López, N., Vergara-Martínez, O. y Granillo-Macías, R. (2021). El desarrollo tecnológico en las revoluciones industriales. *Ingenio y Conciencia*, boletín científico de la Escuela Superior Ciudad Sahagún, 8(16), pp. 41-52. <https://doi.org/10.29057/escs.v8i16.7118>
- Ediciones Akal. (2020, 15 de noviembre). Friedrich Engels. La situación de la clase obrera en Inglaterra. *Ediciones Akal*. <http://www.nocierreslojos.com/friedrich-engels-situacion-clase-obrera-inglesa/>
- Orozco Alvarado, J. C., Cruz Acevedo, A. A. y Díaz Pérez, A. A. (2020). Simulación como estrategia didáctica en las prácticas de formación docente. Experiencia en la carrera Ciencias Sociales. *Revista Torreón Universitario*, 9(25), pp. 16-28. <https://doi.org/10.5377/torreon.v9i25.9851>
- Palh, S. (2023, febrero). Una brecha emergente: ¿Quién se beneficia de la IA? *Industrial Analytics Platform*. <https://iap.unido.org/es/articles/una-brecha-emergente-quien-se-beneficia-de-la-ia>

- Perason. (2023, 09 de agosto). Aprendizaje basado en simulación: la nueva era de la educación. Pearson / *Higher Education*. <https://blog.pearsonlatam.com/educacion-del-futuro/aprendizaje-basado-en-simulacion-la-nueva-era-de-la-educacion>
- Safeguard Global. (2024). *Los diez principales países productores del mundo*. Centro de Recursos. <https://www.safeguardglobal.com/es/resources/blog/los-diez-principales-paises-productores-del-mundo/>
- Salinas, R. (2023, 12 de febrero). La riqueza de las naciones. *El Economista*. <https://www.economista.com.mx/opinion/La-riqueza-de-las-naciones-20230212-0078.html>
- Sánchez Mendiola, M., Martínez Hernández, A. y Torres Carrasco, R. (2023). *Formación docente en las universidades*. Ciudad de México, UNAM, Coordinación de Universidad Abierta, Innovación Educativa y Educación a Distancia. <https://cuaed.unam.mx/publicaciones/libro-formacion-docente-universidades/pdf/eBook-PDF-Formacion-Docente-en-las-Universidades.pdf>
- Smith, A. (2018). *La riqueza de las naciones*. LeBook Editora.
- Verdejo, N. (2022, 28 de octubre). A 24 años de su lanzamiento, Lego discontinuó Mindstorms, su kit de robótica. *Wwwhat's New*. <https://wwwwhatsnew.com/2022/10/28/a-24-anos-de-su-lanzamiento-lego-descontinuo-mindstorms-su-kit-de-robotica/>