

Moraga Salas, H. *Impacto de las Ingenierías Industriales en la Revolución 4.0 en Costa Rica y análisis de una perspectiva a futuro desde un enfoque académico*



Hugo Moraga Salas

Universidad Técnica Nacional, Costa Rica

hmoragas@utn.ac.cr

<https://orcid.org/0000-0002-6728-4154>

Impacto de las Ingenierías Industriales en la Revolución 4.0 en Costa Rica y análisis de una perspectiva a futuro desde un enfoque académico

Impact of Industrial in the Revolution 4.0 in Costa Rica and analysis of a future perspective from an academic approach

Resumen

Este artículo es producto de una investigación que se llevó a cabo durante el 2021 y tiene como objetivo identificar los principales impactos y retos de las ingenierías industriales (Industrial y en Producción Industrial) costarricenses en la Revolución 4.0 del país; es importante tomar en cuenta que la industria 4.0 es un suceso global, evento que modifica la industria y transforma la vida de las personas; es tal esta evolución, que influye incluso en la manera de obtener el conocimiento. Algo que parece mantenerse inmutable y preponderante, respecto a todas las anteriores revoluciones, es que el talento humano sigue siendo el factor más importante. Se articulan históricamente tres ejes para el desarrollo de cualquier comunidad; la sociedad, la industria y la academia. En este sentido las universidades, tienen el compromiso ineludible de disminuir la "brecha digital", con la

formación de profesionales “integrales” idóneos para que la sociedad y la industria dispongan de estos. De tal manera que las universidades públicas deban ajustar su currículo y acoplar sus aulas a la verdad de la industria 4.0, al incorporar *Big Data*, Robots, Simulación, Integración universal de sistemas, IOT industrial, seguridad cibernética, computación en nube, fabricación aditiva y realidad aumentada, etc., con el fin de ajustarse más a la realidad y a la formación de los profesionales que realmente requiere el país. Respecto a los resultados, las universidades públicas que gradúan profesionales en Ingeniería en Producción Industrial presentan la menor diferencia de graduados por género, ya que el 48 % de estos diplomas lo obtuvieron mujeres. Al respecto, el 59 % de todos los títulos generados en ambas carreras (2014-2021) son diplomas de bachillerato. Paralelamente, el análisis posibilitó establecer una relación entre el número de personas graduadas en las universidades costarricenses y el comportamiento del PIB.

Palabras claves

Industria 4.0, Ingeniería, Impacto, Talento Humano, Academia

Abstract

This article is the product of an investigation that was carried out during 2021 and aimed to identify the main impacts and challenges of Costa Rican industrial engineering (Industrial and Industrial Production) in the 4.0 revolution in the country. It is important to consider that industry 4.0 is a global event, an event that modifies the industry and transforms people's lives. This evolution is such that it even influences the way of obtaining knowledge. Something that seems to remain immutable and preponderant, compared to all previous revolutions, is

that human talent continues to be the most important factor. Historically, 3 axes are articulated for the development of any community: society, industry, and academia. In this sense, universities have the inescapable commitment to reduce the "digital divide", training "integral" professionals suitable for society and industry to have. To achieve the above, public universities must adjust their curriculum and adapt their classrooms to the truth of industry 4.0, by incorporating Big Data, Automatic Robots, Simulation, Universal System Integration, industrial lot, cyber security, cloud computing, manufacturing additive and augmented reality. To adjust more closely to reality and to the training of professionals that the country really requires. Regarding the results, the public universities that graduate professionals in Industrial Production Engineering, present the smallest difference in graduates by gender, since 48% of these diplomas were obtained by women. In this regard, 59% of all titles generated in both careers (2014-2021) are high school diplomas. At the same time, the analysis made it possible to establish a relationship between the number of people graduating from Costa Rican universities and the behavior of GDP.

Keywords

Industry 4.0, Engineering, Impact, Human Talent, Academy.

Introducción

Desde el siglo XVIII hasta la fecha, la humanidad ha atravesado una serie de cambios orientados a la utilización de la tecnología y el ingenio para la búsqueda de la perfección productiva. Se ha pasado de lo artesanal a lo mecánico (1784); con los sistemas de potencia hidráulicos a la optimización y la normalización (1870); con la

producción idéntica por lotes de la producción de la electrónica y a las tecnologías de información (1989), con la automatización y la robótica; hasta llegar a hoy, la cuarta revolución industrial con la adopción de las tecnologías de información y comunicación en todos los procesos de la industria actual (la fábrica digital).

Desde la conceptualización de la Industria 4.0 en la Feria de Hanover, Alemania en 2011, universalmente, se acepta la idea de lograr fábricas inteligentes (*Smart Factory*), para que, de forma autónoma, se adapten a las necesidades y requerimientos de los nuevos mercados mundiales.

Justamente, este nuevo rol en la industria ha definido esta cuarta revolución industrial (Industria 4.0) en estas dos últimas décadas, las que han generado la más grande serie de cambios, con impactos tan radicales, profundos y vertiginosos, que han afectado directamente a la economía y la sociedad de manera integral.

Se logra, como nunca, reconocer que el objetivo inherente a cualquier proceso productivo será integrar a clientes, recursos y a proveedores, para lograr pequeñas series personalizadas de productos en poco tiempo.

Para ello, se apoya en la integración de las tecnologías sumergidas en la cadena de valor como el Internet de las Cosas (*Internet of Things* [IOT]), Internet de los Servicios (*Internet of Services* [IOS]) y en los Sistemas Ciber Físicos (*Cyber Physical Systems* [CPS]), los cuales en conjunto revelan datos en forma continua, precisa, real, accesible en el espacio y trazable en los diferentes niveles de la producción.

Costa Rica no ha escapado del escenario global en que se encuentran las naciones, ni en cuanto al impacto sufrido por esta nueva era, ni a

las oportunidades basadas en el contexto industrial en el que se vive, como consecuencia esperada de la reducción de las fronteras y la globalización.

De acuerdo con Román (2020):

Los nuevos nichos de mercados se basan en la personalización y la creación de nuevos productos y servicios adaptados a la nueva era. Los clientes exigen que se cumpla con unas expectativas de calidad a sus productos, pero al mismo tiempo están dispuestos a pagar por la experiencia o el servicio más que por el producto en sí (p. 4).

En Costa Rica, a diferencia del resto de los países centroamericanos, existe un marco institucional con un respaldo legal explícito para orientar el desarrollo de la política científica-tecnológica. La Ley N.º 7169, del año 1990, contiene amplios mecanismos y recursos para incentivar la investigación, la formación de recursos humanos y el desarrollo tecnológico de las empresas (CEPAL, 2000); por lo que es esta norma la que marca la base jurídica que hoy la industria y la academia costarricense gestionan los cambios más notables y de mayor valor en el desarrollo científico y tecnológico nacional. Muchas de las instituciones costarricenses que actualmente lideran la promoción, el acopio de la información, la sistematización de las investigaciones y adaptación de las nuevas tecnologías a nivel social e industrial deben su creación a esta ley.

Como se ha señalado, la industria es un reflejo social y viceversa; significa que el tiempo social y el momento industrial se han complementado desde la historia de la humanidad. Los aspectos de mayor significancia de ambos son fundamentales y catalizadores en ellas.

Según esta perspectiva, el propósito del artículo se centró en analizar desde el ámbito académico el impacto de las Ingenierías Industriales (Industrial y Producción Industrial) en la Industrial 4.0 en Costa Rica e identificar las principales incidencias, oportunidades, amenazas y los retos de la academia en la Revolución 4.0.

Aproximaciones teóricas

La academia es, sin duda, el medio por el cual los reflejos y los retos entre la sociedad y la industria se transmiten. No considerar a la educación como un medio disruptor de los cambios en la industria es, simplemente, desconocer la principal forma de evolución de la humanidad.

Como lo describe Klaus Schwab (2016), autor del libro *La Cuarta Revolución Industrial*, nos ubicamos al borde de una revolución tecnológica que modificará fundamentalmente la forma en que vivimos, trabajamos y nos relacionamos. En su escala, alcance y complejidad, esta transformación será distinta a cualquier cosa que el género humano haya experimentado antes.

Esta revolución, es distinta, hasta la forma en la que se obtendrá el conocimiento. Las necesidades, las competencias, las habilidades y el conocimiento requerido "se escriben y se aprenden" en digital. Significa que hoy, la obtención de los nuevos saberes requiere de casas de enseñanza igual o más evolucionadas que la realidad industrial.

Además, es relevante tomar en cuenta a las instituciones que forman el talento humano en el área de las ingenierías (por ejemplo, Industrial y Producción Industrial), que, desde hace muchos años, desarrollan; y contribuyen en general a la sociedad y en la industria costarricense. Es

simplemente necesario, también son estrechamente vinculantes, ya que están en la primera línea de acción.

Así mismo, otra de las consideraciones sobre la trascendencia de las llamadas tres fuerzas del desarrollo (el estado, la academia y la industria), es lo que este autor llamará "brecha profesional", no es más que, la diferencia nominal entre las necesidades reales de la sociedad y la industria y lo que la academia otorga a estas.

Como lo indica Schwab (2016), la *Cuarta Revolución Industrial* se caracteriza por la fusión de tecnologías que diluyen la línea de separación entre lo físico, lo digital y lo biológico. De otro modo, se entiende un vínculo más que estrecho entre las necesidades de recursos humanos y técnicos en la formación y la generación de las competencias requeridas para la automatización y la digitalización de la industria costarricense.

De igual manera, según Rojas (2017), citado en el informe de MIDEPLAN (2020), describe que la Industria 4.0 unifica al menos 9 tecnologías, a saber: *Big data, Robots, Simulación, Integración universal de sistemas, IOT industrial, seguridad cibernética, computación en nube, fabricación aditiva y realidad aumentada* (p. 37). Comprenderlas es parte del reto como sociedad.

Metodología

Esta investigación identifica los principales impactos y evidencia los retos de las Ingenierías Industriales en la Revolución 4.0 en Costa Rica, desde una posición académica. En la exploración se realizaron solicitudes a instancias de educación superior pública, en ellas, específicamente, seis directores y exdirectores de carrera de estas

ingenierías; representantes de tres de las cinco universidades públicas costarricenses. Para la operacionalización de las variables se aplican formularios de consulta sobre consideraciones y apreciaciones del servicio de educación de las ingenierías descritas y el impacto de las variables consultadas.

Las variables cuantitativas se recolectan mediante información libre del Banco Mundial y del Consejo Nacional de Rectores (CONARE) y el empleo de un formulario digital para los aspectos cualitativos, propios de una investigación mixta. Se utiliza *software* especializado y el sistema que ofrece el formulario para tabular los datos. Además, las apreciaciones se agrupan, de acuerdo con la variable de respuesta que otorga la solidez científica que se necesita.

Este tipo de procedimiento permite la generación y reconstrucción de la data, a partir de los conceptos teóricos seleccionados, la operacionalización y la búsqueda de la validez estadística necesaria.

La consulta a directores de carrera de estas ingenierías en las universidades públicas es una muy buena alternativa para generar una frontera investigativa, conocer posiciones y esquematizar los aportes de las ingenierías en la industria costarricense en las últimas dos décadas. Por ejemplo, de acuerdo con el entrevistado 1, estas contribuciones se enfocan principalmente en "*Nuevas tecnologías, prácticas de sostenibilidad, desarrollo de nuevos productos, soluciones innovadoras con una perspectiva enfocada al cliente y de forma más eficiente*", también, el entrevistado 2 expresa que "*Las ingenierías han tenido un enfoque mayoritariamente de transferencia de conocimiento y adaptación de tecnologías*"; y el entrevistado 3 manifiesta que la ingeniería "*ha permitido una transformación de las operaciones y su*

administración por medio de herramientas en su mayoría informáticas que integran los sistemas sincrónicamente”.

Cabe destacar, que participaron en la investigación el 50 % de los directores (as) de universidades públicas que imparten las carreras de Ingeniería Industrial (UCR) e Ingeniería en Producción Industrial (UTN). Así mismo, el 66 % de los entrevistados tienen roles de dirección académica y manifiestan estar en desacuerdo con denominar “Industria 4.0 para hacer referencia a la transformación digital de la industria en Costa Rica”.

En esta misma línea, es aceptado hablar que, en términos de área de conocimiento, que el mayor impacto (dentro del momento socio-industrial actual) en la Industria 4.0 costarricense son las ingenierías.

En este sentido, los directores de la carrera de la Universidad Técnica Nacional y de la Universidad de Costa Rica consideran estar al menos “De acuerdo”, que las implicaciones profesionales a tener en cuenta en los planes curriculares de Ingeniería Industrial y Producción Industrial de las universidades costarricenses serán en los siguientes temas:

- Competencias analíticas avanzadas (Big Data)
- Simulación avanzada y modelado virtual de plantas
- Competencias en ingeniería de computación
- Habilidades en la Interfaz Hombre-Máquina
- Gestión integrada de control de calidad, de procesos y de productos en lazo cerrado
- Optimización de logística y de inventarios
- Diseño de manufactura integrada por computador física y virtual

Aunado a lo anterior, como lo resuelve Azuero (2019), los supuestos de cualquier análisis deben permitir la reconstrucción de datos, a partir de conceptos teóricos habitualmente operacionalizados. Acercándose en un importante grado a las nueve áreas que se definen como prioritarias en la Revolución Industrial actual.

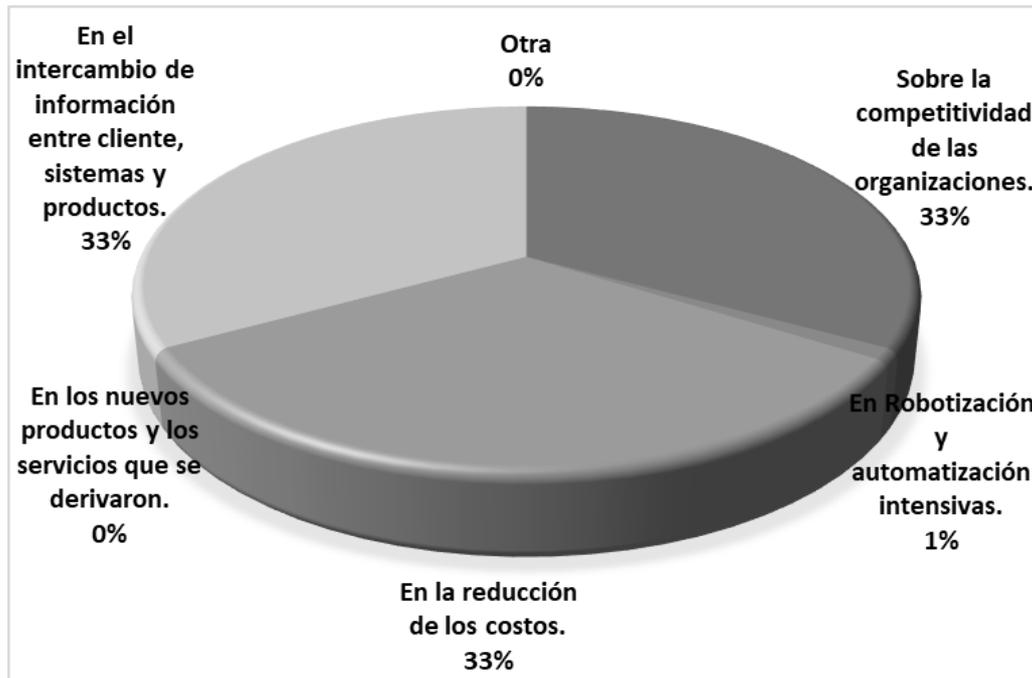
Así, se utiliza para la recolección y análisis de datos de manera numérica y el uso de herramientas gráficas y estadísticas para establecer las relaciones e identificar, potencialmente, un patrón específico de comportamiento entre las variables de número de diplomas y el crecimiento o decrecimiento de un indicador económico.

Además, la recolección de datos en las entrevistas, las descripciones y sus observaciones son sin medición numérica. Sobre esto último, de acuerdo con los entrevistados, *la mayor huella* durante estos últimos veinte años de la ingeniería costarricense en la industria se centra en los temas del intercambio de información entre cliente, sistemas y productos; la reducción de los costos; y sobre la competitividad de las organizaciones.

Tal y como se observa la Figura 1 denominada *Impactos de las Ingenierías en la Industria Costarricense*, todos estos tienen una incidencia de 33,3 %.

Figura N.º1

Impactos de las Ingenierías en la Industria Costarricense



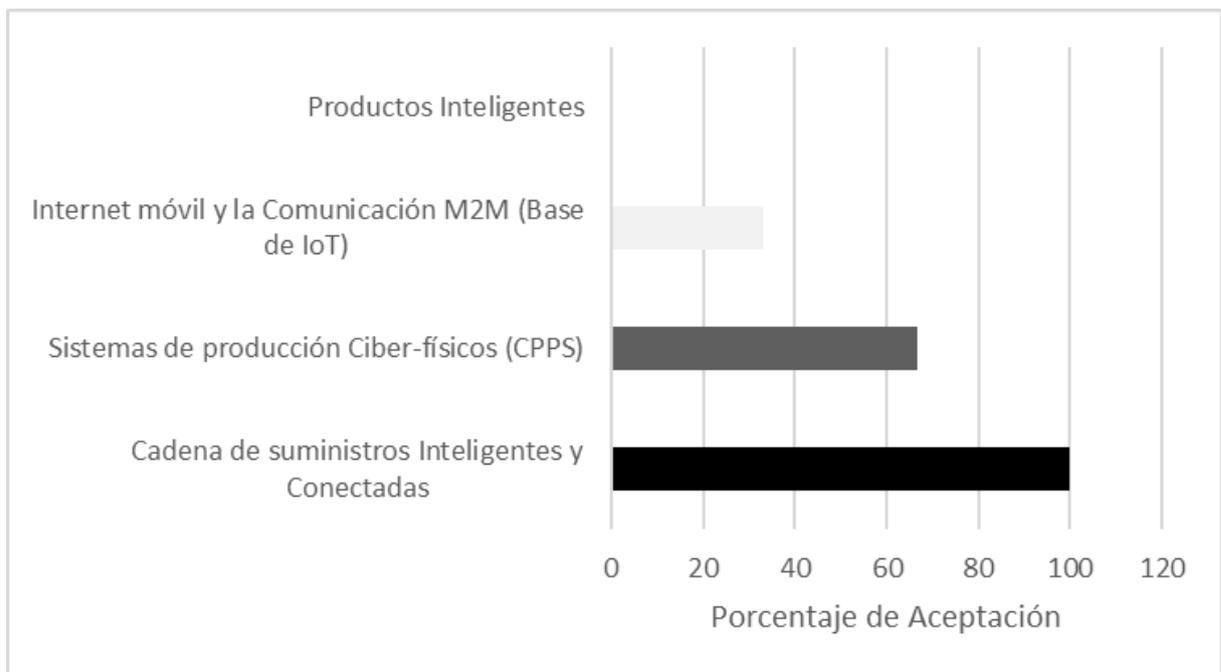
Nota: la fuente de la figura es de elaboración propia (2022).

En la Figura 2 denominada *Opinión sobre dónde se visualizan los principales aportes de esta ingeniería en la industria costarricense*, los encuestados indican que el mayor impacto se da en las Cadenas de Suministro, seguido de los Sistemas de producción ciber-físicos y, por último, en Internet móvil o la comunicación M2M, en orden de significancia.

En este sentido, como se observa, se proyectan aportes en los temas de Sistemas de Producción Ciber-Físicos (CPPS) y en Internet móvil o la comunicación M2M (base de IOT) en con el orden de significancia habitual. Bien lo explica Schwab (2016), indicando que, “las tecnologías como el aprendizaje automático y el análisis de datos a gran escala hacen más eficientes los procesos comerciales y de producción” (p. 21).

Figura N.º 2

Opinión sobre dónde se visualizan los principales aportes de esta ingeniería en la industria costarricense



Nota: la fuente de la figura es elaboración propia (2022).

De acuerdo con los directores de carrera de las áreas objeto de estudio, se describe en la Figura 2 denominada *Opinión sobre dónde se visualizan los principales aportes de esta ingeniería en la industria costarricense* que las Cadenas de suministro inteligentes y conectadas serán por mucho, donde se percibirán las mayores contribuciones de estas ingenierías.

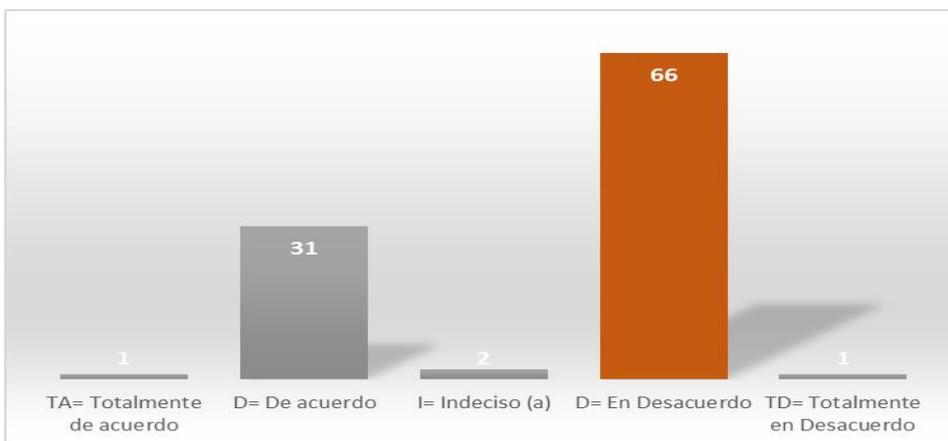
Las personas participantes del estudio consideran que el mayor impacto de la Industria 4.0 en Costa Rica se manifestará concretamente en los enfoques de las Cadenas de Suministros orientadas a la Inteligencia Artificial y la interconectividad.

Entorno a los más recientes conceptos y la posición de la academia costarricense, en cuanto la aprobación de estos, se hace la consulta sobre el grado de aceptación a que esta revolución industrial, sea llamada entonces “Fábrica Inteligente” o “Internet industrial”, y los resultados tampoco son concluyentes, solo el 33,3 % de los directores (as) de carrera están de acuerdo con que sea llamada de esa manera.

Tal y como se evidencia en la Figura 3 denominada *Opinión del término Industria 4.0 para hacer referencia a la transformación digital de la industria en Costa Rica*, llama la atención que el 66 % manifiesta total desacuerdo a ser denominada de esa manera, lo que expresa una marcada polarización en cuanto a los conceptos epistemológicos y términos vinculados con el tema.

Figura N.º 3

Opinión del término industria 4.0 para hacer referencia a la transformación digital de la industria en Costa Rica



Nota: la fuente de la figura es de elaboración propia (2022).

Esto genera un contraste importante con las tendencias que lo abordan actualmente con connotaciones de aprobación universalmente aceptadas. Ante esto, desde el análisis integral realizado por estos académicos, la transformación digital de la industria costarricense no

es únicamente el resultado del contexto nominal del término usado como referencia (*Industria 4.0*).

Así mismo, para los directores de carrera de la Universidad Técnica Nacional (UTN) y la Universidad de Costa Rica (UCR), la incidencia de las Ingenierías Industriales (Industrial y Producción Industrial) en la Industrial 4.0 en Costa Rica, se centran en el uso de la analítica de datos para la toma de decisiones, la integración de los sistemas ciberfísicos con los sistemas inteligentes, los procesos esbeltos (lean) y la articulación de sistemas integralmente.

Como se ha mencionado, la humanidad reconoce que el desarrollo social, ambiental y económico se centra en tres pilares: la industria, el gobierno y la academia. Las universidades, como actor fundamental de la academia, llevan sobre sí un "peso" y una responsabilidad inexorable e inherente.

Así, lo describen varios autores citados por el Ministerio de Planificación Nacional y Política económica, en el informe *Elementos básicos de la Cuarta Revolución Industrial y su impacto en Costa Rica* (MIDEPLAN, 2020), los posibles efectos que puede tener la Cuarta Revolución Industrial sobre la educación, a saber:

1. Friedrich Nietzsche dice que solamente aquel que construye el futuro tiene derecho a juzgar el pasado (El Confidencial, 2018).
2. Por otra parte, Alec Ross (2016) indica que las industrias del futuro serán la robótica, la genómica, la seguridad cibernética, el *Big data* y las aplicaciones tecnológicas para el sistema financiero.
3. También, Schwab, (2016), explica que las tecnologías como el aprendizaje automático y el análisis de datos a gran escala hacen

más eficientes los procesos comerciales y de producción (pág. 21).

En virtud de lo antes expuesto, cabe preguntarse ¿Cómo las universidades (especialmente las públicas) han contribuido con el desarrollo de esta revolución en la industria costarricense? Para los entrevistados, la respuesta gira en torno a la incorporación de nuevas áreas académicas e interdisciplinarias, así como la integración en el currículo, los conceptos y aprendizajes requeridos para la inserción laboral satisfactoria.

Para algunas de las personas entrevistadas, la contribución actual de la academia costarricense no es suficiente, (entrevistado 1) “existe una respuesta todavía incipiente con iniciativas relativamente automatizadas y no necesariamente alineadas con una política con visión país sobre las áreas de desarrollo competitivo a futuro”.

Por consiguiente, si algo ha sido claro es que las necesidades son muchas, los recursos limitados y la visión empañada. En la interpretación del aporte del entrevistado 1, para la alineación de esta clase de ingenierías, entre otras características, una debe ser la generación de valor en los procesos y en las organizaciones con real potencial competitivo.

Las futuras contribuciones de las Ingenierías Industrial y en Producción Industrial en Costa Rica se deben centrar, como hasta ahora, en la satisfacción de las necesidades de los elementos de interés o de los que intervienen en los procesos productivos; ser en tiempo y forma la solución de los problemas e interpretar los complementos y habilidades cognitivas necesarias, prácticas que la sociedad y la industria costarricense requiere.

Para abordar la presente revolución industrial, la industria costarricense también debe considerar las amenazas actuales, en especial las de origen académico. Así, los entrevistados señalan que existen temas que deben ser considerados al momento de plantear aspectos que se interceptan o concatenan, por ejemplo, al consultarles sobre las implicaciones profesionales a tener en cuenta en los planes curriculares de ingeniería industrial y Producción Industria (pregunta 9), todos ellos consideran estar totalmente de acuerdo en vincular los temas de Competencias analíticas avanzadas (Big Data), Simulación avanzada y modelado virtual de plantas, Optimización de logística y de inventarios, este último tema aparte, ya que incluye tópicos de la Cadena de Suministros (Supply Chain).

En esa misma línea, solo para tomar uno de los temas, según Moreno (2019) de la página Statista.com, los datos creados durante todo el 2010 fueron de 2 zettabytes (un zettabyte equivale a 1.000 millones de terabytes), sería bastante si lo comparamos con la información que el portal Infochanel.info ofreció en el 2019, citando el informe Data Never Sleeps, que indica que hoy se crean en Internet más de 2,5 zettabytes (2,5 billones de bytes de datos) diariamente. Tampoco sería mucho si este dato, a su vez, se compara con lo que destacó Harriet Green de IBM en el 2017, donde concluyó en una entrevista para Peiró (2017) del elpais.com, que los datos son el nuevo petróleo, y destacando que la sociedad mundial ha generado en dos años (2015-2017) más datos que en toda la historia de la humanidad. Efectivamente es así, la misma página Statista.com proyecta para el 2025, el 2030 y el 2035; 175, 612 y 2142 zettabytes respectivamente. En otras palabras, en el 2035 mil veces más información que lo generado en el 2010).

Cuando se analiza el impacto de un elemento sobre otro, casi que de manera natural se describen las amenazas y las oportunidades del fenómeno estudiado. A este respecto, según las personas entrevistadas, consideran que las principales amenazas se circunscriben en las siguientes temáticas:

- La brecha digital, como se ha mencionado la industria es un reflejo de la sociedad, entonces un efecto de las divisiones sociales producidas por las desigualdades tecnológicas, económicas, políticas, sociales, culturales, de género, generacionales, geográficas de un momento histórico.
- Carencia de investigación científica, el faltante de profesionales que estén investigando activamente sobre estas áreas, replicando y vertiendo sobre la sociedad.
- Mediciones científicas del rendimiento industrial, el poco sentido de impacto competitivo, por medio de lo que ofrecen las tecnologías 4.0. como resultado de la falta de visión y el temor al cambio.

Desde el punto de vista académico, igualmente, las principales oportunidades de la industria costarricense para abordar la actual revolución industrial se circunscriben en el manejo de lenguajes de programación, habilidades de negociación, administración de proyectos, trabajo en equipo, solución de conflictos y comunicación asertiva; en la Economía Circular, Logística 4.0 y Servicios 4.0 y la internacionalización de las operaciones y capital humano calificado.

Una vez más, las habilidades y profesiones necesarias deben complementarse y adaptarse para la Cuarta Revolución Industrial costarricense, uno de los retos más importantes es lograr que como nación la brecha entre la oferta y demanda se acorta de manera real.

En la entrevista realizada al Dr. Eldon Cadwell (comunicación personal, 2021) afirma lo siguiente:

Existe un rezago que se propicia desde el sistema educativo formal e informal, especialmente en la educación técnica. La visión que tengo es la de un país altamente enfocado en la producción de alto valor agregado tecnológico, economía circular y sistemas de producción y logística ciber-físicos, inteligentes y frutales (lean manufacturing) y con alta aplicación en el sector de servicios.

Además, el entrevistado 2 considera lo siguiente:

La configuración de los centros interuniversitarios donde las instituciones dejan de ser competencia y se convierten en aliados, viene a favorecer un acceso igualitario a la educación, lo que redundaría en un beneficio para la sociedad, ya que permite elevar la calidad de los aprendizajes, graduando profesionales dispuestos para asumir los retos y satisfacer los requerimientos de la industria.

En este sentido, para los entrevistados la posibilidad de reducir la brecha profesional y poder encontrar el equilibrio académico, entre las necesidades sociales y empresariales con los planes curriculares de ingeniería Industrial y Producción Industrial; conlleva incorporar las siguientes prácticas en el desarrollo de los planes de estudio:

- Metodología de Enseñanza / Aprendizaje para la creación.
- Diseño curricular flexible interdisciplinario, inteligente, modular, reconfigurable y adaptable.

Moraga Salas, H. *Impacto de las Ingenierías Industriales en la Revolución 4.0 en Costa Rica y análisis de una perspectiva a futuro desde un enfoque académico*

- Actualización permanente del currículo, planes de estudio y contenidos.
- Pertinencia del currículo a la evolución de la Industria 4.0.
- Acreditación internacional del plan curricular.

No se puede obviar la importancia y el aporte académico de la educación superior universitaria, en especial las universidades públicas costarricenses, incluso hoy contribuyen no solo con el principio de formación profesional y cívica inherente, sino como ha sido evidente por más de ochenta años, bastión del desarrollo natural, social, económico, industrial y científico, entre otros.

Esto es muy importante, como lo señala el Ministerio de planificación y Política económica (MIDEPLAN), en su informe Elementos básicos de la Cuarta Revolución Industrial y su impacto en Costa Rica (2020), se pueden definir tres tipos de profesiones:

“Ocupaciones avanzadas o de tipo 1: ingeniería, física, matemáticas, especialistas en finanzas, profesionales TIC, entre otros.

Ocupaciones personalizadas o de tipo 2: tareas que requieren altos componentes de trabajo humano que pueden ser apoyadas por robots: hostelería, cuidados personales, seguridad, directores y gerentes.

Ocupaciones automatizables o de tipo 3: susceptibles de ser reemplazadas por robots o de ser automatizadas: contables, administrativos, operarios agrícolas, entre otros”. (pág. 22)

La contribución del Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR), la Universidad Nacional Estatal a Distancia (UNED), la Universidad Técnica Nacional (UTN) y la Universidad de Costa Rica (UCR), desarrollan esfuerzos importantes para enfrentar esta revolución desde

el pilar académico, por ejemplo, esta última desarrolla el primer laboratorio de Manufactura y Logística 4.0, un espacio académico que puede recrear un flujo continuo de producción, en un espacio controlado, pero muy cercano a la realidad industrial actual, con ensamblaje de cajas, la inyección o termoformado de partes, y el estibamiento en una línea de flujo y empaque automático. Con un revulsivo donde participan aplicaciones robóticas y sensores de control, bajo un sistema de adquisición de datos y monitoreo, que es el más avanzado a nivel de Universidades en Centroamérica y Caribe, porque en estas condiciones únicamente existen 3 laboratorios similares en Latinoamérica.

Dicho laboratorio, como se observa en la Figura 4 denominada *Laboratorio Logística 4.0* cuenta con una arquitectura tipo "Cuarta Revolución Industrial", con Spiders robóticos, robots que tendrán la función de "eyector" y "empacador" y toda la planta en plataforma IIOT/IIORT, o Industria 4.0, según explicó Caldwell, también en una entrevista para la UCR (2021), "con una plataforma que incluye Internet de las Cosas, Virtualización e Interoperabilidad" (párr. 12).

Figura N.º 4

Laboratorio Logística 4.0



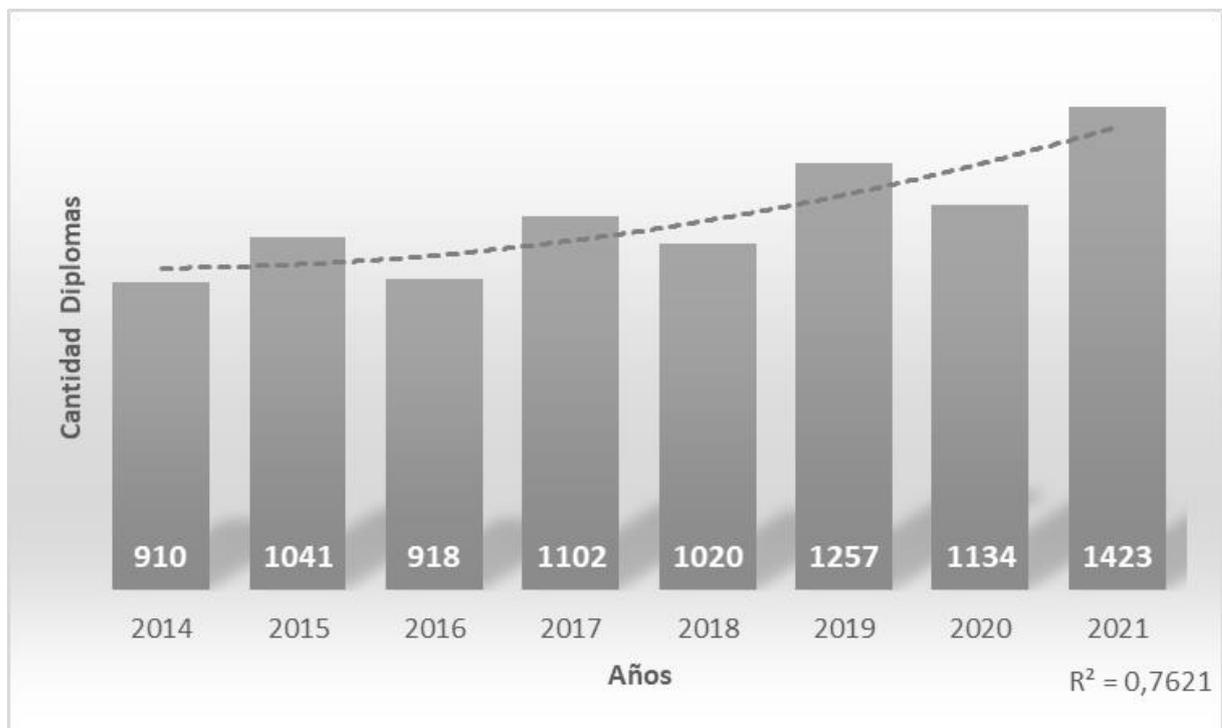
Nota: la fuente de la figura pertenece a Universidad de Costa Rica (2022).

El Dr Eldon Cadwell señala que este laboratorio es de "robótica educativa o didáctica", pero totalmente "industrial", con capacidad para trabajar en encadenamientos industriales de vida real. Por lo cual, será utilizado para toda la malla curricular de Ingeniería Industrial, extensión Docente (trabajo con medianas empresas, certificación de técnicos, trabajo comunal, RobotiFEST) e investigación (IA aplicado a *Smart Advanced Manufacturing*, *Human Robot Interaction*, Cobots Inteligentes) de esta *alma mater*. Además, agregó lo siguiente:

Para la carrera, la planta de manufactura ciberfísica es un gran avance tecnológico que impactará en la formación académica y la investigación durante los próximos 10 o 15 años. Está diseñada para usarse en todos los cursos de la malla curricular y para una transformación que lleve a un modelo educativo distintivo en el aprendizaje de la ingeniería industrial y la investigación científica, lo que sin duda siempre ha sido un sello histórico de la carrera (Eldon Cadwell, comunicación personal, 2021)

Figura N.º 5

Graduados de la Universidades Públicas y Privadas en Ingeniería Industrial/Producción Industrial 2014-2021



Nota: la fuente de la figura es de elaboración propia (2022), con insumos de Datos Abiertos CONARE.

Por consiguiente, es acá donde la articulación entre la academia, el gobierno y la empresa empieza a reconocer la necesidad de impulsar profesionales en áreas más enfocadas a la realidad para dar una respuesta efectiva a la necesidad industrial. Ante esto, se inicia el con programas que sustentan la ingeniería industrial y en producción industrial con mayor empuje y un perfil ajustado a los requerimientos actuales y futuros.

Con base en lo anterior, según información remitida por la División de Planificación Interuniversitaria del Consejo Superior de Educación

(CONARE, 2021) desde el año 2014 al año 2021 se han entregado 8805 diplomas en las carreras de Ingeniería Industrial y Producción Industrial (diplomado, bachillerato, licenciatura y maestría) en las universidades públicas y privadas costarricenses.

Como se evidencia en Figura 5 denominada *Graduados de la Universidades Públicas y Privadas en Ingeniería Industrial/Producción Industrial 2014-2021*, el 40% de todos los certificados corresponden a títulos obtenidos por mujeres, el 21 % de todos estos diplomas se obtienen en las universidades públicas. De estos títulos de Ingeniería Industrial y de Producción Industrial que expiden las *universidades públicas*, la relación de número de diplomas por sexo se acorta, ya que el 48 % de estos diplomas lo obtuvieron mujeres.

También, el 59 % de todos los títulos generados durante este período (2014-2021) son diplomas de bachillerato en estas ingenierías. En cuanto a los títulos de licenciatura en estas ingenierías, representan el 40 % (3516 diplomas) del total generado; de este valor el 55 % (1928 certificados) fueron otorgadas por universidades privadas.

La carrera de Ingeniería en Producción Industrial solo se imparte en universidades públicas, estadísticamente hablando el número de personas graduadas por sexo en esta carrera es de 49,9 % para las mujeres y 50,1 % para hombres. Lo anterior, demuestra que en términos de equidad las universidades públicas hacen un mayor esfuerzo y permiten proyecciones mucho más positivas, que en sus contrapartes privadas.

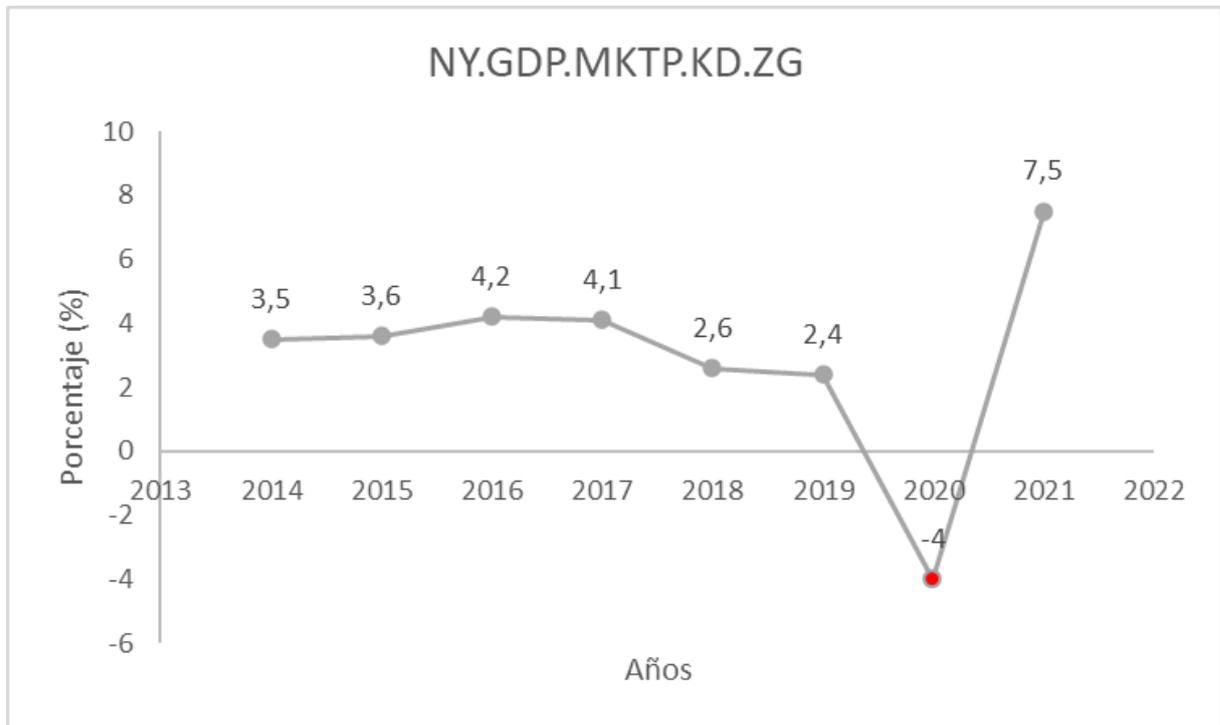
Durante ese mismo lapso (2014-2021), el Producto Interno Bruto (PIB) en Costa Rica demuestra una relación muy interesante respecto al impacto del número de graduados en el país. Como se observa en la Figura 6 denominada *Crecimiento del PIB (% anual) Costa Rica*. Se

Moraga Salas, H. *Impacto de las Ingenierías Industriales en la Revolución 4.0 en Costa Rica y análisis de una perspectiva a futuro desde un enfoque académico*

muestran gráficamente los porcentajes del PIB y su comportamiento (aumento o disminución) en estos ocho años.

Figura N.º 6

Crecimiento del PIB (% anual) Costa Rica



Nota: la figura es de elaboración propia (2022), con insumos del Banco Mundial.

<https://datos.bancomundial.org/indicador/NY.GDP.MKTP.KD.ZG?end=2021&locations=CR&start=2014&view=chart>

Todo lo analizado, posibilita la reflexión sobre ¿Cómo impacta la Ingeniería Industrial y de Producción Industrial en plena revolución industrial a Costa Rica? Las reflexiones económicas sobre un fenómeno siempre son vinculantes. En este sentido, es necesario considerar un punto de referencia común para hablar de la salud de una economía. Para cualquiera de ellas y, en particular, la economía nacional, es

Moraga Salas, H. *Impacto de las Ingenierías Industriales en la Revolución 4.0 en Costa Rica y análisis de una perspectiva a futuro desde un enfoque académico*

aceptado universalmente el uso de una referencia. Este punto de referencia es el *Producto Interno Bruto (PIB)*.

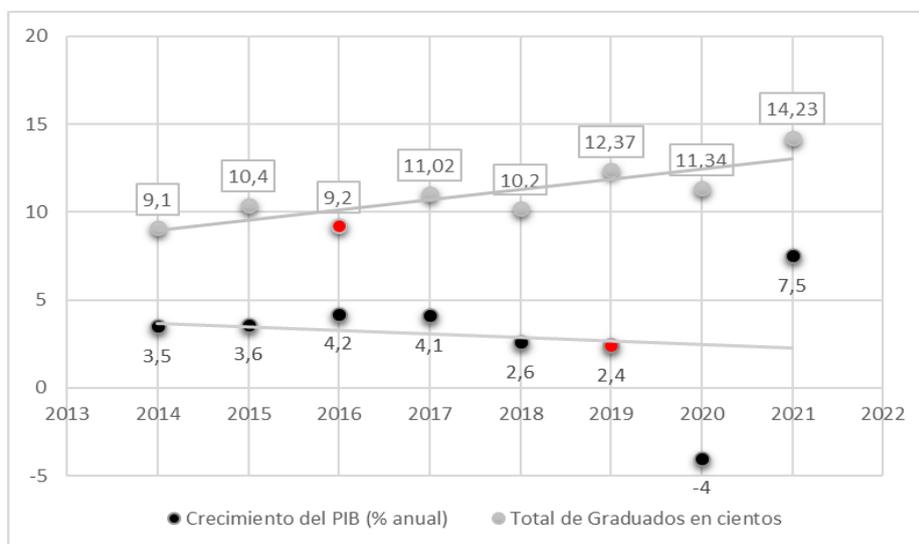
De acuerdo con Callen (2008):

El PIB mide el valor monetario de los bienes y servicios finales, es decir, los que adquiere el consumidor final producidos por un país en un período determinado (por ejemplo, un trimestre o un año), y cuenta todo el producto generado dentro de las fronteras. (p. 48)

En la Figura 7 denominada *Relación de Graduados en Ingeniería Industrial/Producción Industrial y el PIB entre 2014-2021* se observa que existe una correlación positiva entre la cantidad de diplomas otorgados en el periodo en las ingenierías objeto de estudio y el valor del PIB en los años 2014 a 2021.

Figura N.º 7

Relación de Graduados en Ingeniería Industrial / Producción Industrial y el PIB entre 2014-2021



Nota: la figura es de elaboración propia (2022) con insumos de Datos Abiertos CONARE y del Banco Mundial.

Además, aunque es anticipado asegurar una relación directa entre elementos académicos y económicos particulares en este apartado, este podría ser un interesante tema de investigación posterior. El coeficiente de correlación de Pearson (r), mide la relación estadística entre las dos variables, sería un buen primer paso, puesto que presenta un valor de 0,5, es decir, vincula que el número de diplomas se relacionan con el PIB, como variables continuas en el gráfico descrito anteriormente. Sin embargo, la asociación entre los elementos no es del todo lineal, se encuentra, pero representa los últimos períodos, donde, evidentemente, la afectación sanitaria de la Covid-19 se manifiesta en ambos ejes.

Las universidades públicas contribuyen hace más de 20 años en esta relación (simbiótica entre la industria y la economía), por ejemplo, en la profundidad del Programa de Ciencia y Tecnología CONICIT-BID (CONICIT, Costa Rica, 1997).

También, los aportes del Consejo Nacional de Rectores (CONARE), puesto que fungen como el responsable del subprograma B, enfocado al fortalecimiento y desarrollo de los centros universitarios de investigación y servicios. Cabe destacar, que mediante este programa se financiaron 90 investigaciones en las modalidades de proyectos del Fondo de Riesgo para la Investigación (FORINVES) y del Fondo de Desarrollo Tecnológico (FODETEC), en áreas que permiten, hoy, fortalecer la capacidad tecnológica de las empresas y la consolidación productiva de sectores como la agroindustria, la agricultura y el aprovechamiento pesquero del país.

De igual manera, el proyecto enfatizó en el mejoramiento de la enseñanza de las ciencias, la salud del costarricense y el estudio y aprovechamiento de los recursos naturales, con el empleo de tecnología y métodos de punta, según lo declara la CEPAL (2000).

Desde esta perspectiva, la actividad económica y social genera las condiciones que obligan a la académica e industrial costarricense a involucrarse sí o sí, en la definición de procesos de formación para adquirir nuevas habilidades y destrezas de manera integral y en procesos de actualización permanente e incluso en respuesta a las exigencias del entorno.

Finalmente, todo esto exige, como lo han manifestado los participantes del estudio, el principal reto de las instancias directoras de la academia, el diseño de una oferta actualizada y pertinente a los contextos de la actual revolución y la de las sucesivas, en todos los niveles de la educación.

Conclusión

La sociedad y la industria costarricense hoy se ubican en una nueva era, complemento de la "*historia digital moderna*" costarricense. El lapso que, para algunos, con sentido crítico, técnico y científico, se ha desarrollado de forma desarticulada y con poca vinculación con sectores productivos y académicos.

El impacto de las Ingenierías Industriales estudiadas en la revolución 4.0 se deben centrar, en la satisfacción y en la solución de los problemas que la industria identifique, así como, en interpretar habilidades cognitivas (la creatividad, pensamiento matemático) y procedimentales (comunicación, interpretación del entorno y

pensamiento crítico), así como otras no cognitivas como la capacidad de socialización o la resiliencia, trabajo en equipo y liderazgo, todas requeridas por la sociedad y la industria costarricense. También, en la estimulación permanente habilidades blandas no tradicionales como la capacidad de resolver problemas complejos, trabajar con información basada en datos científicos y tomar decisiones sobre esos datos y no en lo emocional; persuadir, inteligencia emocional y la capacidad de trasladar el conocimiento a otros de manera práctica y efectiva.

En este sentido, es importante destacar que los impulsos de las ingenierías y las transformaciones científico-tecnológicas asociadas conlleva a reconocer situaciones como las descritas, a continuación:

Las principales amenazas

Las principales amenazas de la industria costarricense para abordar la actual revolución industrial se centran en lo siguiente:

- La brecha digital, como se ha mencionado, en la industria es un reflejo de la sociedad, es decir, un efecto de las brechas sociales producidas por las desigualdades tecnológicas, económicas, políticas, sociales, culturales, de género, generacionales, geográficas de un momento histórico.

Las principales oportunidades

Las principales oportunidades de la industria costarricense para abordar la actual revolución industrial se centran en lo siguiente:

- Manejo de lenguajes de programación, habilidades de negociación, administración de proyectos, trabajo en equipo, solución de conflictos y comunicación asertiva.

- Economía Circular, Logística 4.0 y Servicios 4.0.
- Internacionalización de las operaciones y capital humano calificado.

Las universidades, especialmente, las públicas deben centrar sus esfuerzos en acoplar sus aulas (entiéndase como resultados de aprendizaje, malla y contenidos) a la Industria 4.0, implementando en estas las tecnologías de *Big data*, robots, Simulación, Integración Universal de Sistemas, IOT industrial, Seguridad Cibernética, Computación en nube, Fabricación aditiva y Realidad aumentada, entre otras.

La posibilidad de reducir la brecha profesional y poder encontrar el equilibrio académico, conlleva incorporar nuevas prácticas y contenidos en el desarrollo de los planes de estudio. Es evidente que las ingenierías y los enfoque STEM (por sus siglas en inglés) acrónimo de los términos en inglés *Science, Technology, Engineering and Mathematics* (Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas), enfoque educativo actual que busca la estimulación de áreas de conocimiento para satisfacer las dinámicas y los desafíos actuales planetarios; generan un impacto en la sociedad y en la economía mucho mayor, por ejemplo, se logra identificar la relación entre el número de graduados en las carreras objeto de estudio y el Producto Interno Bruto.

Finalmente, es evidente para Costa Rica, que el impacto de estas ingenierías ha sido fundamental para el logro de todos aquellos objetivos y metas orientadas hacia el desarrollo global, la eficiencia, la eficacia y para poder mantenerse como competitiva como nación en el tiempo.

Moraga Salas, H. *Impacto de las Ingenierías Industriales en la Revolución 4.0 en Costa Rica y análisis de una perspectiva a futuro desde un enfoque académico*

Se debe liderar la manifestación científica de los cambios individuales en las organizaciones, pues tienen inherentes la obligación de analizar la eficiencia y la eficacia de todo sistema productivo, desde el más elemental y rústico hasta el más complejo.

Referencias

Azuero, Á. E. A. (2019). Significatividad del marco metodológico en el desarrollo de proyectos de investigación. *Revista Arbitrada Interdisciplinaria Koinonía*, 4(8), 110-127.

Callen, T. (2008). *¿Qué es el producto interno bruto?* Finanzas & Desarrollo, publicación trimestral del Fondo Monetario Internacional y del Banco Mundial, ISSN 0250-7447, Vol. 45, N.º. 4, 2008, p. 48.

CEPAL, (2000). *Costa Rica: sistema nacional de Innovación*. ISBN: 9213216262 <https://www.cepal.org/es/publicaciones/4454-costarica-sistema-nacional-innovacion>

El Confidencial. (2018). *17 frases de Friedrich Nietzsche para recordarle en el día de su 174 aniversario*. https://www.elconfidencial.com/alma-corazonvida/2018-10-15/17-frases-friedrich-nietzsche-174-aniversario_1627831/. 19/8/2020

infochannel.info (2018). *¿Cuántos datos genera el mundo cada minuto?* <https://infochannel.info/cuantos-datos-genera-el-mundo-cada-minuto/>

Ministerio de planificación y política económica (MIDEPLAN). (2020). *Elementos básicos de la Cuarta Revolución Industrial y su impacto en Costa Rica*. UNIDAD DE ANÁLISIS PROSPECTIVO Y POLÍTICAS PÚBLICAS (UAP)

Moreno, G. (2019). *A la espera de un Big Bang de datos*. <https://es.statista.com/grafico/17734/cantidad-real-y-prevista-de-datos-generados-en-todo-el->

Moraga Salas, H. *Impacto de las Ingenierías Industriales en la Revolución 4.0 en Costa Rica y análisis de una perspectiva a futuro desde un enfoque académico*

[mundo/#:~:text=La%20cantidad%20de%20datos%20creados,que%20solo%20hace%20nueve%20a%C3%B1os.](#)

Periró, P. (2017). *La sociedad ha creado más datos en dos años que en toda la historia.* https://elpais.com/tecnologia/2017/02/20/actualidad/1487611734_009476.html

Rojas, C., & Humberto, J. (2017). *La Cuarta Revolución Industrial o Industria 4.0 y su Impacto en la Educación Superior en Ingeniería en Latinoamérica y el Caribe.* Universidad Antonio Nariño .

Román, J. L. (2020). *Industria 4.0: transformación digital de la Industria.* Conferencia de Directores y Decanos, pp. 3-4. dechrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/<http://coddii.org/wp-content/uploads/2016/10/Informe-CODDII-Industria-4.0.pdf>

Ross, Alec (2016). *Las industrias del futuro.* Simon & Schuster Salud 4.0: una Sanidad personalizada y centrada en el paciente. (2017). <https://www.ituser.es/contentmarketing/2017/09/salud-40-la-sanidadpersonalizada-y-centrada-en-el-paciente>

Salas, O. (17 de noviembre de 2021). Nuevos laboratorios de Ingeniería Industrial reforzarán la innovación en docencia e investigación. *Oficina de Divulgación e Información Área de cobertura: ingenierías.* <https://www.ucr.ac.cr/noticias/2021/11/17/nuevos-laboratorios-de-ingenieria-industrial-reforzaran-la-innovacion-en-docencia-e-investigacion.html#:~:text=En%20el%20Laboratorio%20de%20Manufactura,de%20flejeo%20y%20empaques%20autom%C3%A1tico>.

Schwab, K. (2016). *La Cuarta Revolución Industrial.* Foro económico Mundial. Schwab, D., & Löhnig, M. (2016). Schwab/Löhnig, Einführung in das Zivilrecht. CF Müller GmbH. ISBN: 9788499926940 Editorial: Editorial Debate. [http://40.70.207.114/documentosV2/La%20cuarta%20revolucion%20industrial-klaus%20Schwab%20\(1\).pdf](http://40.70.207.114/documentosV2/La%20cuarta%20revolucion%20industrial-klaus%20Schwab%20(1).pdf)