



*Análisis exhaustivo de las tecnologías clave en la Industria 4.0*

*Comprehensive analysis of key technologies in Industry 4.0*

*Análise abrangente das principais tecnologias da Indústria 4.0*

Segundo Vicente Echeverría-Desiderio <sup>I</sup>

[segundo.echeverriad@ug.edu.ec](mailto:segundo.echeverriad@ug.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0003-3010-142X>

María Alejandrina Nivelá-Cornejo <sup>II</sup>

[maría.nivelac@ug.edu.ec](mailto:maría.nivelac@ug.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0003-3919-4589>

**Correspondencia:** [segundo.echeverriad@ug.edu.ec](mailto:segundo.echeverriad@ug.edu.ec)

Ciencias de la Educación

Artículo de Investigación

\* **Recibido:** 02 de junio de 2024 \* **Aceptado:** 29 de julio de 2024 \* **Publicado:** 05 de agosto de 2024

I. Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador.

II. Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador.

## Resumen

Este trabajo proporciona un marco contextual sobre las tecnologías clave asociadas con la era de la digitalización, también conocida como Industria 4.0 o Cuarta Revolución Industrial. En su contenido, se realiza una breve revisión del impacto industrial y la evolución tecnológica que han caracterizado históricamente a las revoluciones previas. Posteriormente, se detallan algunas de las arquitecturas, estándares, características y elementos más relevantes de la Industria 4.0, enfatizando la importancia vital de las diversas disciplinas de la ingeniería en su desarrollo y progreso destacan términos clave como Industria 4.0, Internet de las Cosas (IoT), Sistemas Ciberfísicos (CPS), Computación en la Nube, Ciberseguridad, Blockchain, Big Data, Inteligencia Artificial, Aprendizaje Automático y Aprendizaje Profundo, que son fundamentales para comprender y abordar los desafíos y oportunidades presentes en el contexto de la digitalización industrial. Estos conceptos delinean un panorama integral de las tecnologías que están transformando los procesos industriales y la forma en que interactuamos con el entorno digitalizado en la actualidad.

**Palabras clave:** Industria 4.0; Tecnologías; Inteligencia Artificial; Aprendizaje Automático; Aprendizaje Profundo.

## Abstract

This paper provides a contextual framework on the key technologies associated with the era of digitalization, also known as Industry 4.0 or the Fourth Industrial Revolution. Its content includes a brief review of the industrial impact and technological evolution that have historically characterized previous revolutions. Subsequently, some of the most relevant architectures, standards, characteristics and elements of Industry 4.0 are detailed, emphasizing the vital importance of the various engineering disciplines in its development and progress. Key terms such as Industry 4.0, Internet of Things (IoT), Cyber-Physical Systems (CPS), Cloud Computing, Cybersecurity, Blockchain, Big Data, Artificial Intelligence, Machine Learning and Deep Learning are highlighted, which are fundamental to understanding and addressing the challenges and opportunities present in the context of industrial digitalization. These concepts outline a comprehensive overview of the technologies that are transforming industrial processes and the way we interact with the digitalized environment today.

**Keywords:** Industry 4.0; Technologies; Artificial Intelligence; Machine Learning; Deep Learning.

## Resumo

Este trabalho fornece uma estrutura contextual sobre as principais tecnologias associadas à era da digitalização, também conhecida como Indústria 4.0 ou Quarta Revolução Industrial. No seu conteúdo é feita uma breve revisão do impacto industrial e da evolução tecnológica que caracterizaram historicamente as revoluções anteriores. Posteriormente, são detalhadas algumas das arquiteturas, normas, características e elementos mais relevantes da Indústria 4.0, enfatizando a importância vital das diversas disciplinas da engenharia no seu desenvolvimento e progresso, destacando termos-chave como Indústria 4.0, Internet das Coisas (IoT), Sistemas Ciber-Físicos (CPS), Cloud Computing, Cibersegurança, Blockchain, Big Data, Inteligência Artificial, Machine Learning e Deep Learning, que são fundamentais para compreender e enfrentar os desafios e oportunidades presentes no contexto da digitalização industrial. Estes conceitos descrevem uma visão abrangente das tecnologias que estão a transformar os processos industriais e a forma como interagimos hoje com o ambiente digitalizado.

**Palavras-chave:** Indústria 4.0; Tecnologias; Inteligência artificial; Aprendizagem de Máquina; Aprendizado profundo.

## Introducción

A lo largo de la historia, las revoluciones industriales han sido testigos de la introducción de tecnologías revolucionarias que han revuelto de manera vertiginosa los métodos de producción en una variedad de industrias, dando lugar a cambios económicos y sociales de gran trascendencia que han dejado una profunda marca en la humanidad. Durante los tumultuosos siglos XIX y XX, la sociedad vivió tres épocas distintas de revolución industrial y tecnológica, cada una de las cuales redefinió radicalmente la forma en que se trabaja, producir y de relacionar.

En tiempos recientes, hemos sido testigos de la irrupción de una amplia gama de tecnologías que están remodelando por completo el paisaje industrial. La noción de Industria 4.0 engloba este conjunto diverso de tecnologías que son fundamentales para propulsar lo que se considera la cuarta revolución industrial. En este nuevo paradigma, vemos cómo las tecnologías de fabricación y de información convergen de manera sorprendente, dando lugar a una transformación radical en los procesos productivos y en las interacciones entre humanos y máquinas. Pero no se trata solo de una revolución tecnológica; también implica una redefinición de las relaciones entre proveedores,

fabricantes y consumidores, lo que cambia fundamentalmente la dinámica económica y social en el mundo industrial.

En la era de la información, es absolutamente esencial que toda la comunidad esté al tanto de cómo evolucionan las tecnologías emergentes y comprenda la magnitud de su posible impacto. Este conocimiento no solo abarca aspectos técnicos, sino también económicos y sociales, todos los cuales deben ser tenidos en cuenta para adaptarse a los cambios y aprovechar las oportunidades que estas innovaciones ofrecen. Por ello, el propósito de este proyecto es reunir de forma clara y accesible para cualquier lector los conceptos y tecnologías clave que definen la Industria 4.0, dentro del contexto más amplio en el que se desenvuelven. Para lograr este objetivo, nos sumergiremos primero en una breve exploración de las revoluciones industriales pasadas antes de adentrarnos en los detalles específicos de la Industria 4.0.

Además, este texto proporciona un análisis detallado de la literatura más actualizada, recopilada de fuentes científicas de alto renombre y de instituciones internacionales que son autoridad en este ámbito. Esta abundancia de información se presenta con la intención de servir como una fuente confiable y completa para quienes deseen adentrarse en un estudio exhaustivo de cada uno de los componentes presentados en este documento.

### **Primera revolución industrial**

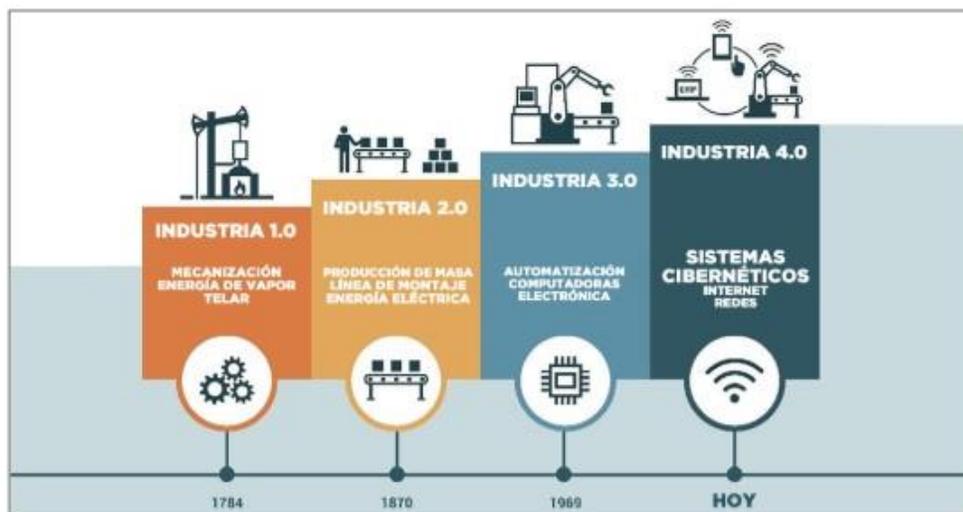
La inicial revolución industrial tuvo su génesis en Inglaterra entre los años 1750 y 1840. Su emblema más prominente fue la creación de la primera máquina de vapor, concebida por Thomas Newcomen y luego refinada por James Watt en 1785. Este avance tecnológico marcó el inicio de una era de transformación radical en los métodos de producción y en el panorama económico y social de la época.

Según Chaves (2004), el avance hacia la industrialización fue catalizado por una sucesión de cambios tecnológicos entrelazados que suplantaron el trabajo manual humano con herramientas mecánicas, y la energía proveniente de seres vivos, ya sea humana o animal, con formas no biológicas de energía. Desde la perspectiva de la ingeniería, este período representó una transición notable desde métodos tecnológicos agrícolas y artesanales hacia la mecanización de procesos industriales, lo que conllevó a la progresiva sustitución de la labor manual por la labor realizada por máquinas. Este cambio transformó radicalmente la estructura laboral y económica, sentando las bases para la revolución industrial.

Este cambio también facilitó la expansión de industrias fundamentales como la textil, la metalúrgica, la siderúrgica y la del transporte, generando una transformación radical en la ejecución de actividades productivas iniciando una nueva etapa de desarrollo industrial. Desde una perspectiva de ingeniería, este período representó una transición significativa de las prácticas agrícolas y artesanales hacia una era de procesos mecanizados, lo que resultó en la sustitución progresiva del trabajo manual por la utilización de maquinaria. Además, presencié la expansión de diversas industrias como la textil, la metalúrgica, la siderúrgica y la del transporte, todas impulsadas por el avance tecnológico y la adopción de nuevos métodos de producción. Este cambio no solo transformó la estructura económica y social, sino que también sentó las bases para el crecimiento industrial a escala global.

Un aspecto fundamental de este cambio fue la alteración en la fuente de energía utilizada. En lugar de depender únicamente de la energía generada por ruedas hidráulicas, la primera revolución industrial presencié la supremacía de la energía térmica, principalmente obtenida del carbón, como principal recurso energético. El estudio de Baracca (2002) resalta tanto las aportaciones prácticas como teóricas de los conceptos energéticos, mecánicos y termodinámicos durante este periodo crucial de la primera revolución industrial. Estas ideas sentaron los cimientos para el desarrollo de tecnologías y sistemas que propiciaron el crecimiento y la transformación de la industria. En la Figura 1, se presenta una panorámica de las cuatro revoluciones industriales, resaltando la secuencia temporal y los eventos más significativos de cada una.

*Figura 1: Cuatro revoluciones industriales*



*Fuente:* <https://www.gestionuno.org/que-es-realmente-la-industria-4-0/>

## **Segunda Revolución Industrial**

Durante la segunda mitad del siglo XIX y el inicio del siglo XX, se presenció una etapa de notable avance científico y tecnológico, así como la difusión de estas innovaciones a otras naciones como Francia, Alemania, la URSS, Estados Unidos y Japón, lo que supuso un cambio en el liderazgo industrial desde Inglaterra hacia estas regiones.

Este periodo estuvo marcado por el surgimiento de la era eléctrica, como apunta Barazarte (2016), con el desarrollo de los primeros dispositivos de comunicación eléctrica, el progreso en la industria química y el avance en los medios de transporte aéreo y terrestre, entre otros aspectos destacados. Entre las invenciones más relevantes de esta época se cuentan el primer motor diésel concebido por Rudolf Diésel en 1892, el radio ideado por Guillermo Marconi según Muzzioli (1957), el automóvil creado por Karl Friedrich Benz, el avión de los hermanos Wright, el telégrafo de Samuel Morse, el teléfono de Graham Bell y la bombilla eléctrica de Thomas Alva Edison.

En el ámbito energético, se hizo notable el creciente empleo de la electricidad y el surgimiento del petróleo como una fuente esencial de combustible. Estos progresos en el campo de la energía desempeñaron un papel crucial en el impulso del desarrollo industrial y tecnológico de ese período, estableciendo los cimientos de la sociedad contemporánea que hoy en día conocemos.

## **Tercera revolución industrial**

La tercera Revolución Industrial, también conocida como la era del conocimiento y las tecnologías de la información, tuvo lugar aproximadamente entre los años 1960 y 1990. Durante este periodo, se experimentó un rápido y sin precedentes surgimiento en áreas como la electrónica, la bioingeniería, la informática, las telecomunicaciones, los dispositivos móviles, el desarrollo de software y la robótica, entre otros avances notables.

El impacto de esta revolución en la industria fue considerable, ya que impulsó la modernización de los métodos de producción a través de la automatización y robotización de procesos y equipos. Esto llevó a las empresas a enfocar más sus inversiones en tecnología que en mano de obra, marcando una tendencia importante en la manera en que se desarrollan las actividades productivas. En el ámbito económico y social, esta revolución amplió la brecha entre países desarrollados y subdesarrollados, resaltando aún más la disparidad entre ellos. Además, en cuanto a la energía, se mantuvo el uso de las mismas fuentes energéticas que en la segunda revolución, aunque también

se exploraron otras como la energía nuclear y se comenzaron a investigar alternativas como la energía eólica, solar, biomasa, geotérmica y mareomotriz.

Dado que el tema de la energía es crucial para la supervivencia y sostenibilidad del planeta, resulta intrigante profundizar en su evolución a lo largo de la historia. El profesor Mínguez ofrece un análisis detallado sobre cómo han influido y afectado los recursos naturales y su transformación en diversas formas de energía durante las revoluciones industriales. Este contenido está disponible para su consulta en la referencia Mínguez (2015).

## **Industria 4.0**

La cuarta revolución industrial, también llamada la era de la digitalización o Industria 4.0, representa un cambio radical según diversos expertos. Este cambio de paradigma ha sido posible gracias al crecimiento exponencial de la tecnología y las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) en las últimas décadas, así como al esfuerzo constante de las industrias por adoptar y avanzar en la implementación de estas innovaciones.

En su esencia, la cuarta revolución industrial fusiona sistemas físicos, digitales y biológicos para crear una red de producción inteligente. Esto implica que los distintos componentes no solo funcionan de manera independiente, sino que también interactúan y colaboran entre sí de forma inteligente. Este enfoque transforma profundamente nuestra percepción y relación con el mundo, ya que los límites entre lo físico, lo digital y lo biológico se desdibujan, abriendo nuevas posibilidades y desafíos en todos los aspectos de la vida humana y la actividad económica.

También se puede describir como una perspectiva innovadora de la fábrica del futuro o la fábrica inteligente. Esto implica la digitalización y transformación de la industria y las empresas mediante la adopción de tecnologías disruptivas de vanguardia. Esta revolución no solo se trata de adoptar nuevas herramientas y procesos, sino que implica un cambio profundo en la forma en que las organizaciones operan y se relacionan con su entorno, lo que lleva a una mayor eficiencia, flexibilidad y capacidad de adaptación ante los cambios del mercado y las demandas de los consumidores.

Cuando se trata de definir el paradigma que representan las tecnologías en la industria 4.0, es común encontrar términos específicos utilizados en la literatura, como tecnologías disruptivas, tecnologías emergentes y tecnologías habilitadoras. Por ejemplo, el concepto de tecnología disruptiva fue introducido por primera vez por Clayton M. Christensen, un destacado profesor de

la Universidad de Harvard y considerado uno de los principales expertos mundiales en innovación y crecimiento. Este término se popularizó a través de su publicación "Disruptive Technologies: Catching the Wave". Por otro lado, la noción de tecnologías emergentes se refiere a aquellas innovaciones que están en proceso de desarrollo y tienen el potencial de transformar significativamente la forma en que se llevan a cabo las actividades industriales.

Mientras tanto, las tecnologías habilitadoras son aquellas que posibilitan y respaldan la efectiva adopción de las tecnologías disruptivas y emergentes, al proporcionar la infraestructura y capacidades necesarias para su implementación exitosa. Estos términos se utilizan de manera amplia para describir el impacto y la importancia de las tecnologías en la evolución y el desarrollo de la industria moderna (Bower y Christensen, 1995).

El documento "Tecnologías disruptivas y sus impactos en la seguridad" examina las características esenciales de los fenómenos disruptivos. Según este documento, las innovaciones tecnológicas disruptivas se distinguen por su naturaleza no evolutiva ni lineal, ya que provocan cambios revolucionarios en lugar de mejoras incrementales. Estas innovaciones no se limitan a mejorar tecnologías existentes, sino que introducen algo completamente nuevo, lo que puede hacer que los sistemas anteriores se vuelvan obsoletos o ineficientes.

*Figura 2: Tecnologías disruptivas*



Fuente: <https://www.auraquantic.com/es/tecnologias-industria-inteligente/>

## Tecnologías presentes en la Industria 4.0

Las "tecnologías convergentes" son aquellas que tienen la capacidad de combinar sus efectos con otras tecnologías, lo que podría conducir a la creación de nuevas tecnologías y transformar los modelos existentes. Por otro lado, las "tecnologías habilitadoras" se centran en su capacidad para fomentar o permitir la evolución y transformación.

Según la perspectiva de Schwab, la cuarta Revolución Industrial implica la convergencia de tecnologías que están borrando las fronteras entre lo físico, lo digital y lo biológico. En sus propias palabras, "Estamos al borde de una revolución tecnológica que modificará fundamentalmente la forma en que vivimos, trabajamos y nos relacionamos. En su escala, alcance y complejidad, la transformación será distinta a cualquier cosa que el género humano haya experimentado antes" (Schwab, 2016). Este cambio revolucionario es evidente en la forma en que las tecnologías convergen y se entrelazan para crear nuevos paradigmas en diversas esferas de la vida moderna.

Actualmente, sigue siendo un desafío la creación de un estándar global que facilite la adopción de la Industria 4.0 o la Internet Industrial de las Cosas (IIoT). En este momento, se destacan dos arquitecturas de referencia para la IIoT. Por un lado, está la arquitectura RAMI 4.0 (Modelo de Arquitectura de Referencia Industrie 4.0), y, por otro lado, está el IIRA (Arquitectura de Referencia de la Internet Industrial). RAMI 4.0 es desarrollada por la organización alemana I4.0 Plattform. Durante una de las ediciones de la feria de Hannover, se presentó la norma DIN 91.345 que convirtió a RAMI en un estándar reconocido. Además, el Consejo de Estandarización 4.0 ha extendido este modelo para cumplir con la norma internacional IEC/PAS 630.

La arquitectura de Referencia está disponible para su consulta en el sitio web del TIC. A pesar de estos avances, sigue siendo un desafío importante establecer una normativa global que facilite la implementación efectiva de la Industria 4.0 y la IIoT, ya que cada región y sector industrial puede tener requisitos y necesidades específicas que deben ser considerados en la estandarización.

IIRA aborda la IIOT en múltiples industrias, destacando aspectos comunes y la relevancia de la interoperabilidad. Por otro lado, RAMI 4.0 se enfoca específicamente en la fabricación y los ciclos de vida asociados con la cadena de valor. Sin embargo, un elemento fundamental que ambos modelos comparten es la necesidad de interoperabilidad, la cual debe estar presente entre los sistemas independientemente de la arquitectura en la que estén desarrollados.

Esto implica que los sistemas deben ser capaces de comunicarse y operar de manera conjunta de manera eficiente y efectiva, sin importar las diferencias en su diseño o estructura. Este énfasis en

la interoperabilidad es esencial para lograr una integración fluida de tecnologías y procesos en el contexto de la Industria 4.0 y la IIOT, lo que permite una colaboración armoniosa y una optimización de los recursos en diversos entornos industriales.

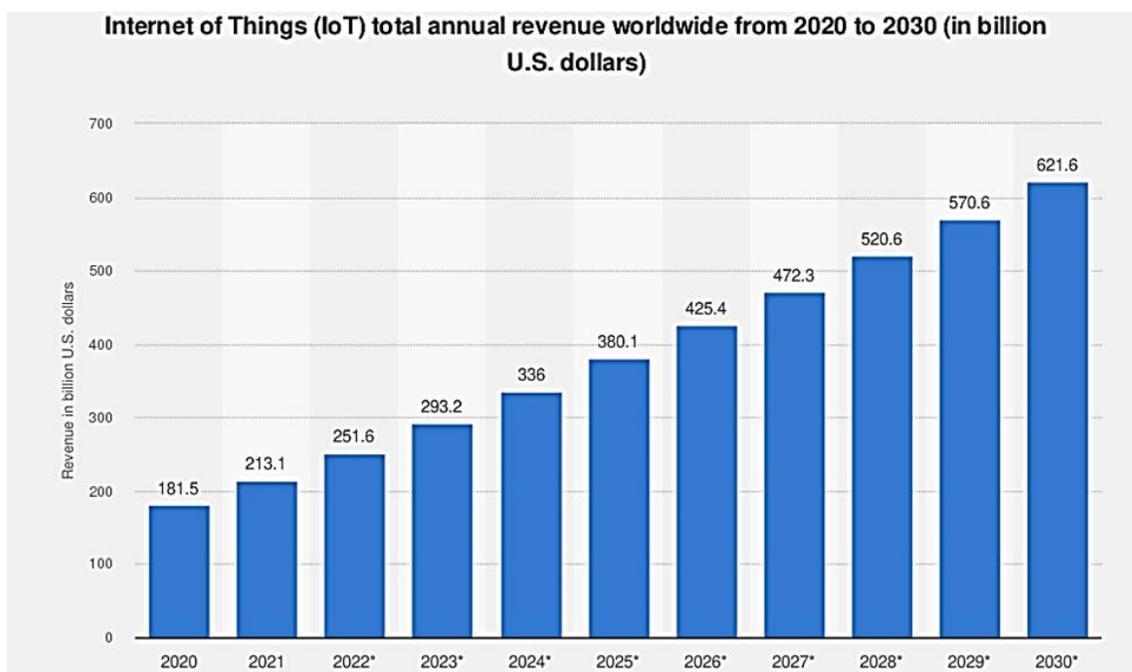
## **Tecnologías presentes en la Industria**

### **Internet de las Cosas – IOT**

El concepto de Internet de las Cosas tuvo su origen en el MIT y se percibe como la próxima etapa en la evolución de Internet. Este concepto implica que a medida que los seres humanos avanzan y convierten datos en información, conocimiento y sabiduría, el IoT tiene el potencial de mejorar considerablemente nuestro mundo tal como lo conocemos. El alcance al que lleguemos en esta fase dependerá de nuestras acciones y decisiones.

Según la Internet Society, el IoT se refiere a situaciones en las que la conectividad de la red y la capacidad de procesamiento se extienden a objetos, sensores y dispositivos de uso cotidiano que normalmente no se consideran computadoras. Esto implica una interacción entre el mundo físico y biológico con los sistemas cibernéticos, lo que permite que estos dispositivos generen, intercambien y utilicen datos con una mínima intervención humana. Sin embargo, es importante destacar que no existe una definición única y universal del IoT, ya que puede variar según el contexto y las aplicaciones específicas en las que se emplee.

Diversos expertos han realizado proyecciones sobre la rapidez con la que se espera que aumente la adopción del Internet de las Cosas (IOT). Un ejemplo de esto es la estimación realizada por CISCO para el año 2030, donde calcularon que, entre 5,5 billones y 12,6 billones de dispositivos a nivel mundial, que incluyen computadoras de escritorio, teléfonos inteligentes, tabletas y relojes inteligentes, estarían conectados a Internet. Este incremento exponencial en la interconexión de dispositivos subraya el significativo impacto que el IOT está teniendo en nuestra vida cotidiana y en diversos sectores industriales.

**Figura 3:** Proyecciones sobre la rapidez que se espera aumente la adopción del Internet de las Cosas (IOT)

**Fuente:** <https://es.digi.com/blog/post/10-ways-iot-edge-computing-transforms-business>

### Sistemas Ciber físicos (CPS)

Según la página web del Proyecto Ptolomeo, los sistemas CPS, vistos como un campo de la ingeniería, se centran en tecnologías que se basan en fundamentos matemáticos e informáticos sólidos. Estas tecnologías se emplean para modelar, simular y diseñar sistemas integrados concurrentes en tiempo real. En resumen, los CPS utilizan modelos y métodos provenientes de diversos campos de la ingeniería, así como de la informática. Por su parte, el Consorcio de Sistemas Ciber físicos Industriales (iCyPhy) de la Universidad de Berkeley se dedica a la investigación en CPS, partiendo de la premisa de que estos modelos y métodos no se combinan de manera sencilla. En consecuencia, los CPS se consideran una disciplina de ingeniería novedosa que requiere sus propios enfoques y herramientas.

Los Sistemas Ciber físicos (CPS) examinan los detalles de aplicaciones específicas con el fin de descubrir los principios científicos y de ingeniería esenciales que respaldan la integración de elementos físicos y cibernéticos en diversas áreas. El portal de iCyphy ofrece acceso para revisar y contribuir a un mapa conceptual desarrollado inicialmente por investigadores de la Universidad de Berkeley, el cual describe los componentes y las interacciones dentro de los CPS.

El análisis realizado por Törngren y Grogan (2018) examina las fuentes y las implicaciones de la complejidad en los sistemas ciberfísicos (CPS). Se abordan las limitaciones actuales que afectan la capacidad de estos sistemas para afrontar los desafíos venideros, y se proporciona una descripción general de las restricciones presentes en las metodologías existentes para abordar estos temas.

El estudio más reciente llevado a cabo por Cardin (2019) presenta un examen detallado para clasificar las aplicaciones de los sistemas de producción ciberfísicos (CPPS), considerando aspectos como el alcance de aplicación, el nivel de cognición, las interfaces hombre-máquina (HMI), los estándares de comunicación, los niveles y la distribución de inteligencia. Además, este estudio identifica las tendencias clave y proyecta las perspectivas futuras en este ámbito.

La "Guía de Ingeniería de Sistemas Ciberfísicos" ofrece ejemplos de compañías europeas que utilizan CPS para reducir costos y aumentar la eficiencia de productos y servicios. Entre los casos de estudio presentados en esta guía se encuentran aplicaciones como el moldeo por inyección de plástico, la soldadura industrial, la manufactura y producción, entornos quirúrgicos, ciudades inteligentes, gestión del tráfico, entre otros.

## **Ciberseguridad**

De acuerdo con José Valiente, quien ejerce como Director del Centro de Ciberseguridad Industrial (CCI), la ciberseguridad engloba prácticas, procedimientos y tecnologías diseñadas para manejar los riesgos del ciberespacio relacionados con la utilización, procesamiento, almacenamiento y transmisión de datos en organizaciones e infraestructuras industriales. Esta gestión se lleva a cabo considerando las perspectivas de personas, procesos y tecnologías.

La implementación de capacidades digitales en el contexto de la Industria 4.0 ha generado beneficios sustanciales, pero al mismo tiempo ha introducido nuevos riesgos cibernéticos para los cuales la industria aún se encuentra en una fase temprana o cuenta con niveles de preparación limitados. Por consiguiente, la ciberseguridad debe ser un componente fundamental a lo largo de todo el ciclo de vida de cualquier iniciativa asociada con la Industria 4.0, formando parte integral de la cultura y la estrategia organizacional.

En el documento de Podins et al. (2013) se detallan tres incidentes de ciberataques de gran relevancia: el ataque a las instituciones bancarias de Estados Unidos en 2012, los ataques cibernéticos contra Estonia en 2007, y el incidente de Stuxnet en 2012 dirigido a Irán. Estos eventos ilustran la creciente amenaza y complejidad de los ataques informáticos a nivel global. En este

contexto, se produjo un caso en el que un malware logró infectar al menos 14 sectores industriales en Irán, incluida una instalación de enriquecimiento de uranio.

El ataque inicialmente se centró en los sistemas y redes basados en Microsoft Windows, propagándose en ellos antes de penetrar en el software Siemens Step 7, utilizado para programar sistemas de control industrial, y finalmente alcanzando los controladores lógicos programables (PLC) responsables de la gestión de los equipos. Como resultado, el malware pudo causar daños incluso a las centrifugadoras de la planta. Según el Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST), la Computación en la Nube se describe como un modelo que ofrece acceso universal, práctico y bajo demanda a una variedad de recursos informáticos configurables, como redes, servidores, almacenamiento, aplicaciones y servicios compartidos. Estos recursos pueden ser provisionados y desplegados rápidamente con un esfuerzo mínimo de gestión o interacción con el proveedor de servicios.

La Computación en la Nube no solo es una tendencia popular, sino un concepto que representa un nuevo paradigma en el ámbito informático, considerado por muchos expertos como una innovación tan significativa como lo fue internet en su momento; de hecho, es prácticamente sinónimo de la propia internet. Es el resultado de la evolución de varias tecnologías que están transformando la manera en que las organizaciones y empresas estructuran sus infraestructuras de tecnologías de la información y comunicación (TIC). mSimilar a la evolución que hemos presenciado en la web con la web 2.0 y la web semántica, la computación en la nube no introduce tecnologías completamente nuevas, sino que integra tecnologías poderosas.

*Figura 4: Computación en la nube y ciberseguridad*



*Fuente:* <https://www.istockphoto.com/es/fotos/computaci%C3%B3n-en-nube>

## **Blockchain**

Blockchain, también conocida como "cadena de bloques", emerge como una tecnología que se considera la próxima era del internet. Según lo expuesto por Tapscott en su obra "Blockchain Revolution: How the Technology Behind Bitcoin Is Changing Money, Business, and the World" (2016), publicada por Penguin Publishing Group, la blockchain se define como un registro digital de transacciones económicas que tiene la capacidad de ser programado para registrar no solo transacciones financieras, sino prácticamente cualquier tipo de intercambio de valor. La primera manifestación conocida de esta tecnología fue la criptomoneda Bitcoin, surgida en 2008, creada por Satoshi Nakamoto, cuya identidad sigue siendo un misterio hasta el día de hoy. La cadena de bloques se erige como el pilar fundamental detrás del funcionamiento del bitcoin, y actualmente está siendo explorada y desarrollada en una multitud de aplicaciones.

En su esencia, la blockchain constituye una base de datos distribuida y compartida entre las partes involucradas, en la cual la información se encuentra segura gracias al empleo de técnicas criptográficas, como señalan Zhai et al. en su investigación del 2019. Las transacciones realizadas en un intervalo de tiempo específico son agrupadas en bloques de información que, a su vez, se vinculan entre sí, formando de esta manera una cadena continua de bloques. Este enfoque descentralizado y seguro de almacenamiento de datos ha generado un gran interés en diversos sectores, pues se percibe como una solución prometedora para múltiples desafíos relacionados con la confianza, la seguridad y la transparencia en las transacciones digitales.

## **Inteligencia artificial**

La Inteligencia Artificial (IA) se define como un campo de investigación profundamente interdisciplinario que engloba una amplia gama de áreas del conocimiento, incluyendo ciencias computacionales, matemáticas, lógica, biología, psicología, lingüística y filosofía, entre otras disciplinas relacionadas. Esta diversidad de enfoques es esencial para comprender y desarrollar sistemas inteligentes capaces de emular habilidades humanas como el aprendizaje, el razonamiento, la toma de decisiones y la comunicación efectiva. La sinergia entre estos diferentes dominios de estudio impulsa el avance en la creación de tecnologías y aplicaciones que aprovechan todo el potencial de la Inteligencia Artificial en una variedad de contextos, desde la automatización

de procesos hasta la construcción de sistemas autónomos y la mejora de la interacción humana en múltiples aspectos de la vida diaria.

El propósito central de la Inteligencia Artificial, en combinación con tecnologías avanzadas, es capacitar a los sistemas informáticos y dispositivos tecnológicos para llevar a cabo tareas que normalmente requerirían la intervención directa de la inteligencia humana. Estas actividades comprenden desde el aprendizaje y el razonamiento hasta la resolución de problemas, la percepción visual, el reconocimiento de voz, la toma de decisiones y la traducción de idiomas. En esencia, la IA se refiere a la capacidad de los sistemas para replicar el comportamiento inteligente humano en una variedad de contextos y aplicaciones.

En la actualidad, la Inteligencia Artificial (IA) se está empleando de manera extensa para enfrentar y resolver una diversidad de problemas tanto en campos de investigación como en la industria. Estos sistemas inteligentes están revolucionando la forma en que se llevan a cabo una variedad de actividades, desde el análisis de grandes conjuntos de datos hasta la automatización de procesos complejos. Además, la IA está siendo aprovechada para optimizar operaciones, mejorar la eficiencia y la precisión en distintos sectores, y generar nuevas oportunidades de desarrollo tecnológico e innovación en diversos ámbitos de aplicación.

En 1950, el matemático inglés Alan Turing publicó un artículo titulado "Computing Machinery and Intelligence", que marcó el comienzo del campo que más tarde se conocería como Inteligencia Artificial. En este trabajo, Turing planteó la cuestión fundamental sobre si las máquinas podrían ser capaces de pensar y propuso un método para evaluar el nivel de inteligencia de una máquina, que se conoce como la prueba de Turing.

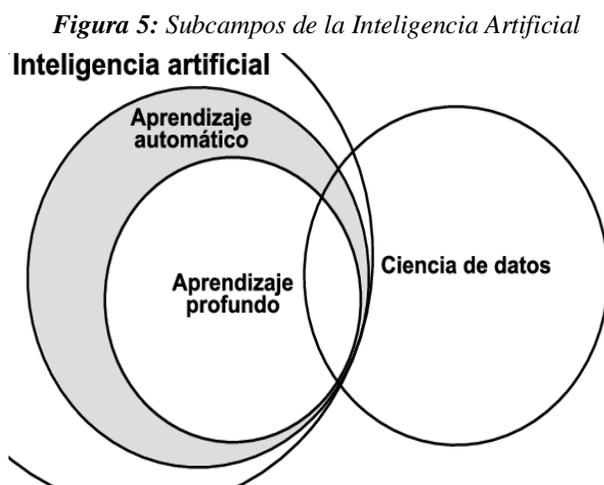
John McCarthy, considerado uno de los precursores en el ámbito de la Inteligencia Artificial, introdujo por primera vez el término en un documento presentado durante la Conferencia de Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence en 1956, la cual fue la primera reunión dedicada exclusivamente a este campo. En su definición inicial, McCarthy describió la Inteligencia Artificial como "la ciencia y la ingeniería encargadas de crear máquinas inteligentes.

En el campo de la Inteligencia Artificial, se pueden identificar diversas áreas de estudio y aplicación, que incluyen las Redes Neuronales Artificiales (RNA), el Procesamiento del Lenguaje Natural (PLN), la Ingeniería del Conocimiento (IC), los Sistemas Expertos (SE), los Algoritmos Evolutivos (AE), la Lógica Difusa (LD), el Aprendizaje Profundo (Deep Learning) y una amplia gama de otros enfoques y técnicas que están siendo desarrollados y aplicados activamente.

Las Redes Neuronales Artificiales (RNA) son modelos informáticos que toman inspiración del funcionamiento del cerebro humano y se emplean para el aprendizaje automático y el reconocimiento de patrones en conjuntos de datos. El Procesamiento del Lenguaje Natural (PLN) se concentra en la interacción entre las computadoras y el lenguaje humano, permitiendo que las máquinas comprendan, interpreten y generen texto de manera natural. La Ingeniería del Conocimiento (IC) se dedica al desarrollo de sistemas capaces de representar y utilizar el conocimiento de manera efectiva. Los Sistemas Expertos (SE) son programas informáticos diseñados para resolver problemas complejos al emplear conocimientos expertos en un dominio específico.

Los Algoritmos Evolutivos (AE) son métodos de optimización inspirados en la evolución biológica, empleados para resolver problemas complejos y encontrar soluciones óptimas en una amplia variedad de aplicaciones. La Lógica Difusa (LD) es una técnica que permite manejar la incertidumbre y la imprecisión en los datos, proporcionando flexibilidad en la toma de decisiones en sistemas basados en reglas. El Aprendizaje.

El Aprendizaje Profundo, conocido también como Deep Learning, constituye una rama del aprendizaje automático centrada en redes neuronales con varias capas, lo que facilita la adquisición de representaciones de datos de manera jerárquica. Esta disciplina aborda tareas complejas como el reconocimiento de imágenes y el procesamiento de datos secuenciales. Estas y otras técnicas de Inteligencia Artificial están experimentando un amplio uso y desarrollo para abordar una variedad de problemas y promover la creación de sistemas más inteligentes y eficientes.



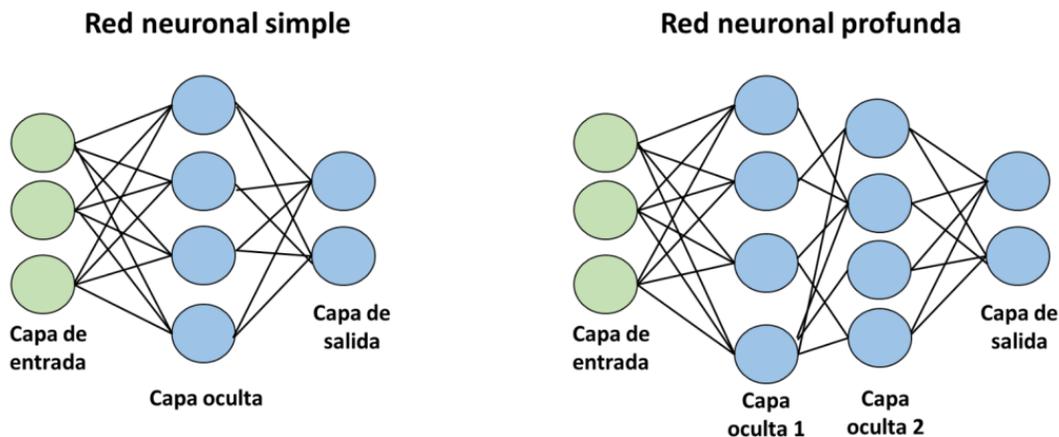
Fuente: [https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Subcampos-de-la-inteligencia-artificial\\_fig1\\_377590421](https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Subcampos-de-la-inteligencia-artificial_fig1_377590421)

## Machine Learning o aprendizaje automático

El Machine Learning (ML) se considera una subdivisión de la Inteligencia Artificial (IA). En 1959, Arthur Samuel, un prominente pionero en el campo del aprendizaje automático, lo definió como un "campo de estudio que capacita a las computadoras para aprender sin necesidad de ser programadas explícitamente". El ML se basa en la utilización de datos para entrenar algoritmos que puedan entender la relación entre las entradas y salidas de un sistema dado, lo que permite extraer conocimientos de los datos recopilados y utilizar algoritmos para tareas como predicción, clasificación y generación de conocimientos.

Las aplicaciones derivadas del Machine Learning son variadas y extensas. Según Forbes, algunas de las aplicaciones más comunes y relevantes en la actualidad incluyen la seguridad de datos, el control de seguridad en aeropuertos, la predicción e inversión en el mercado bursátil, aplicaciones de diagnóstico médico asistidas por computadora y el marketing personalizado, donde los sistemas pueden realizar recomendaciones a los compradores basándose en el aprendizaje del usuario, como lo hace Amazon. Además, el ML se utiliza en la detección de fraudes en tarjetas de crédito, entre otros campos.

*Figura 6: Red neuronal simple y profunda*



Fuente: <https://keepcoding.io/blog/red-neuronal-en-deep-learning/>

## Inteligencia Artificial Industrial

J. Lee, H. Davari, J. Singh, V. Pandhare, en su trabajo titulado "Inteligencia Artificial Industrial para sistemas de fabricación basados en la industria 4.0", proporcionan un análisis exhaustivo del

estado actual de la Inteligencia Artificial (IA) en el contexto industrial. Además de esto, examinan las estructuras de IA, las metodologías aplicadas y los desafíos que la industria enfrenta en la creación e implementación de tales aplicaciones avanzadas.

Simoens et al. (2018) realizan una discusión detallada sobre la interacción entre el Internet de las Cosas (IOT) y la IA, centrándose particularmente en las aplicaciones relacionadas con la robótica y la automatización industrial. Además de los temas previamente mencionados, presentan conceptos como el Internet de las Cosas Robóticas (IORT) y el Internet de las Cosas para la Automatización Industrial (IAIOT).

## **Big Data**

En el contexto actual, se maneja una cantidad masiva de datos en una variedad de aplicaciones, dispositivos y sistemas, lo que destaca la relevancia del concepto de Big Data. Este término abarca la tecnología necesaria para gestionar y procesar información de tal magnitud. Se refiere a soluciones tanto de hardware como de software que posibilitan la captura, almacenamiento y organización del acceso a conjuntos de datos tan extensos que los métodos convencionales de procesamiento resultan insuficientes. El desafío ya no solo consiste en recopilar grandes volúmenes de datos, sino en contar con la capacidad tecnológica para almacenarlos y comprenderlos, convirtiéndolos en conocimiento útil Wang et al. (2018) investiga metodologías y tecnologías específicas para el procesamiento y análisis en tiempo real de enormes fuentes de datos heterogéneas, centrándose en diversos escenarios de aplicación del Big Data Industrial. Este término se caracteriza generalmente por las conocidas "5 V del Big Data".

**Volumen:** Este término se relaciona con la gran cantidad de información que resulta difícil de procesar utilizando los métodos convencionales.

**Variabilidad:** Este aspecto se centra en los datos cuyo significado cambia de manera continua, lo que requiere el desarrollo de algoritmos avanzados capaces de comprender el contexto y decodificar el significado exacto de los datos en constante evolución.

**Veracidad:** Las organizaciones deben asegurar la autenticidad de los datos recopilados, ya que estos pueden ser incompletos o incorrectos, lo que podría influir en la toma de decisiones.

**Velocidad:** Se refiere a la rapidez con la que se generan y almacenan los datos en el entorno actual, lo que demanda sistemas capaces de gestionar esta información en tiempo real y de manera eficiente.

*Figura 7: Las 5 V del Big Data*

*Fuente:* <https://www.auraquantic.com/es/cinco-uves-big-data/>

## Conclusiones

Se ha subrayado que la innovación desempeña un papel crucial en las revoluciones industriales, siendo la rapidez en la integración de avances tecnológicos un factor determinante. Además, se ha observado que las capacidades de las tecnologías actuales no tienen precedentes históricos, lo que abre un abanico de posibilidades sin igual.

Cada sector de la sociedad tiene la responsabilidad de llevar a cabo un análisis exhaustivo de los impactos, tanto positivos como negativos, asociados con la Industria 4.0. Esto implica considerar diversos aspectos, como los económicos, sociales, ambientales, entre otros, y evaluar la capacidad de adaptación a estos cambios. El objetivo principal es mejorar la calidad de vida de las personas a medida que nos adentramos en esta era de digitalización y transformación.

La digitalización no solo impacta en el ámbito industrial, sino que también tiene consecuencias importantes en nuestros modos de vida, en nuestras formas de trabajar y en nuestras interacciones sociales. Es crucial estar preparados para adaptarnos a estos cambios y aprovechar las oportunidades que ofrecen para avanzar como sociedad.

## Referencias

1. Baracca, A. (2002). El desarrollo de los conceptos energéticos en la mecánica y la termodinámica desde mediados del siglo XVIII hasta mediados del siglo XIX. *Llull: Revista de la Sociedad Española de Historia de las Ciencias y de las Técnicas*, 25(53), 285-325.
2. Barazarte, R. (2016). La Batalla de las Corrientes: Edison, Tesla y el nacimiento del sistema de potencia. *Revista Prisma Tecnológico*, 4(1), 51-53.
3. Bower, J. L., & Christensen, C. M. (1995). Disruptive Technologies: Catching the Wave. *Harvard Business Review*, 73(1), 43-53.
4. Cardin, O. (2019). Classification of cyber-physical production systems applications: Proposition of an analysis framework. *Computers in Industry*, 104, 11-21. doi: 10.1016/j.compind.2018.10.002
5. Chaves, J. (2004). Desarrollo tecnológico en la primera revolución industrial. *Revista de Historia*, 17, 93-109.
6. Lee, J., Davari, H., Singh, J., & Pandhare, V. (2018). Industrial Artificial Intelligence for industry 4.0 -based manufacturing systems. *Manuf. Lett.*, 18, 20 – 23. doi: 10.1016/j.mfglet.2018.09.002
7. Mínguez, E. (2015). Lección Inaugural, La importancia de la energía en las revoluciones industriales [Apuntes de clase]. <http://www.upm.es/sfs/Rectorado/Gabinete%20del%20Rector/Notas%20de%20Prensa/2015/09/documentos/Leccioninaugural.pdf>.
8. Muzzioli, L. (1957). La obra científico-técnica de Guillermo Marconi. Conmemoración del cincuentenario de la primera transmisión inalámbrica entre Europa y América, 1901-1951. *Revista Atenea*.
9. Podins, K., Stinissen, J., & Maybaum. (2013). Towards a cyber conflict taxonomy. 5th International Conference on Cyber Conflict.
10. Schwab, K. (2016). La cuarta revolución industrial. Editorial Debate.
11. Simoens, P., Dragone, M. & Saffiotti, A. (2018). The Internet of Robotic Things. *Int. J. Adv. Robot. Syst.*, 15(1). doi: 10.1177/1729881418759424
12. Tapscott, D. & Tapscott, A. (2016). *Blockchain Revolution: How the Technology Behind Bitcoin Is Changing Money, Business, and the World*. Penguin Publishing Group.

13. Törngren, M., & Grogan, P.T. (2018). How to Deal with the Complexity of Future Cyber-Physical Systems. *Journal Designs*. doi: 10.3390/designs2040040
14. Turing, A. (1950). *Computing Machinery and Intelligence*. Oxford University Press on behalf of the Mind Association, 59(236), 433-460.
15. Wang, J., Zhang, W., Shi, Y., Duan, S., & Liu, J. (2018). *Industrial Big Data Analytics: Challenges, Methodologies, and Applications*. CoRR.
16. Zhai S. et al. (2019). Research on the Application of Cryptography on the Blockchain, *J. Phys.: Conf.* doi: 10.1088/1742- 6596/1168/3/032077

© 2024 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).