



Revisión de las tecnologías presentes en la industria 4.0

Survey on technologies present in industry 4.0

Florelda Roza-García

Escuela de Ingeniería Mecánica, Universidad Industrial de Santander, Colombia.
Correo electrónico: florogar@uis.edu.co

Recibido: 29 septiembre, 2019. Aceptado: 5 marzo, 2020. Versión final: 1 abril, 2020.

Resumen

El presente trabajo contextualiza las principales tecnologías de la era de la digitalización o Industria 4.0, también conocida como Cuarta Revolución Industrial. En primer lugar, se describe brevemente el impacto industrial y la evolución tecnológica que han ocasionado históricamente las revoluciones predecesoras, para posteriormente presentar algunas de las principales arquitecturas, estándares, características y componentes de la Industria 4.0, donde las distintas disciplinas de la ingeniería desempeñan un papel fundamental para su evolución.

Palabras clave: industria 4.0; internet de las cosas (IOT); sistemas ciberfísicos (CPS); computación en la nube; ciberseguridad; blockchain; big data; inteligencia artificial; aprendizaje automático; aprendizaje profundo.

Abstract

The present survey work contextualizes the main technologies of the era of digitalization or Industry 4.0, also known as the Fourth Industrial Revolution. First, the industrial impact and the technological evolution that the predecessor revolutions have historically caused are briefly described, to later present some of the architectures, standards, characteristics, and components of Industry 4.0, where the different engineering disciplines play a fundamental role. For its evolution.

Keywords: industry 4.0; internet of things (IOT); cyber-physical systems (CPS); cloud computing; edge computing; cybersecurity; blockchain; big data; artificial intelligence; machine learning (ML); deep learning (DL).

1. Introducción

Las revoluciones industriales siempre han estado marcadas por características relacionadas con tecnologías emergentes innovadoras que modifican sustancialmente y a gran velocidad los paradigmas de las formas de producción en las industrias, desencadenando a su vez fenómenos económicos y sociales que transforman profunda y sustancialmente a la humanidad. Los siglos XIX y XX le han permitido a la sociedad experimentar tres revoluciones industriales y tecnológicas.

Conforme a esta evolución, en los últimos años han surgido innumerables tecnologías que se consolidan en el

campo industrial. El concepto de industria 4.0 integra todas esas tecnologías que son los pilares fundamentales para permitir la cuarta revolución industrial, donde las tecnologías de fabricación e información se integran con el potencial de transformar la producción y cambiar el carácter de las relaciones, no solo entre el hombre y la máquina, sino también entre proveedores, productores y consumidores.

En épocas de la sociedad de la información, la comunidad en general está llamada a estar al tanto de la evolución de las tecnologías emergentes y de sus potenciales, ya que presenta implicaciones de carácter técnico, cultural, social y económico en nuestra sociedad.



Por ello la intención del trabajo es compilar de manera clara y entendible para cualquier lector algunos de los principales conceptos y tecnologías presentes en la Industria 4.0, en medio del amplio panorama en el que se desarrollan, se inicia con una breve presentación de las revoluciones predecesoras, para luego entrar a profundizar en los aspectos de la Industria 4.0.

El documento provee además una amplia revisión bibliográfica reciente, proveniente de fuentes de información científica de alta reputación y de organizaciones internacionales que establecen estándares en el área, esta disposición de información será una guía confiable para los interesados en profundizar de manera particular en cada uno de los elementos expuestos.

1.1 Primera Revolución Industrial

La primera revolución industrial inició en Inglaterra entre los años 1750 -1840. El icono de la primera revolución industrial está representado por la primera máquina de vapor, invento de Thomas Newcomen y perfeccionado por James Watt en 1785.

Según Palacios [1], la industrialización fue impulsada por una sucesión interrelacionada de cambios tecnológicos que sustituyeron a la capacidad humana por instrumentos mecánicos, y a la energía humana y animal por energía inanimada.

Desde el punto de vista de la ingeniería, permitió una transición de la tecnología agrícola y artesanal, a la mecanización de los procesos y con ello la sustitución del trabajo manual por el de las máquinas. Así mismo la expansión de industrias como la de los textiles, la metalúrgica, la siderúrgica y la de transporte.

Se pasó del uso de la energía producto de la rueda hidráulica, a la energía térmica, siendo el principal suministro energético el carbón.

Baracca [2], en su trabajo describe las contribuciones prácticas y teóricas de los conceptos energéticos, la mecánica y la termodinámica, en el transcurso de la primera revolución industrial.

En la figura 1, se puede observar una sinopsis temporal de las cuatro revoluciones industriales.

1.2 Segunda Revolución Industrial

Inicia a mediados del siglo XIX y principios del siglo XX, estuvo caracterizada por la consolidación en el avance científico y tecnológico y la expansión a otros países como Francia, Alemania, URSS y Estados Unidos y Japón, desplazando a Inglaterra.

Esta etapa es caracterizada por el surgimiento de la era eléctrica [4], de los primeros medios de comunicación eléctricos, el desarrollo de la industria química, el transporte aéreo y terrestre, por mencionar algunos.

Dentro de las invenciones que la identifican están: el primer motor diésel [5], creado por Rudolf Diésel en 1892, el radio por Guillermo Marconi [6], el automóvil de Karl Friedrich Benz, el avión de los hermanos Wright [7], el telégrafo de Samuel Morse, el teléfono de Graham Bell, la bombilla eléctrica de Thomas Alva Edison.

Desde el punto de vista de las energías utilizadas, se destacan la electricidad y el uso del petróleo como combustible.

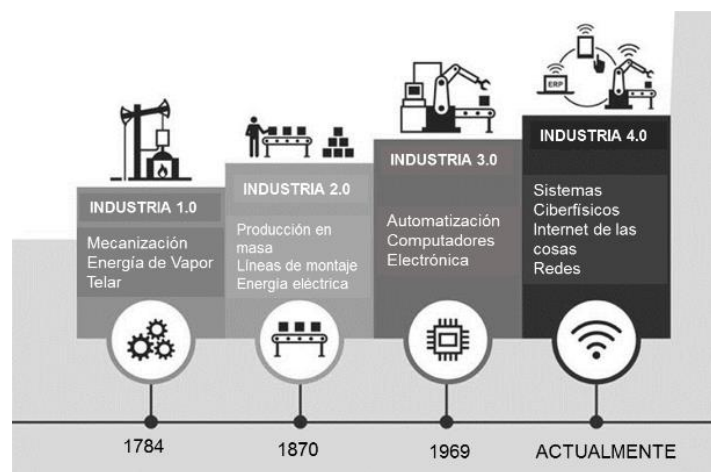


Figura 1. Revoluciones Industriales. Fuente: [3].

1.3 Tercera Revolución Industrial

La tercera Revolución Industrial, conocida como la del conocimiento y de las tecnologías de la información, se desarrolló aproximadamente entre los años 1960 y 1990.

Esta época presenció el surgimiento y el avance acelerado y sin precedentes de la electrónica, la bioingeniería, los ordenadores, las telecomunicaciones, los dispositivos móviles, el desarrollo de software y la robótica, por mencionar algunas.

El impacto que esta revolución trajo a la industria ha promovido la modernización de las formas de producción, gracias a la automatización y a la robotización de procesos y equipos. Las empresas han empezado a invertir más en tecnología que en mano de obra. Por su parte en el entorno económico y social, ha hecho evidente la distinción aún más fuerte entre países desarrollados y subdesarrollados.

En términos de energía, se continuó usando las mismas fuentes que en la segunda revolución, con la incursión de la energía nuclear y el inicio de investigaciones relacionadas con el uso de energías alternativas como la eólica, la solar, la biomasa, geotérmica, mareomotriz etc.

Siendo el área de las energías un factor crucial para la supervivencia y sostenibilidad del planeta es interesante evidenciar a profundidad el tema a lo largo de la historia. El profesor Mínguez, hace un compendio global, acerca de cómo han influido e impactado los recursos naturales, y su transformación en las variadas formas de energía, a lo largo de las revoluciones industriales, el texto puede ser consultado en [8].

2. Industria 4.0

La cuarta revolución industrial, es denominada por algunos autores como la era de la digitalización o Industria 4.0. Este salto paradigmático, es posible debido al crecimiento exponencial de la tecnología y de las TIC en las últimas décadas, y al constante trabajo de las industrias por adoptar y avanzar en la implementación de estas.

La cuarta revolución industrial fusiona los sistemas físicos, los sistemas digitales y los sistemas biológicos, para generar una red de producción inteligente donde los distintos componentes interactúan y colaboran entre sí, lo cual modifica trascendentalmente la forma en que vemos y nos interrelacionamos con el mundo.

El concepto de Industria 4.0, fue manejado por primera vez en la Feria de Hanover en Alemania [9], en el año 2011, para referirse a la “fábrica inteligente”.

En el año 2013, en una nueva edición de la feria el gobierno Alemán presenta la estrategia: “Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0” [10], propuesto por la Academia Nacional de Ciencia e Ingeniería de Alemania, con el fin de estructurar las condiciones iniciales de implementación y garantizar el futuro de la industria Alemana, siendo esta una de las industrias manufactureras más competitivas del mundo.

Industria 4.0, describe la digitalización de los sistemas y de los procesos industriales, y su interconexión mediante el Internet de las Cosas y el Internet de los Servicios, para conseguir una mayor flexibilidad e individualización de los procesos productivos. Está compuesta de tecnologías avanzadas, por lo que las soluciones son flexibles, inteligentes y totalmente autónomas.

Se puede decir también, que es una nueva visión de la fábrica del futuro o fábrica inteligente. Implica la transformación digital de la industria y de las empresas con la integración de las nuevas tecnologías disruptivas.

En la figura 2, esquemáticamente se presentan algunas de las principales tecnologías presentes en el entorno de la Industria 4.0.

Para describir el paradigma que representan las tecnologías en la industria 4.0, frecuentemente en la literatura se utilizan algunos términos particulares para definirla como: tecnologías disruptivas, tecnologías emergentes y tecnologías habilitadoras.

En el caso del concepto tecnología disruptiva, este fue utilizado por primera vez por Clayton M. Cristensen, profesor de la Universidad de Harvard, ahora considerado uno de los expertos mundiales en innovación y crecimiento en la publicación “Disruptive Technologies: Catching the Wave [12]”.

En el documento “Tecnologías disruptivas y sus efectos sobre la seguridad”, se encuentran algunas de las características de los fenómenos disruptivos: “Las innovaciones tecnológicas disruptivas no son evolutivas, ni lineales, e implican cambios revolucionarios, no son pequeñas mejoras sobre algo existente sino algo nuevo que deja como ineficiente o en desuso a lo anterior [13]”.

El documento citado, hace claridad de los términos: “tecnologías emergentes”, según los autores son tecnologías con un escaso nivel de madurez que ofrecen expectativas de futuro”.



Figura 2. Tecnologías presentes en la Industria 4.0. Fuente: [11].

Las "tecnologías convergentes", por su parte, son aquellas que tiene la posibilidad de crear sinergias con otras tecnologías pudiendo esta integración generar nuevas tecnologías transformando los modelos existentes y las "tecnologías habilitadoras" hacen referencia a la capacidad que estas propicien o permita la evolución o transformación.

Según Schwab, la cuarta Revolución Industrial implica la convergencia de tecnologías que están borrando las líneas entre las esferas de lo físico, lo digital y lo biológico. "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" [14].

En la actualidad, sigue siendo un reto establecer un estándar mundial para hacer posible la adopción de la industria 4.0 o la Industrial Internet of Things (IIOT).

Por el momento sobresalen dos arquitecturas de referencia para el IIOT. Por un lado, está la arquitectura RAMI 4.0 (Reference Architecture Model Industrie 4.0) y por el otro está el IIRA (Industrial Internet Reference Architecture).

RAMI 4.0. es desarrollada por la organización alemana I4.0 Plattform. En una de las ediciones de la feria de Hannover se presentó la norma DIN 91.345 que convierte a RAMI en estándar. El Standarization Council 4.0, ha extendido el modelo a la norma internacional IEC/PAS 63088.

IIRA es desarrollada por Estados Unidos mediante el IIC (Industrial Internet Consortium [15]). La arquitectura de Referencia puede ser consultada en el sitio web del IIC [16].

IIRA analiza IIOT en multitud de industrias, haciendo énfasis en aspectos comunes y de interoperabilidad. RAMI 4.0 se enfoca en la fabricación y en los ciclos de vida relacionados con la cadena de valor. Un punto común entre los dos modelos resulta ser la interoperabilidad, que debe existir entre los sistemas, independiente de la arquitectura en la que se desarrolle.

3. Tecnologías presentes en la Industria 4.0.

3.1. Internet de las Cosas - IOT

El concepto de Internet de las Cosas tiene su origen en el MIT, y "representa la próxima evolución de Internet. Dado que los seres humanos avanzan y evolucionan convirtiendo los datos en información, conocimiento y sabiduría, el IoT tiene el potencial de mejorar el mundo tal y como lo conocemos. Lo que tardemos en llegar depende de nosotros" [17].

IoT, según la publicación de Internet Society [18], se refiere a escenarios en donde la conectividad de la red y la capacidad de cómputo se extienden a objetos, sensores y artículos de uso diario que habitualmente no se consideran computadoras, es decir existe una interacción entre el mundo físico y biológico con los sistemas cibernéticos, permitiendo que estos dispositivos generen, intercambien y consuman datos con una mínima intervención humana. Sin embargo, no existe ninguna definición única y universal.

Distintos autores han pronosticado a qué velocidad crecerá la adopción de IOT, por ejemplo, CISCO ha proyectado para 2019, que cerca de 34 mil millones de dispositivos entre desktops, teléfonos inteligentes, tabletas, relojes inteligentes estarán conectados a la Internet.

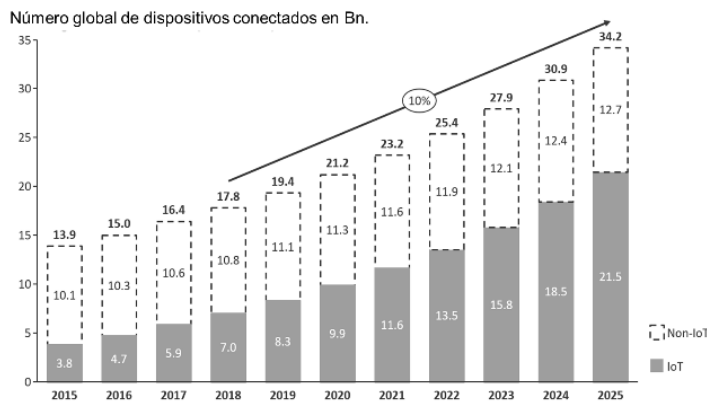


Figura 3. Crecimiento en el uso de dispositivos IOT. Fuente: IOT Analytics Research 2018.



Figura 4. Arquitectura para una solución IOT. Fuente: [20].

Este número equivale a un promedio de cuatro dispositivos en la red para cada individuo en el planeta, teniendo en cuenta que la población mundial actual, ya llega a 7,5 mil millones de personas.

El sitio web *iot-analytics* [19], muestra que el número de dispositivos conectados a la red en el año 2018 superó los 17 billones. Según la figura 3, la proporción de dispositivos IOT de 7 billones (no incluye a los teléfonos inteligentes, tabletas, computadoras portátiles o líneas telefónicas fijas), IOT incluye todos los dispositivos de consumo y dispositivos B2B conectados Non-IoT.

La arquitectura para una solución IOT (ver figura 20) está compuesta por:

La capa de percepción, *perception layer*: Es el nivel encargado de adquirir las propiedades y magnitudes físicas de los objetos (temperatura, humedad, ubicación, etc), mediante sensores y convertir la información en señales digitales para ser transmitidas por la red.

La capa de red, *network layer*: Es el nivel responsable de transmitir los datos adquiridos en la capa de percepción hasta el centro de procesamiento a través de varias redes como 3G, 4G, WiFi, Bluetooth, ZigBee y otras, implica la capacidad de comunicación entre distintos tipos de redes.

La capa de procesamiento, *processing layer*: Su objetivo es analizar, procesar y almacenar gran cantidad de datos recibidos de la capa de red. Aplicaciones tecnológicas en esta capa incluyen bases de datos, cloud computing, ubiquitous computing, procesado inteligente y masivo de datos.

La capa de aplicación, *application layer*: Se encarga de generar las aplicaciones en función del caso o industria en particular.

La capa de negocios, *bussiness layer*: Es el gestor de IOT, incluye la gestión de las aplicaciones y del negocio, la seguridad de los usuarios y la investigación del modelo de negocio.

Puede encontrarse una amplia compilación del estado actual de las arquitecturas de IOT, las tecnologías y las metodologías para su implementación en la publicación de Ray [21], donde incluye además referencias a escenarios de aplicación como: monitoreo de variables ambientales, agricultura, redes de sensores distribuidas, cadenas de suministro, cuidado de la salud, ciudades inteligentes y otros caos.

3.2. Sistemas Ciberfísicos (CPS)

Para el sitio web del Ptolemy Project [22], los sistemas CPS, vistos como disciplina de la ingeniería, están centrados en tecnologías con una base sólida de abstracciones matemáticas e informáticas, para modelar, simular y diseñar sistemas integrados concurrentes en tiempo real, o dicho de otra manera emplea modelos y métodos de distintos campos de la ingeniería, con los modelos y métodos de la informática.

El Consorcio de Sistemas Ciberfísicos Industriales (iCyPhy) de la Universidad de Berkeley, realiza investigación en CPS, con la convicción de que estos modelos y métodos no se combinan fácilmente y, en consecuencia, los CPS constituyen una nueva disciplina de ingeniería, que requiere sus propios modelos y métodos.

Los CPS, extraen detalles de aplicaciones específicas, buscando revelar los principios científicos y de ingeniería fundamentales que sustentan la integración de elementos físicos y cibernéticos en todos los campos.

El portal de iCyphy, permite consultar y realizar contribuciones a un mapa conceptual propuesto inicialmente por investigadores de la Universidad de Berkeley para describir los componentes y las interacciones en los CPS.

La investigación desarrollada en [23], describe las fuentes y los efectos de la complejidad de los CPS, se identifican las limitaciones actuales para hacer frente al futuro de estos sistemas, se presenta además un panorama de las limitaciones de las metodologías existentes.

La investigación reciente de Cardin [24], presenta un marco de análisis extenso para clasificar las aplicaciones de los CPPS (Cyber-Physical Production Systems), relacionados con características como el alcance de aplicación, el nivel de cognición, las HMI, los estándares de comunicación, los niveles y la distribución de inteligencia, identificando las principales tendencias y las perspectivas a futuro.

En [25], Guide to Cyber-Physical Systems Engineering, se describen casos de estudio de empresas Europeas que están utilizando CPS para reducir costos, mejorar la eficiencia de los productos y los servicios. Algunos de los ejemplos presentados en esta guía involucran moldeo por inyección de plástico, soldadura industrial, manufactura y producción, ambientes quirúrgicos, ciudades inteligentes, gestión del tráfico y otras.

3.3. Ciberseguridad

Para el Director del Centro de Ciberseguridad Industrial (CCI) José Valiente, la Ciberseguridad es el conjunto de prácticas, procesos y tecnologías, diseñadas para gestionar el riesgo del ciberespacio derivado del uso, procesamiento, almacenamiento y transmisión de información utilizada en las organizaciones e infraestructuras industriales, utilizando las perspectivas de personas, procesos y tecnologías [26].

Como se ha visto, las capacidades digitales en la Industria 4.0, traen ventajas sin precedentes, pero también presenta nuevos riesgos cibernéticos para los cuales la industria aún está en un nivel incipiente o con poco nivel de preparación. La ciberseguridad es un factor que debe ser considerado en todo el ciclo de vida de cualquier iniciativa impulsada por la Industria 4.0, debe formar parte de la cultura y de la estrategia de la organización.

En el artículo de Podins [27], se documentan tres casos de ataques cibernéticos: el ataque a la banca de los Estados Unidos en 2012, los ciberataques de 2007 contra Estonia y el ataque Stuxnet en 2012 contra Irán.

En este último caso, un gusano informático logró infectar por lo menos 14 industrias en Irán, incluyendo una planta de enriquecimiento de Uranio. El ataque en una primera fase se dirigió a los equipos y redes de Microsoft Windows replicándose en ellos, luego ingresa al software Siemens Step 7, usado para programar los sistemas de control industrial, hasta llegar a los controladores lógicos programables (PLC), encargados de controlar los equipos; de esta manera el gusano logró incluso provocar daños a las centrifugadoras de la planta.

En este sentido la ciberseguridad en la Industria 4.0, es un factor crucial. Para medir al avance y el trabajo en cuestiones relacionadas con la ciberseguridad en distintos países alrededor del mundo, es posible consultar el Índice Global de Seguridad Cibernética, (Global Cybersecurity Index GCI-2017).

El índice GCI es un proyecto apoyado por ABI Research y la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU). Este índice mide el compromiso de los 193 países miembros de la ITU, con la seguridad cibernética, buscando medir y evaluar el compromiso de los países en este campo, fomentar una cultura de la seguridad, el cierre de brechas y la adopción de estándares para aumentar la confianza y la seguridad en la sociedad de la información [28].

En el documento "Estudio sobre la Ciberseguridad en Colombia [29] ", realizado en los años 2017 y 2018, se presenta la evolución y tendencias en el uso e implementación de temas de ciberseguridad industrial en el país, producto de un estudio que contó con la participación de 35 organizaciones colombianas.

3.4. Cloud Computing – Edge Computing

3.4.1. Cloud Computing

El Instituto Nacional de Estándares y Tecnología NIST, define el Cloud Computing o la Computación en la Nube de la siguiente manera: “La computación en la nube es un modelo para permitir el acceso ubicuo, conveniente y bajo demanda a un conjunto compartido de recursos informáticos configurables (por ejemplo, redes, servidores, almacenamiento, aplicaciones y servicios) que pueden aprovisionarse y liberarse rápidamente con un mínimo esfuerzo de administración o interacción con los proveedor de servicios” [30].

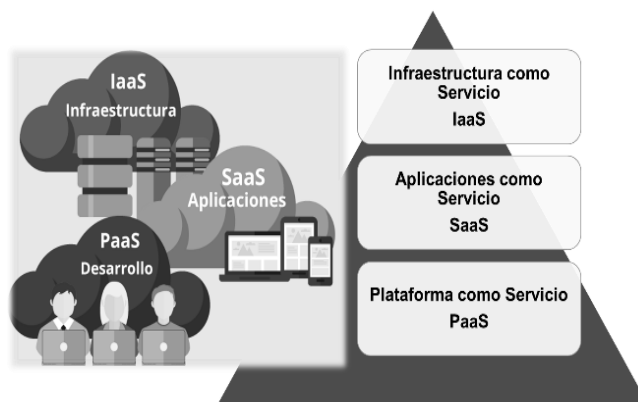


Figura 5. Modelos de Servicio Servicios Cloud Computing. Fuente: elaboración propia.

El estándar ISO/IEC 17788:2014 [31], proporciona definiciones de los términos comunes de computación en la nube, también especifica la terminología para los modelos de implementación en la nube, como "nube pública" y "privada", presenta diagramas y descripciones de cómo los diferentes aspectos de la computación en la nube se relacionan entre sí.

Respecto a los tipos de servicios en la nube que proveen distintas empresas, puede verse como un modelo de tres capas, como se muestra en la figura 5.

Los Servicios IaaS, PaaS y SaaS, se definen del siguiente modo [32]:

- IaaS, Infraestructure as a Service: Infraestructura como servicio. En este modelo, el Cloud Service Provider (CSP), brinda al usuario una infraestructura de recursos que incluyen capacidades de almacenamiento, sistemas operativos, procesamiento, energía, RAM, redes y otros recursos, para que el usuario pueda implementar y ejecutar sistemas operativos y aplicaciones.

Algunos ejemplos de proveedores de servicio de esta capa son: Amazon con Elastic Compute Cloud (Amazon EC2), Google Cloud Platform, Máquinas Virtuales de Azure, HP Cloud.

- PaaS - Plataform as a Service: Plataforma como Servicio.

Proporciona componentes de la nube al software, necesarios para la construcción y puesta en marcha de aplicaciones y servicios web completamente accesibles en Internet, sin la necesidad de configurar o administrar componentes de infraestructura. En esta capa el usuario no tiene el control de la capa de infraestructura de la nube, puede gestionar las aplicaciones allí alojadas con la posibilidad de adaptar su entorno y la configuración.

Proveedores de Servicios PaaS: Heroku, Google App Engine, Oracle Cloud Platform, Apache Stratos Cloud Foundry y Heroku.

- SaaS, Software as a Service: Software como servicio, ofrece aplicaciones basadas en la nube a un usuario a través de un navegador web o una interfaz de programa. Es el nivel más lejano del hardware, abstrae la plataforma (sistema operativo + software), para proporcionar sólo un servicio. SaaS, depende exclusivamente del servicio prestado, la forma de funcionamiento del modelo a través de la web, elimina la necesidad de instalar y ejecutar aplicaciones en los equipos locales.

Ejemplo de servicios SaaS: Office 365, Semrush, Asana, Salesforce, Pod de planificación, Dropbox, Google Apps.

3.4.2. Edge Computing

Las arquitecturas centralizadas en la nube son actualmente el modelo más extendido para el desarrollo de aplicaciones IIoT, en contraposición con la infraestructura cloud tradicional, Edge Computing ofrece un enfoque diferente de nube descentralizado, donde el procesamiento de los datos y el almacenamiento se realiza más cerca de los dispositivos IOT es decir, en "el borde de la red".

Edge Computing está diseñado para aplicaciones de IoT en tiempo real, se distingue por tres características, minimiza la latencia, mejora la fiabilidad de la red y brinda una mayor seguridad ya que los datos no están expuestos.

En [33], se encuentran en detalle las características de Edge Computing, las arquitecturas y el proceso para la implementación de este tipo de aplicaciones, así como casos de uso para aplicaciones tipo IIOT.

Se puede afirmar que Cloud Computing y Edge Computing son arquitecturas complementarias para el desarrollo de aplicaciones IIOT, sin embargo, para ciertas aplicaciones de IIOT, es preferible que el procesamiento se realice en el origen y no en la nube.

3.5. Blockchain

Blockchain es una tecnología, que traduce “cadena de bloques”, es considerada la segunda era del internet.

Según Tapscott [34], “Blockchain es un libro digital de transacciones económicas, el cual, se puede programar para registrar no sólo aquellas transacciones financieras, sino virtualmente todo lo que tiene valor”.

La primera aplicación conocida de blockchain, fue la criptomoneda Bitcoin en 2008, creada por Satoshi Nakamoto [35], cuya verdadera identidad aún es desconocida. La cadena de bloques es la tecnología subyacente detrás del bitcoin, hoy en día existen infinidad de aplicaciones que se están desarrollando tomando como base la tecnología blockchain.

Blockchain es en esencia una base de datos de registros digitales distribuidos, y compartidos entre las partes participantes, la información contenida está codificada mediante un proceso denominado criptografía [36], siendo completamente segura. Las transacciones ejecutadas en un determinado intervalo de tiempo, se agrupan en un bloque de información que se enlaza con otros bloques de información formando una cadena de bloques.

Para entender un poco más este concepto y sus capacidades, se presentan una serie de características que en su conjunto la hacen una tecnología especial tal como se describe a continuación:

- Es una tecnología distribuida: Una cadena de bloques, se duplica completamente en la red de computadores, ello implica que ninguna persona o institución pueda tener control sobre la información de la cadena de bloques. La edición de la cadena de bloques solo es posible en caso de que exista un consenso en la red de computadoras que almacenan versiones separadas pero idénticas de la cadena de bloques, es decir la información contenida en la cadena de bloques es inmutable.
- La criptografía: Implica que los datos que forman una cadena de bloques están codificados, en caso de pretender hacer modificaciones, es necesario estar en posesión de las claves privadas correspondientes al bloque o bloques correctos de la cadena.

- Cada bloque de la cadena contiene el paquete de transacciones y dos códigos, uno que indica cuál es el bloque anterior, y otro para el bloque que le sigue, es decir, forman una cadena por lo que se llaman códigos o apuntadores hash.

- Cada bloque representa una cantidad de registros transaccionales, y el componente cadena los vincula a todos mediante una función hash. A medida que se crean registros, éstos se confirman mediante una red distribuida de computadoras, y se emparejan con la entrada anterior de la cadena, creando así una cadena de bloques o “blockchain”.

- Transparencia: por su naturaleza pública, significa que cualquier persona que quiera monitorear la red blockchain, puede evidenciar los cambios en el archivo, incluso si no tiene permiso para editarlo, o acceder a todos los datos que contiene en su forma no encriptada.

- Cronología: Tiene una marca de tiempo que registra exactamente el momento en que se crea o edita la información y las almacena.

- Descentralización: ninguna parte tiene control sobre la información que ingresa.

La figura 6, ilustra la forma como se realiza una transacción de bitcoin dentro de una red blockchain, de manera análoga se puede entender la operación de cualquier activo sobre la red blockchain, ya que la tecnología es aplicable a cualquier tipo de transacción digital de activos.

Zheng Zibin [38], y otros, presentan en su artículo una descripción de la arquitectura de la cadena de bloques, las principales características, los algoritmos de consenso y algunas posibles aplicaciones a futuro de la tecnología.

En [39], se hace una revisión de las ventajas y retos que surgen al utilizar la tecnología blockchain y los contratos inteligentes para desarrollar aplicaciones en la Industria 4.0, además de una exhaustiva revisión de aplicaciones relevantes, que incluyen CPPS, Big Data, Realidad Virtual, Robótica y Vehículos Autónomos, Cloud y Edge Computing, Manufactura Aditiva y otros.

Los algoritmos de consenso son el núcleo fundamental de todas las redes blockchain, debido a que son los responsables de mantener la integridad y seguridad de estos, siendo el mecanismo a través del cual una red blockchain alcanza el consenso.

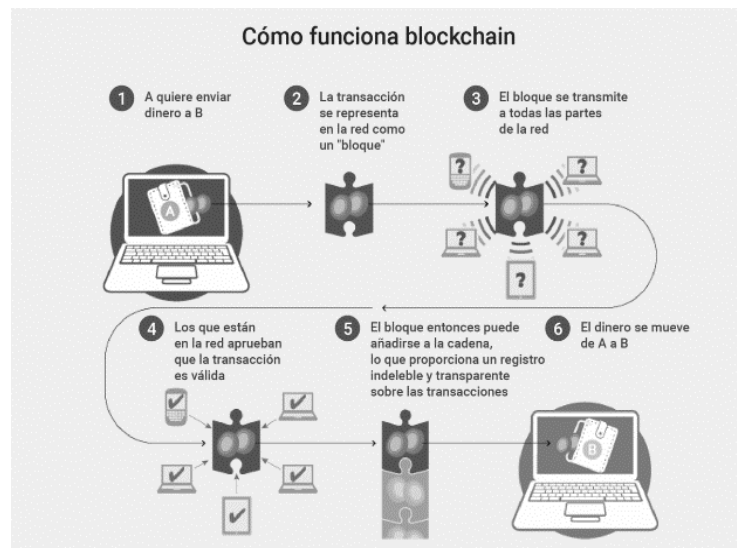


Figura 6. Transacción de bitcoin en una red blockchain Fuente: [37].

En [40], se puede encontrar un análisis de los algoritmos de consenso más utilizados: Proof-of-work (PoW), Proof-of-elapsed-time (PoET), Proof-of-stake (PoS), Byzantine Fault Tolerance (BFT), Federated Byzantine Agreement (FBA), adicional a estos se ofrece un comparativo de las plataformas blockchain que satisfacen los requisitos para aplicaciones IIOT.

3.6. Inteligencia artificial

La inteligencia Artificial, es una rama del conocimiento de naturaleza multidisciplinar, involucra campos como las ciencias de la computación y de la información, la lógica, la matemática, la estadística, la biología, la psicología, la filosofía, la lingüística y otras áreas.

En la figura 7, se presentan algunas de las subáreas relevantes de la inteligencia artificial.

En sinergia con tecnologías avanzadas, busca que los equipos informáticos y distintos dispositivos tecnológicos, realicen tareas que normalmente requerirían inteligencia humana, como por ejemplo las capacidades de aprender, razonar, resolver problemas, la percepción visual, el reconocimiento de voz, la toma de decisiones y la traducción de idiomas. En conclusión, la IA involucra los sistemas que tienen la capacidad de emular el comportamiento humano inteligente.

La IA, en la actualidad está siendo aplicada para plantear y resolver un gran número de problemas en áreas de investigación y de la industria. En [42], se expone cómo

la IA, puede impulsar 16 sectores empresariales de 12 economías diferentes.

En 1950, el matemático inglés Alan Turing, publicó un artículo titulado "Computing Machinery and Intelligence [43]", este trabajo abrió las puertas al campo que años adelante se denominaría Inteligencia Artificial. El trabajo de Turing inicia con la pregunta, "¿Pueden las máquinas pensar?", posteriormente propone un método para evaluar el nivel de inteligencia de una máquina, que se conoce como la prueba de Turing.

John McCarthy, conocido como uno de los pioneros de la Inteligencia Artificial, empleó el término por primera vez, en un trabajo para la Conferencia de Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence en 1956, la primera conferencia de inteligencia artificial, y la definió como "la ciencia y la ingeniería de hacer máquinas inteligentes [44]".

En [45], puede consultarse una revisión de diferentes conceptos de inteligencia artificial y aprendizaje automático.

Dentro de las principales técnicas que comprende la IA, se puede resaltar: las Redes Neuronales Artificiales (Artificial Neural Networks) [46], [47], el Procesamiento del Lenguaje Natural (Natural Language Processing NLP [48]), la Ingeniería del Conocimiento (Knowledge Based Systems [49]), los Sistemas Expertos (Expert Systems [50]), los Algoritmos Evolutivos (Evolutionary Algorithms [51]), la Lógica Difusa (Fuzzy Logic [52]), Deep Learning [53] y otros.

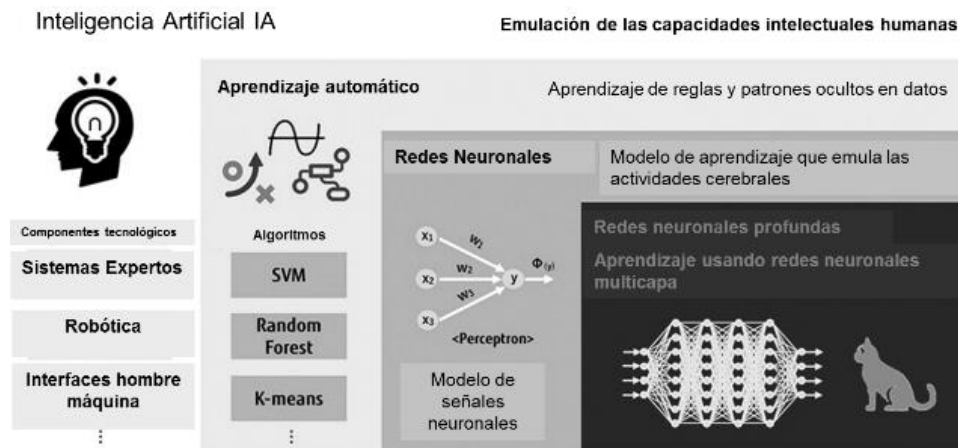


Figura 7. Inteligencia artificial y subcampos. Fuente: [41].

El trabajo expuesto en [54], presenta el origen de la IA, y explica cómo ha evolucionado en los últimos 60 años, incluyendo los subcampos relacionados con ML, DL, Hardware para AI, software para AI, Robótica para AI, concluyendo con unas apreciaciones del impacto ético y legal de la IA en nuestras vidas.

Dos de las tecnologías de mayor impacto en épocas recientes son: el Machine Learning y el Deep Learning, a continuación, se explicará brevemente el alcance de cada una de ellas.

3.6.1 Machine Learning o aprendizaje automático

El ML, es un subconjunto de la IA. En 1959, Arthur Samuel, uno de los pioneros del aprendizaje automático, definió el aprendizaje automático como un “campo de estudio que le da a las computadoras la capacidad de aprender sin ser programado explícitamente [55].

El ML utiliza datos para alimentar un algoritmo que sea capaz de comprender la relación entre la entrada y la salida del sistema bajo estudio, para obtener conocimiento de los datos recopilados, utiliza algoritmos para la predicción, clasificación y generación de conocimiento.

Las aplicaciones que pueden desarrollarse a partir de Técnicas de Machine Learning son extensas, según la revista Forbes, algunas de las principales aplicaciones y usos de mayor frecuencia en el momento son: seguridad de datos, control de seguridad en aeropuertos, realizar predicciones e inversiones en el mercado bursátil, aplicaciones de diagnóstico médico asistidas por computador, marketing personalizado donde los sistemas son capaces de realizar recomendaciones para los compradores aprendiendo del usuario, así como lo hace Amazon, detección de fraudes en tarjetas de crédito y

blanqueo de dinero, motores de búsqueda, procesamiento de lenguaje natural, con lo que se consigue sustituir por ejemplo a los empleados de atención al cliente por un asistente virtual, vehículos inteligentes o autónomos que aprenden de su propietario y del entorno, son estos el futuro de la industria automotriz.

3.6.2 Deep Learning

El aprendizaje profundo es un subconjunto del aprendizaje automático, generalmente hace uso de redes neuronales artificiales, y se denomina profundo porque utiliza redes neuronales profundas. La profundidad del modelo está representada por el número de capas en el modelo.

Cada capa utiliza como entrada el resultado o salida de la capa anterior, utilizando algoritmos de tipo supervisado (los datos usados para el entrenamiento incluyen la solución deseada) y no supervisado. En el caso del análisis de patrones el aprendizaje es no supervisado y en el caso de problemas de clasificación el algoritmo de aprendizaje es supervisado.

En la figura 8, el lector puede observar la estructura convencional de una red neuronal, versus la arquitectura y complejidad de lo que podría ser una red neuronal profunda.

Según [57], los algoritmos de aprendizaje automático más antiguos presentan un punto de saturación con relación a la cantidad de datos, como se muestra en la figura 9, quiere decir esto que tienen un límite máximo para extraer la información, todo lo contrario, al DL, ya que está diseñado para trabajar con un gran volumen de datos.

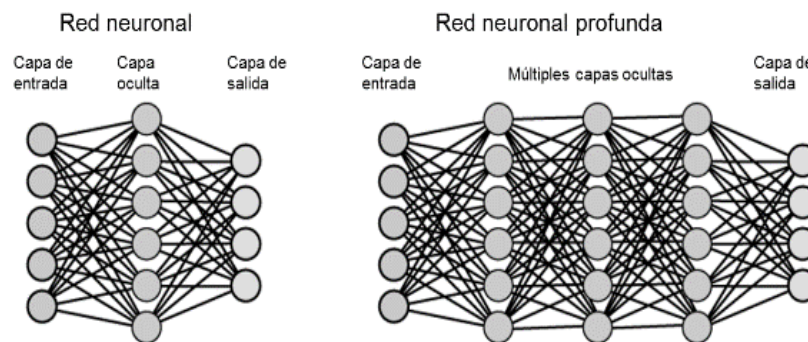


Figura 8. Red neuronal convencional y una red neuronal profunda. Fuente: [56].

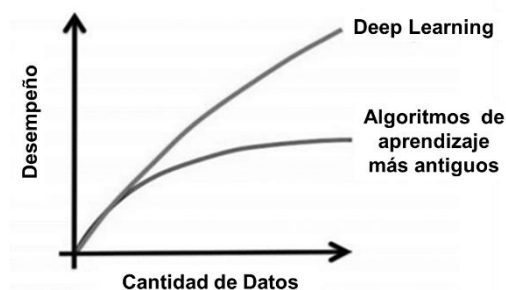


Figura 9. Comparación del DL, con otros algoritmos relativos a la cantidad de datos.

3.6.3 Inteligencia Artificial Industrial

Los documentos [60] y [61], proporcionan un panorama de IA industrial, además definen estructuras para IA, las metodologías y los desafíos a los que se enfrenta la industria en el desarrollo e implementación de este tipo de aplicaciones.

En [62], se presenta una discusión asociada a la sinergia entre IOT y AI, con enfoque en aplicaciones de robótica y automatización industrial. Adicional a los temas expuestos en este trabajo, se definen conceptos como: IoRT (Internet of Robotic Things), IAIoT (Industrial Automation IoT).

Se deja abierto al lector la exploración de otras tecnologías presentes en la industria 4.0 como: la Realidad Aumentada, la Fabricación Aditiva, la Robótica Colaborativa, los Sistemas Autónomos, RFID, Fábricas y Máquinas Inteligentes (Smart Factories y Smart Machines) entre muchas otras.

4. Big Data

Respecto a la alta cantidad de datos que se procesan hoy en día en distintas aplicaciones, dispositivos y sistemas, vale la pena adicionar el concepto relacionado con la

tecnología que hace posible el tratamiento y procesamiento de información con estas características Big Data.

Hace referencia a las soluciones de hardware y software que permiten capturar, almacenar y organizar el acceso a conjuntos de datos tan grandes donde los medios tradicionales de procesamiento de datos son insuficientes. El problema ha pasado de recopilar grandes cantidades de datos a la capacidad tecnológica para almacenarlos y comprenderlos, convirtiéndolos en conocimiento.

En [58], se presentan metodologías y tecnologías para el procesado y análisis en tiempo real de fuentes de datos masivas de naturaleza heterogénea, en distintos escenarios de aplicación del llamado Big Data Industrial.

Big Data generalmente se describe en cinco dimensiones que lo caracterizan, conocidas como las 5 V de Big Data, como muestra la Figura 10. Estas características se enumeran brevemente a continuación.

Volumen: Gran cantidad de información, difícil de procesar con los medios tradicionales.

Variabilidad: La variabilidad se refiere a datos cuyo significado cambia continuamente. Las organizaciones necesitan desarrollar algoritmos sofisticados que puedan 'entender' el contexto y decodificar el significado preciso de los datos.

Veracidad: las organizaciones deben asegurarse de que los datos que se recopilan sean válidos, los datos pueden ser incompletos o incorrectos.

Velocidad: los datos se generan y almacenan a una velocidad sin precedentes.

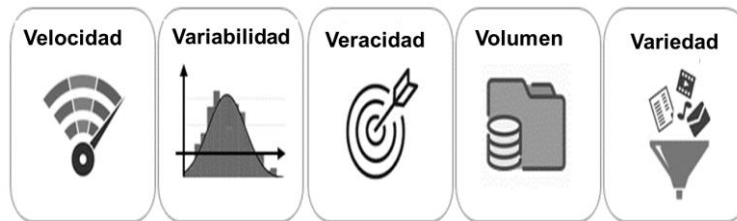


Figura 10. Las 5 Vs of Big Data. Fuente: elaboración propia.

Variedad: los datos provienen de múltiples fuentes, dispositivos, herramientas y plataformas, pueden ser estructurados o no estructurados.

Otras V's definidas en el campo de Big Data, pueden ser consultadas en [59].

5. Conclusiones

Se ha evidenciado que un factor determinante que ha marcado las revoluciones industriales es la innovación, la velocidad en la irrupción de cambios tecnológicos, se vislumbra además que los alcances de las tecnologías actuales no tienen precedentes.

El trabajo que le corresponde a cada sector de la sociedad será desarrollar un análisis crítico de los impactos tanto positivos como negativos que trae la industria 4.0, visto desde diferentes frentes, (en lo económico, lo social, el medio ambiente, etc.), y en la capacidad de adaptarse a estos cambios, con la premisa de elevar como seres humanos nuestra calidad de vida.

La era de la digitalización trae repercusiones no solo a nivel industrial, sino que afecta nuestras formas y modos de vida, la forma en que trabajamos y la forma en la que nos relacionamos.

Referencias

[1] J. Chaves-Palacios, "Desarrollo tecnológico en la primera revolución industrial," *Revista de Historia*, vol. 17, pp. 93-109, 2004.

[2] A. Baracca, "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*, vol. 25, no. 53, pp. 285-325, 2002.

[3] S. Mclellan, "Universidad 4.0: ¿el Reino Unido está haciendo lo suficiente para preparar a los estudiantes para la cuarta revolución industrial?," 3-abril-2018.

[Publicación en un blog]. Disponible en: <http://blogs.brighton.ac.uk/thedigitalrevolution/2018/04/03/uk-preparing-students-fourth-industrial-revolution/>

[4] R. Barazarte, "La Batalla de las Corrientes: Edison, Tesla y el nacimiento del sistema de potencia," *Revista Prisma Tecnológico*, vol. 4, no. 1, pp. 51-53, 2016.

[5] U. Shrinivasa, "The evolution of diesel engines," *Resonance*, vol. 17, pp. 365-377, 2012. doi: 10.1007/s12045-012-0038-3

[6] L. Muzzioli, "La obra científico-técnica de Guillermo Marconi. Conmemoración del cincuentenario de la primera transmisión inalámbrica entre Europa y América, 1901-1951," *Revista Atenea*, 1952

[7] C. Osgood, "Cómo los hermanos Wright realizaron el primer vuelo propulsado," *Ciencia y Cultura*, 2005. [En línea]. Disponible en: <https://21sci-tech.com/reir/Wright.pdf>

[8] Mínguez Emilio. "Lección Inaugural, La importancia de la energía en las revoluciones industriales," 17-septiembre-2015, [Apuntes de clase]. Disponible en: <http://www.upm.es/sfs/Rectorado/Gabinete%20del%20Rector/Notas%20de%20Prensa/2015/09/documentos/Lecccioninaugural.pdf>.

[9] "Feria comercial líder mundial para la industria," Hannover Messe, 2011. [En línea]. Disponible en: <https://www.hannovermesse.de/>

[10] Industrie 4.0 Working Group, "Securing the future of German manufacturing industry. Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0," Federal Ministry of Education and Research, Berlin, 2013. [En línea]. Disponible en: <https://www.din.de/blob/76902/e8cac883f42bf28536e7e8165993f1fd/recommendations-for-implementing-industry-4-0-data.pdf>.

[11] M. Saturno, V. Moura Pertel, F. Deschamps, and E. De Freitas Rocha Loures, "Proposal of an automation

- solutions architecture for Industry 4.0,” *Destech Trans. Eng. Technol. Res.*, Mar. 2017. doi: 10.12783/dtetr/icpr2017/17675
- [12] J. L. Bower, C. M. Christensen, "Disruptive Technologies: Catching the Wave," *Harvard Business Review*, vol. 73, no. 1, pp. 43-53, 1995.
- [13] Centro Superior de Estudios de la Defensa Nacional, "Tecnologías disruptivas y sus efectos sobre la seguridad," Fuerzas Armadas Españolas, 2015. [En línea]. Disponible en: http://www.ieee.es/Galerias/fichero/docs_trabajo/2015/DIEEET12-2015_Tecnologias_Disruptivas_EfectosSeguridad.pdf
- [14] K. Schwab, *La cuarta revolución industrial*. España: Editorial Debate. 2016.
- [15] "Member directory," *Industrial Internet Consortium*, 2019. [En línea]. Disponible en: <http://www.iiconsortium.org>
- [16] "Industrial Internet Reference Architecture," *Industrial Internet Consortium*, 2015. [En línea]. Disponible en: <https://www.iiconsortium.org/IIRA-1-7-ajs.pdf>
- [17] Dave Evans. Internet of Things. La próxima evolución de Internet lo está cambiando todo. Informe Técnico. CISCO. 2011.
- [18] Karen Rose, Scott Eldridge y Lyman Chapin. La internet de las cosas. Una breve Reseña. Internet Society, octubre de 2015.
- [19] "Dispositivos conectados a la red en el año 2018" IOT Analytics, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://iot-analytics.com/>
- [20] Miao Wu, Ting-Jie Lu, Fei-Yang Ling, Jing Sun, Hui-Ying Du, "Research on the architecture of Internet of Things," *3rd International Conference on Advanced Computer Theory and Engineering (ICACTE)*, Chengdu, 2010. doi: 10.1109/ICACTE.2010.5579493
- [21] P. P. Ray, "A survey on Internet of Things architectures," *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, vol. 30, no. 3, pp. 291-319, 2016. doi: 10.1016/j.jksuci.2016.10.003
- [22] "Sistemas CPS," *Centro de sistemas ciberfísicos industriales*. [En línea]. Disponible en: <https://ptolemy.berkeley.edu/projects/icyphy/index.html>.
- [23] M. Törngren, P. T. Grogan, "How to Deal with the Complexity of Future Cyber-Physical Systems?," *Journal Designs*, 2018. doi: 10.3390/designs2040040
- [24] O. Cardin, "Classification of cyber-physical production systems applications: Proposition of an analysis framework," *Computers in Industry*, vol. 104, pp. 11-21, 2019. doi: 10.1016/j.compind.2018.10.002
- [25] Guide to Cyber-Physical Systems Engineering. European Union's Horizon 2020. Research and Innovation Programme under Grant Agreement No. 644164, 2016.
- [26] Centro de Ciberseguridad Industrial CCI. [En línea]. Disponible en: <https://www.cci-es.org/>
- [27] E. Iasiello, "Cyber-attack: A Dull Tool to shape Foreign Policy," *5th International Conference on Cyber Conflict*, Tallinn, 2013, pp. 1-18.
- [28] International Telecommunication Union, *Global Cybersecurity Index (GCI)*. Suiza, 2017. [En línea]. Disponible en: https://www.itu.int/dms_pub/itu-d/opb/str/D-STR-GCI.01-2017-R1-PDF-E.pdf
- [29] S. Asensio, M. García, J. Valiente, D. Zuluaga, "Estudio sobre la Ciberseguridad en Colombia," Centro de Ciberseguridad Industrial, 2018. [En línea]. Disponible en: <https://fedetec.org/wp-content/uploads/2019/06/Ciberseguridad-Industrial-en-Colombia-2018.pdf>
- [30] P. Mell, T. Grance, "The NIST Definition of Cloud Computing," *National Institute of Standards and Technology*. NIST Special Publication 800-145, 2011. [En línea]. Disponible en: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/SP/nistspecialpublication800-145.pdf>
- [31] ISO Standards, "Information technology - Cloud computing - Overview and vocabulary," ISO/IEC 17788:2014, 2014.
- [32] "Modelos de computación en la nube," *TatvaSoft*, 2014. [En línea]. Disponible en: <https://www.tatvasoft.com/blog/cloud-computing-models/>.
- [33] "Introduction to Edge Computing in IIOT. An Industrial Internet Consortium White Paper," Edge Computing Task Group, 2018. [En línea]. Disponible en: https://www.iiconsortium.org/pdf/Introduction_to_Edge_Computing_in_IIoT_2018-06-18.pdf

- [34] D. Tapscott y A. Tapscott, *Blockchain Revolution: How the Technology Behind Bitcoin Is Changing Money, Business, and the World*. Penguin Publishing Group, 2016.
- [35] S. Nakamoto, "Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System," 2008. [En línea]. Disponible en: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>
- [36] S. Zhai et al. "Research on the Application of Cryptography on the Blockchain," *J. Phys.: Conf. Ser.* 1168 032077, 2019. doi: 10.1088/1742-6596/1168/3/032077
- [37] M. Crosby, Nachiappan, P. Pattanayak, S. Verma, V. Kalynaraman, "BlockChain Technology: Beyond Bitcoin," *AIR. Applied Innovation Review*, no. 2, 2016.
- [38] Z. Zheng, S. Xie, H. Dai, X. Chen, H. Wang, "Una descripción general de la tecnología Blockchain: arquitectura, consenso y tendencias futuras," *Congreso Internacional IEEE sobre Big Data (Congreso BigData)*, 557-564, 2017. doi: 10.1109 / BigDataCongress.2017.85
- [39] P. Fraga-lamas, "A Review on Blockchain Technologies for an Advanced and Cyber-Resilient Automotive Industry," *IEEE Access*, vol. 7, 2019. doi: 10.1109/ACCESS.2019.2895302
- [40] N. Teslya, I. Ryabchikov, "Blockchain Platforms Overview for Industrial IoT Purposes," *22nd Conference of Open Innovations Association (FRUCT)*, Jyvaskyla, pp. 250-256, 2018.
- [41] "Overview of Deep Learning—The Frontier of Machine Learning Methods and the Core of AI," *Fujitsu Journal*, 2018. [En línea]. Disponible en: <https://journal.jp.fujitsu.com/en/2018/11/29/01/>
- [42] "Cómo la Inteligencia Artificial impulsa los beneficios y la innovación en la industria," Accenture, 2017. [En línea]. Disponible en: https://www.accenture.com/_acnmedia/pdf-57/accenture-ia-impulsa-los-beneficios-y-la-innovaci%C3%B3n-en-la-industria.pdf
- [43] A. M. Turing, "Computing Machinery and Intelligence," *Oxford University Press on behalf of the Mind Association*, vol. 59, no. 236, pp. 433-460, 1950.
- [44] V. Rajaraman, "John McCarthy - Father of Artificial Intelligence," *Resonance*, vol. 19, pp. 108-207, 2014. doi: 10.1007/s12045-014-0027-9
- [45] M. Rupali, P. Amit, "A Review Paper on General Concepts of Artificial Intelligence and Machine Learning," *International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology*, vol. 4, Special Issue 4, pp. 79-82, 2017. doi: 10.17148/IARJSET/NCIARCSE.2017.22
- [46] J. Heikkonen, J. Lampinen, "Building Industrial Applications with Neural Networks," *Proceedings of European Symposium on Intelligent Techniques (ESIT'99)*, Chania, Greece, 1999.
- [47] S. Kenji, *Artificial Neural Networks - Industrial and Control Engineering Applications*. InTechOpen, 2011. doi: 10.5772 / 2041
- [48] S. Quarteroni, "Natural Language Processing for Industry," *Informatik-Spektrum*, vol. 41, no. 2, pp. 105–112, Apr. 2018. doi: 10.1007/s00287-018-1094-1
- [49] C. Toro, I. Barandiaran, and J. Posada, "A Perspective on Knowledge Based and Intelligent Systems Implementation in Industrie 4.0," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 60, pp. 362–370, 2015. doi: 10.1016/j.procs.2015.08.143
- [50] C. F. Tan, L. S. Wahidin, S. N. Khalil, N. Tamaldin, J. Hu, G.W. M. Rauterberg, "The application of expert system: A review of research and applications," *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, vol. 11, no. 4, 2016.
- [51] P. A. Vikhar, "Evolutionary algorithms: A critical review and its future prospects," *International Conference on Global Trends in Signal Processing, Information Computing and Communication (ICGTSPICC)*, Jalgaon, 2016, pp. 261-265. doi: 10.1109/ICGTSPICC.2016.7955308
- [52] P. Pallavi, "Comprehensive Review on Fuzzy Logic System," *International Journal of Engineering and Computer Science*, vol. 3, no. 11, 2014. doi: 103.53.42.157/index.php/ijecs/article/view/2380
- [53] J. Wang, Y. Ma, L. Zhang, R. X. Gao, D. Wu, "Deep learning for smart manufacturing: Methods and applications," *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 48, pp. 144–156, 2018. doi: 10.1016/j.jmsy.2018.01.003
- [54] J. A. Perez, F. Deligianni, D. Ravi, and G.-Z. Yang, "Artificial Intelligence and Machine Learning Artificial Intelligence and Robotics," *UK-RAS White Papers*, 2017.

[55] G. Wiederhold and J. McCarthy, “Arthur Samuel: pioneer in machine learning,” *IBM J. Res. Dev.*, vol. 36, no. 3, pp. 328–328, 1992. doi: 10.1147/rd.363.0328

[56] A Waldrop, M. Mitchell, “News Feature: What are the limits of deep learning?,” *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 116, no. 4, pp. 1074-1077, 2019. doi: 10.1073/pnas.1821594116, 2019.

[57] E. Chagas, “Aprendizaje profundo y sus aplicaciones hoy,” *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento*, vol. 4, no. 5, pp. 5-26, 2019.

[58] J. Wang, W. Zhang, Y. Shi, S. Duan, and J. Liu, “Industrial Big Data Analytics: Challenges, Methodologies, and Applications.,” CoRR. 2016..

[59] A. Panimalar, V. Shree, V. Katherine, “The 17 V’s of Big Data. Internationa,” *Reserach Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, vol. 4, no. 9, pp. 329-333, 2017.

[60] J. Lee, H. Davari, J. Singh, V. Pandhare, “Industrial Artificial Intelligence for industry 4.0-based manufacturing systems,” *Manuf. Lett.*, vol. 18, pp. 20–23, 2018. doi: 10.1016/j.mfglet.2018.09.002

[61] S. Charrington, “Artificial Intelligence for Industrial Applications,” Cloudpulse Strategias, 2017. [En línea]. Disponible en: https://uploads-ssl.webflow.com/5a6a107a0a6e6500019f9a5d/5bd87cc016e1ea3efb5c4420_CloudPulse_Industrial_AI_Report_2017062301.pdf

[62] P. Simoens, M. Dragone, and A. Saffiotti, “The Internet of Robotic Things,” *Int. J. Adv. Robot. Syst.*, vol. 15, no. 1, p. 172988141875942, 2018. doi: 10.1177/1729881418759424