



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Escuela Politécnica Superior (Jaén)

Trabajo Fin de Grado

LA TECNOLOGÍA BLOCKCHAIN EN LA INDUSTRIA 4.0

Alumno: Francisco José Navidad Vidal

Tutor: Gustavo Medina Sánchez
Dpto: Ingeniería Mecánica y Minera

Septiembre, 2021



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Escuela Politécnica Superior

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

La Tecnología Blockchain **en la Industria 4.0**

Autor: Francisco José Navidad Vidal



PALABRAS CLAVE

Blockchain, Industria 4.0, fabricación inteligente, Internet Industrial de las cosas, contrato inteligente.

RESUMEN

El presente Trabajo Fin de Grado consiste en una revisión bibliográfica de la tecnología conocida como Blockchain, de gran actualidad, y que día a día por el desarrollo tecnológico, va teniendo más importancia y por tanto más aplicaciones en la Industria 4.0.

En primer lugar se hará una introducción del trabajo, donde se expondrá el contexto del trabajo y se explicarán los conceptos fundamentales relacionados con la Industria 4.0 y sus tecnologías asociadas.

Seguidamente se hará una exposición minuciosa del Blockchain y todo lo asociado a ello, desde su explicación, tipos y origen, hasta llegar a las aplicaciones más importantes que tiene hoy en día.

La última parte del trabajo consiste en el estudio de las distintas manifestaciones que tiene el Blockchain en la Industria actual, exponiendo cuáles son sus campos de aplicación más importantes y enumerando algunos ejemplos que se dan en la actualidad.



KEYWORDS

Blockchain, Industry 4.0, smart manufacturing, Industrial Internet of things, smart contract.

ABSTRACT

This Degree's Dissertation consists of a bibliographic review of the technology known as Blockchain, which is highly current, and that day by day due to technological development, is having more importance and therefore more applications in Industry 4.0.

First, there will be an introduction to the work, where the context of the work will be exposed and the fundamental concepts related to Industry 4.0 and its associated technologies will be explained.

Next, there will be a detailed presentation of the Blockchain and everything associated with it, from its explanation, types and origin, to the most important applications it has today.

The last part of the work consists of the study of the different manifestations that the Blockchain has in the current Industry, exposing which are its most important fields of application and listing some examples that are currently given.



ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	8
1. Objeto del trabajo	10
2. Justificación.....	11
3. Antecedentes	12
3.1 De la revolución industrial a la industria 4.0.....	12
3.2 Tecnologías 4.0	16
3.2.1 Internet de las cosas	16
3.2.2 Big Data	17
3.2.3 Inteligencia artificial.....	18
3.2.4 Computación en la nube	19
3.2.5 Blockchain	20
3.2.6 Sistemas de fabricación inteligentes	20
BLOCKCHAIN. MARCO CONCEPTUAL	23
1. Origen del Blockchain.....	25
2. ¿Qué es el Blockchain?	27
2.1 Los elementos básicos de la Blockchain	28
2.2 Tipos de Blockchain.....	30
3. Aplicaciones	32
3.1 Aplicaciones financieras	32
3.1.1 Criptomonedas.....	32
3.1.2 Operaciones financieras	33
3.1.3 Seguros	34
3.2 Aplicaciones no financieras	34
3.2.1 Notaría.....	34
3.2.2 Identidad digital y existencia real de documentos	
34	
3.2.3 Votación electrónica.....	36



3.2.4 Almacenamiento descentralizado	37
3.2.5 Internet de las cosas descentralizado	38
3.2.6 Industria artística.....	38
3.2.7 Sanidad.....	39
3.2.8 Administración pública	40
3.2.9 Smart city.....	41
BLOCKCHAIN EN LA INDUSTRIA 4.0	43
1. La tecnología Blockchain en la Industria 4.0.....	45
2. Logística	46
3. Fabricación.....	52
4. Identidades digitales.....	56
5. Seguridad y antifalsificación	59
6. Energía.....	62
CONCLUSIONES, DESARROLLOS FUTUROS Y BIBLIOGRAFÍA.....	64
1. Conclusiones del Trabajo Fin de Grado.....	65
2. Desarrollos futuros	66
3. Bibliografía	67



ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Evolución histórica de la industria.....	13
Ilustración 2: Industria 4.0.....	14
Ilustración 3: Big data	18
Ilustración 4: Inteligencia artificial	19
Ilustración 5: Fábrica inteligente	22
Ilustración 6: Cadena de bloques para el registro de transacciones (Nakamoto, 2008).....	27
Ilustración 7: Modelo de red centralizada y de red descentralizada (Preukschat, 2016)	29
Ilustración 8: Representación gráfica de criptomonedas.....	32
Ilustración 9: Identidad digital	35
Ilustración 10: Smart city	41
Ilustración 11: Cadena de suministro.....	46
Ilustración 12: Ejemplo de Blockchain en Industria de la alimentación	50
Ilustración 13: Fabricación aditiva.....	53
Ilustración 14: Relación con proveedores tradicional y con Blockchain.....	57
Ilustración 15: Representación gráfica de contrato inteligente	58
Ilustración 16: Logo SAMPL	60
Ilustración 17: Red eléctrica inteligente	62

INTRODUCCIÓN

La tecnología Blockchain en la Industria 4.0

Francisco José Navidad Vidal

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Escuela Politécnica Superior



ÍNDICE INTRODUCCIÓN

1.	Objeto del trabajo	10
2.	Justificación	11
3.	Antecedentes	12
3.1.	De la revolución industrial a la industria 4.0.....	12
3.2.	Tecnologías 4.0	16
3.2.1.	Internet de las cosas	16
3.2.2.	Big Data	17
3.2.3.	Inteligencia artificial.....	18
3.2.4.	Computación en la nube	19
3.2.5.	Blockchain	20
3.2.6.	Sistemas de fabricación inteligentes	20



1. Objeto del trabajo

El presente trabajo se redacta para el Departamento de Ingeniería Mecánica y Minera de la Escuela Politécnica Superior de Jaén, como trabajo teórico llamado “La tecnología Blockchain en la Industria 4.0” y servible como Trabajo Fin de Grado para la obtención del Título de Grado en Ingeniería Mecánica.

Este trabajo se trata de una revisión bibliográfica y por tanto tiene como objeto realizar una investigación documental. Para realizar dicha pesquisa, como fase inicial, se recopilará información de multitud de fuentes como libros, revistas, artículos científicos, trabajos de investigación, etc. Tras estudiar y analizar dicha información se plasmará en este estudio la más relevante en coherencia con el tema propuesto.

En una primera parte, de carácter introductorio, se enunciarán las justificaciones y motivaciones para la realización de dicho trabajo así como los antecedentes de uso y aplicación la tecnología Blockchain. Luego se hará una revisión del estado del arte o visión sobre el estado del tema en la actualidad. Se expondrán las distintas aplicaciones prácticas de dicha tecnología centrándonos en las utilizadas para la industria 4.0. Como última parte del trabajo se explicarán las posibles aplicaciones futuras y la evolución de la tecnología, acabando con las conclusiones extraídas tras la realización del mismo

El objetivo final de este trabajo será el compendio de la información más notoria, resumiéndola de manera que se establezcan relaciones y comparaciones entre las distintas fuentes encontradas para llegar finalmente a unas conclusiones del tema en cuestión, lo más crítico y sobresaliente posible.



2. Justificación

Con el presente desarrollo de nuevas tecnologías como el Big Data, el Internet de las cosas, la Inteligencia Artificial, el Blockchain, etc. que están día a día incorporándose a la vida humana en todos sus aspectos, desde el social hasta el laboral surge la motivación para la elaboración de este trabajo. El fin es estudiar el impacto de dicha digitalización en la industria y el grado de implantación de estas nuevas tecnologías 4.0, centrándonos en la tecnología Blockchain, que hay en los sectores industriales en la actualidad.

La industria 4.0 se resume con el concepto de internet de las cosas. Se argumenta que este cambio podría llegar a ser la cuarta revolución industrial, puesto que se refiere a un sistema completo que contribuye a mejorar y fortalecer una empresa gracias a unos sistemas renovados (Peralta-Abarca et al., 2021).

Pero dicha cuarta revolución choca a menudo con el muro tecnológico, estratégico y cultural de muchas empresas, que por falta de medios, implicación o miedo a los cambios no adaptan dichos avances a sus industrias o sistemas de producción.

Este estudio, como se ha mencionado anteriormente, va a estar focalizado en la tecnología Blockchain y sus aplicaciones a la fabricación actual y futura. Por lo tanto, representa solamente a una del amplio abanico de tecnologías existentes. No obstante, de este pequeño grano de arena, se podrán sacar conclusiones y datos interesantes, que ayuden a avanzar hacia la comprensión en implantación de las tecnologías 4.0 en la industria.



3. Antecedentes

3.1. De la revolución industrial a la industria 4.0

Como ya se mencionó, la industria 4.0 es el sobrenombre que denomina una hipotética cuarta etapa de la evolución técnico-económica de la humanidad (Zhou et al., 2015).

Pero para llegar hasta este punto, la industria ha evolucionado a lo largo de muchos años desde su nacimiento y ha ido incorporando los distintos avances y tecnologías que se han descubierto. Aunque dicho camino ha sido más o menos progresivo hay tres momentos o periodos que han conllevado un gran salto tecnológico.

El primero de ellos es la conocida revolución industrial, o Industria 1.0, en el año 1782, en el cual James Watt inventó la máquina de vapor para aplicaciones industriales. Así surgen las primeras máquinas para telares, fábricas de papel, destilerías, etc. Los motores eran alimentados por carbón como uno de los principales combustibles; no obstante, el auge industrial motivó la búsqueda de procesos de conversión más eficientes, debido a los bajos rendimientos relativos de las máquinas de combustión. (Díaz Rojas, 2018).

El segundo salto tecnológico se da tras el dominio por el ser humano de la energía eléctrica donde muchas máquinas de combustión comienzan a cambiarse por motores eléctricos, lo que conduce a la industria 2.0. Además se introdujeron cambios en los procesos de trabajo, fomentando la división de tareas y apareciendo las primeras cadenas de montaje.



Ilustración 1: Evolución histórica de la industria

La tercera revolución industrial se inicia con la invención de los controladores lógicos programables (PLC) en 1969. Este desarrollo de la electrónica y la informática permitió la automatización de tareas repetitivas en las líneas de producción sustituyendo los recursos humanos por dichos autómatas. Los procesos cambiaron totalmente y la industria se revolucionó rápidamente.

Hoy en día se está produciendo otro gran salto tecnológico. Con el uso generalizado de internet por la mayoría de las industrias y de la población mundial, la comunicación o tránsito de datos es instantáneo y sin límites de distancia. A partir de esta capacidad nace la idea de la industria 4.0, una industria donde puedan ser de aplicación estos avances para la mejora de sus procesos y los modelos de negocio.

Este concepto apareció por primera vez en un artículo publicado en noviembre de 2011 por el gobierno alemán como resultado de una iniciativa sobre la alta tecnología para 2020.

“El concepto es tan amplio que resulta fácil perder el objetivo”, palabras de Hans-Juerguen Grundig, IT Manager en General Motors España. Define muy bien la complejidad del concepto, puesto que se trata de una idea muy amplia dónde hay que tener en cuenta distintos aspectos, y a su vez, éstos están referidos a diferentes campos de aplicación. Cabeza Gavira, R.M. (2018).

La industria 4.0 hace referencia a las denominadas fábricas inteligentes, que trabajan de forma autónoma, usando tecnología avanzada y donde la presencia del trabajador humano se reduce a la supervisión de procesos (Lasi et al., 2014).

Busca entre sus beneficios que las empresas lleguen a una optimización en sus procesos y con esto, se logre un ahorro en los costos, como también un manejo de forma eficiente y seguro de los recursos con los que cuentan, llegando con esto a tener un valor agregado en comparación con su competencia. Los 5 objetivos principales que tiene esta revolución industrial son la optimización, flexibilidad, trazabilidad, mantenimiento y la reducción de costes (Rubiano Valbuena, 2020).



Ilustración 2: Industria 4.0



Actualmente la industria manufacturera está sujeta a cambios estructurales considerables debido a las tendencias globales.

Individualización: un desarrollo obvio en los últimos años es la creciente demanda de productos individualizados. La consideración de los deseos de los clientes en muchas industrias, como la textil, los muebles, los ordenadores personales, los automóviles y las máquinas, se ha convertido en cierta medida en un estándar (Bartodziej, 2017).

Volatilidad: lidiar con mercados fluctuantes de ciclo corto es un factor crucial para mantenerse competitivo, como lo han demostrado los acontecimientos posteriores a la crisis económica mundial. La volatilidad se percibe como el principal impulsor de un cambio de paradigma en la fabricación, ya que requiere estructuras, procesos, productos y sistemas más flexibles y adaptables en la fabricación. Las empresas del futuro deberán invertir en flexibilidad y adaptabilidad, ya que los instrumentos clásicos ya no podrán dominar la volatilidad (Bartodziej, 2017).

Eficiencia energética y de recursos: un suministro sostenible y seguro de materias primas y energía es vital para la competitividad de una industria. El desarrollo futuro del sector energético será determinado por ambiciosos objetivos climáticos, el crecimiento mundial de la población y el aumento global de la prosperidad. A largo plazo, esta combinación conducirá a un aumento exponencial de la demanda de energía y materias primas minerales. La industria manufacturera, sin duda, tiene una responsabilidad particular en términos de eficiencia energética y conservación de recursos, ya que tiene, con mucho, el mayor consumo de energía final y primaria en relación con otras industrias (Bartodziej, 2017).

Ante estos cambios o desafíos es donde surge la necesidad de la modernización de la industria hasta realmente convertirla en una industria 4.0, utilizando las tecnologías digitales actuales y estando en constante actualización de ellas debido a su continuo desarrollo y evolución.

El uso de tecnología digital en una organización industrial puede dar lugar a muchos cambios en su modelo empresarial. Convertir muchas



innovaciones en realidad rápidamente es esencial. Para hacer esto, se debe aumentar la flexibilidad de la producción. Esto se puede lograr mediante la digitalización de los procesos y mediante la implementación de soluciones de hardware y software de última generación y la evaluación en tiempo real de los datos de producción (Korčok, 2016).

3.2. Tecnologías 4.0

Los avances tecnológicos con respecto a la Industria 4.0 están eliminando las fronteras entre el mundo digital y físico, integrando agentes humanos y mecánicos, materiales, productos, sistemas de producción y procesos. La industria 4.0 está permitiendo avances tecnológicos rápidos en muchas áreas, sin embargo, la cuarta revolución industrial emergente está siendo moldeada predominantemente por la integración técnica de los sistemas ciberfísicos en los procesos de fabricación y el uso de la Internet de las cosas y los servicios en los procesos industriales (Pereira et al., 2017).

Desde Europa con "Industria 4.0" y desde EEUU con "Smart Factory", el modelo industrial se enfrenta a un cambio sin precedentes. Por eso hay tecnologías que las grandes Compañías están desarrollando para seguir dominando el mercado y gracias a las cuales las PYMES podrían incrementar su competitividad y sobrevivir en un mercado global (Yáñez Brea, 2017). Algunas de estas tecnologías se van a exponer a continuación haciendo una breve reseña sobre sus aplicaciones en la industria.

3.2.1. Internet de las cosas

En la era actual de la comunicación y las redes digitales, el término Internet de las cosas abreviado de su nombre en inglés como IoT se ha vuelto muy famoso. El Internet de las cosas (IoT) se refiere a un sistema de dispositivos, interconectados entre sí, equipados con capacidad computacional (objetos inteligentes), identificables y habilitados para transferir datos a través de una red, sin una interacción humana requerida. El concepto detrás de este paradigma es la presencia generalizada de dispositivos inteligentes, que cooperando entre sí e interactuando con los seres humanos logran objetivos comunes (Lombardi et al., 2021).



Sus características de interconexión, sincronización y optimización en tiempo real permiten en la industria actual multitud de aplicaciones como capturar y compartir información de producción en tiempo real reduciendo el inventario y el tiempo de entrega en la fabricación de piezas (Xu et al., 2017).

También permite la interconexión inteligente en el manejo de equipos heterogéneos, la asignación óptima para resolver la correspondencia de recursos de fabricación con las leyes de oferta y demanda (Cheng et al., 2016). y la optimización de la eficiencia energética en tiempo real en la gestión de la producción que se verifica en empresas de fabricación que consumen mucha energía (Wang et al., 2017).

3.2.2. Big Data

Big Data puede ser considerada como una tendencia en el avance de la tecnología que ha abierto la puerta a un nuevo enfoque para la comprensión y la toma de decisiones, que se utiliza para describir las enormes cantidades de datos (estructurados, no estructurados y semi-estructurados) que sería demasiado largo y costoso para cargar una base de datos relacional para su análisis. Así, el concepto de Big Data se aplica a toda la información que no puede ser procesada o analizada utilizando herramientas o procesos tradicionales. En términos generales, Big Data y los procesos que dicha técnica representa tiene un amplio espectro de aplicaciones potenciales (Puyol Moreno, 2014).

En cuanto a su aplicación en la industria se utiliza en los procesos de fabricación y mantenimiento para optimizar flujos de producción y la estrategia de servicio (Zhang YF et al., 2017). Permite obtener rápidamente mapas de flujos de valor, y con dispositivos RFID (Radiofrecuencia) se pueden presentar los macrodatos de planta instantáneamente para visualizar operaciones y comportamientos. También mejora las capacidades existentes, como la detección de fallas y hace de soporte a nuevas capacidades, como el mantenimiento predictivo (Wan JF et al., 2017).

Además aporta beneficios en la parte logística que permite conocer datos de previsiones de la demanda de productos, rapidez de servicio, apoyo

operativo a los clientes y optimización del rendimiento de la fábrica (Kumar et al., 2016). Utilizado en la gestión de la cadena de suministro, mitiga sus posibles riesgos (Mani et al., 2017).



Ilustración 3: Big data

Algunos estudiosos proponen una arquitectura de plataforma de análisis de Big Data para ayudar a más empresas de fabricación pequeñas y medianas a resolver las cuestiones de calidad en la fábrica (Lee et al., 2017). La monitorización de procesos estadísticos y el sistema de monitorización inteligente consisten en inicialización, aprendizaje y predicción en tiempo real (Jang et al., 2017). La predicción y la detección de anomalías mejoran los diagnósticos y los pronósticos en la supervisión del estado de los equipos, el mantenimiento predictivo, la programación predictiva, la metrología virtual y la predicción de rendimiento (Babiceanu et al., 2016).

Otra ventaja del Big Data con aplicación en la industria es la toma de decisiones precisas y oportunas. Los datos en tiempo real y la inteligencia de fabricación logran una toma de decisiones precisa y oportuna a través de la retroalimentación en tiempo real de fábrica y de cliente (He et al., 2017).

3.2.3. Inteligencia artificial

La inteligencia artificial o IA puede entenderse como una disciplina perteneciente a las ciencias de la computación, que plantea modelos computacionales de aprendizaje basado en redes neuronales biológicas humanas. En este sentido, se han planteado diversos modelos de IA, que

gracias a los avances en la tecnología computacional ha permitido desarrollos de sistemas "inteligentes" que facilitan procesar mayor cantidad de datos en un tiempo menor, agilizando la toma de decisiones (Márquez Díaz, 2020).

Sin embargo, a diferencia de las personas, los dispositivos basados en IA no necesitan descansar y pueden analizar grandes volúmenes de información a la vez. Asimismo, la proporción de errores es significativamente menor en las máquinas que realizan las mismas tareas que sus contrapartes humanas (Rouhiainen, 2018)

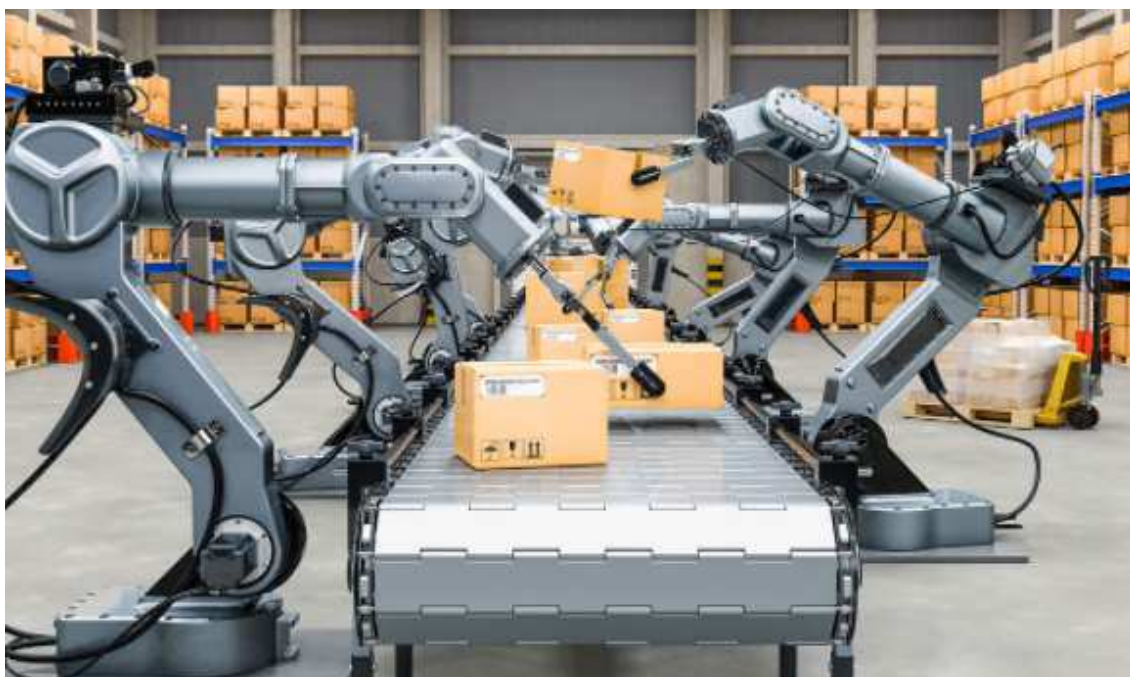


Ilustración 4: Inteligencia artificial

Esta tecnología en la industria de hoy en día está implantada por medio de sensores de reconocimiento visual de de calidad, algoritmos de aprendizaje automático, métodos basados en datos, pronósticos basados en modelos, predicción del desgaste de herramientas y pronósticos y gestión de la salud, lo que permite sobre todo la predicción de fallas mecánicas y de vida útil restante (Wu et al., 2017).

3.2.4. Computación en la nube

El concepto de cómputo en la nube es un término que constantemente escuchamos en el ámbito empresarial, tecnológico y educativo, el cual se entiende como la convergencia y evolución de varios conceptos relacionados con las tecnologías de la información; entre otras, se encuentran las



aplicaciones móviles, diseño de aplicaciones distribuidas, redes computacionales, algoritmos de seguridad, la virtualización. Aunque el concepto podría parecer de mucha actualidad, la realidad es que el concepto es tan antiguo como la creación propia del internet, de hecho, su representación (una nube) proviene de la imagen que se utiliza en el medio informático para denotar la web (Corona et al., 2021).

La computación en la nube y sus distintas plataformas se utilizan ampliamente en los sectores de fabricación y servicios y ayudan a más empresas a compartir sus recursos (software de fabricación, instalaciones y capacidades) con su personal, proveedor y cliente (Wang et al., 2016).

Utilizando computación de alto rendimiento basada en la nube se aplica también en entornos CAD / CAE / CAM. Mejora el rendimiento, permite la previsión del consumo de energía, el análisis de datos en tiempo real y por lo tanto un sistema de diseño optimizado (Park et al., 2014).

3.2.5. Blockchain

Esta tecnología es sobre la que versa nuestro trabajo y se entrará a analizar más profundamente en los siguientes apartados. Sin embargo, se van a dar unas pinceladas para obtener una ligera idea acerca de lo que posteriormente se expondrá

La tecnología Blockchain funciona, principalmente, como una base de datos distribuida, con la peculiaridad de que su gestión es realizada por los usuarios de dicha base de datos (Maynés Moreno, 2018).

En la industria la tecnología Blockchain se utiliza principalmente en la cadena de suministro para mejorar la transparencia y trazabilidad (Abeyratne et al., 2016), y fabricación aditiva para mejorar medidas de lucha contra la falsificación (Kennedy et al., 2017).

3.2.6. Sistemas de fabricación inteligentes

La fabricación inteligente o sistemas de fabricación inteligente se han definido como los sistemas de fabricación colaborativos totalmente integrados que responden en tiempo real para satisfacer las demandas y condiciones



cambiantes en la fábrica, en la red de suministro y en las necesidades del cliente. Se han convertido en el centro de atención de algunos países y empresas de fabricación (Qu et al., 2019).

Andrew Kusiak (Kusiak, 2018) enumeró los seis pilares básicos de un sistema de fabricación inteligente: materiales, datos, ingeniería predictiva, sostenibilidad, uso compartido de recursos y redes.

Estos sistemas son la base de cualquier Industria 4.0 y se basan en las tecnologías 4.0 anteriormente descritas, entre otras muchas, y en los soportes físicos, materiales y humanos, que toda empresa manufacturera tiene. Este tipo de integración, que une los componentes físicos del sistema de producción y los componentes digitales, abstractos y virtuales en un solo sistema, se llaman Sistemas Ciberfísicos.

Los sistemas de fabricación inteligente se basan en el Internet de las cosas que aplicado a la industria se le conoce como internet industrial de las cosas. El internet industrial de las cosas, actualmente es una tendencia que está transformando el mundo de la industria en cuanto a fabricación y automatización ya que se trata de una red de dispositivos que se pueden conectar y transferir datos entre sí, es decir el internet industrial de las cosas es la integración e interacción de sistemas de red ciberfísicos como son: máquinas, sensores, personas y la computación en la nube, que se pueden comunicar e interactuar en tiempo real para monitorizar, controlar y analizar grandes volúmenes de datos, lo cual permite la reducción de costos, la mejora de la productividad y el incremento de los ingresos, también el internet industrial de las cosas busca medir el desempeño de la maquinaria dentro de la industria, la productividad de las personas, y tomar decisiones inteligentes para dar instrucciones a las máquinas. Su principal objetivo es posicionar dispositivos inteligentes en diferentes ubicaciones para capturar, almacenar y administrar la información para que sea accesible en cualquier parte del mundo para cualquier persona (Valencia, 2017).



Ilustración 5: Fábrica inteligente

El internet industrial de las cosas está suponiendo una verdadera revolución industrial, Las aplicaciones son inimaginables y diferentes para cada industria o empresa., aunque todavía existen muchos desafíos, las bases están establecidas. Cuando hablamos de internet industrial de las cosas, básicamente nos referimos a fábricas inteligentes que vinculan máquinas capaces de aprender, tecnologías de automatización, comunicación de máquina a máquina y tecnologías de sensores, la fuerza motriz y la idea innovadora detrás de todo esto son las máquinas inteligentes que pueden ser mejores y más exactas que las personas en la captura, registro y comunicación precisa de grandes cantidades de datos, estos datos permiten que las empresas reaccionen de manera mucho más rápida a los procedimientos ineficientes o a los problemas, y ganen tiempo en los procesos de negocios inteligentes, por lo tanto esta tecnología en un futuro no muy lejano va a ser más que necesaria para cualquier empresa que busque agilidad y flexibilidad y tener sus proceso controlados (Valencia, 2017).

BLOCKCHAIN.

MARCO

CONCEPTUAL

La tecnología Blockchain en la Industria 4.0

Francisco José Navidad Vidal

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Escuela Politécnica Superior



ÍNDICE BLOCKCHAIN. MARCO CONCEPTUAL

1.	Origen del Blockchain.....	25
2.	¿Qué es el Blockchain?.....	27
	2.1. Los elementos básicos de la Blockchain	28
	2.2. Tipos de Blockchain.....	30
3.	Aplicaciones	32
	3.1. Aplicaciones financieras	32
	3.1.1. Criptomonedas.....	32
	3.1.2. Operaciones financieras	33
	3.1.3. Seguros	33
	3.2. Aplicaciones no financieras	34
	3.2.1. Notaría.....	34
	3.2.2. Identidad digital y existencia real de documentos 34	
	3.2.3. Votación electrónica.....	36
	3.2.4. Almacenamiento descentralizado	37
	3.2.5. Internet de las cosas descentralizado	37
	3.2.6. Industria artística.....	38
	3.2.7. Sanidad.....	39
	3.2.8. Administración pública	40
	3.2.9. Smart city.....	41



1. Origen del Blockchain

En una fecha tan temprana como 1981 ya había expertos tratando de resolver con criptografía los problemas de privacidad, seguridad e inclusión que internet planteaba. Reformaran como reformasen el proceso, siempre se producían filtraciones, porque había terceras partes implicadas. Se buscaba la creación de un protocolo tecnológico ideal en el que hubiera un mediador fiable de todas las operaciones, que manejara esa información y devolviera el resultado haciendo estas operaciones de forma discreta y confidencial (Tapscott et al., 2017).

La crisis de 2007 destruyó la confianza en los intermediarios financieros y fue el detonante para desarrollar una tecnología con capacidad de desplazar el control de las operaciones desde los bancos hasta los usuarios y reducir así la necesidad de un intermediario validador. Esta desintermediación podría significar mayor transparencia y mayor democratización de los sistemas financieros, económicos e incluso políticos (Parrondo, 2018).

Aprovechando el momento, una persona o serie de personas, con el pseudónimo de Satoshi Nakamoto, esbozaron el protocolo de un nuevo sistema de pago electrónico directo y entre iguales (peer-to-peer o P2P) que usaba una criptomoneda llamada «bitcoin». Las criptomonedas (monedas digitales) se diferencian de la moneda tradicional en que no las crean ni las controlan los países. Este protocolo establece una serie de normas —en forma de computación distribuida— que garantiza la integridad de la información intercambiada entre esos miles de millones de ordenadores sin pasar por terceros (Tapscott et al., 2017). Es una base de datos distribuida donde cada nodo o usuario en la red ejecuta y registra transacciones agrupándolas en forma de bloques.

Este nuevo concepto formaba parte de un sistema para procesar transacciones electrónicas de forma que no fuera necesaria una autoridad central o un sistema de fideicomiso. A principios de 2009 se publicó el primer cliente bitcoin, de código abierto, con el que empezó a funcionar la creación de



bitcoins y la base de datos pública e inmutable con las transacciones, conocida como «ledger» (libro de registros). La tecnología para implementar este libro de registros fue la Blockchain. (Retamal et al., 2017).

Es una forma segura, transparente y descentralizada de registrar transacciones que no se limita únicamente a las monedas digitales, a pesar de que saltó a la fama cuando bitcoin en 2013 experimentó una subida del 1.000%. La capacidad de Blockchain de registrar todo tipo de transacciones persona a persona de manera eficiente, segura, verificable e inmutable significa que puede aplicarse a tareas no financieras como la contabilidad o la trazabilidad de productos en la cadena de suministros. (Parrondo, 2018).

En general se puede hablar de una tecnología que ha llegado para quedarse y, más aún, para definir lo que será el mundo del futuro. Gracias a ella, el actual internet de la información alcanzará un nuevo paso evolutivo, que ya se ha dado en llamar internet del valor. (Preukschat, 2016).

2. ¿Qué es el Blockchain?

Existen multitud de definiciones para Blockchain dependiendo de los autores y fuentes consultadas. En el término más simple, Blockchain denota un sistema de contabilidad digital inalterable (Marwala et al., 2018).

Blockchain se puede definir como una red distribuida, manteniendo una base de datos inmutable (Agung et al., 2020).

Explicado en términos coloquiales se trata de una base de datos compartida que hace las funciones de un libro de contabilidad de manera que registra cada operación, con sus cantidades, fechas y participantes. La Blockchain se distribuye en múltiples nodos, que no son más que ordenadores conectados a la red. Todos estos nodos se interconectan entre sí formando una red descentralizada y con la utilización de un protocolo común (Alonso, 2019).

Según Gamage et al. (2020), Blockchain se puede definir como un libro de contabilidad digital distribuido inmutable, que se protege mediante criptografía avanzada, que se replica entre los nodos de pares en la red de igual a igual y utiliza un mecanismo de consenso para acordar el registro de transacciones, mientras que el control está descentralizado.

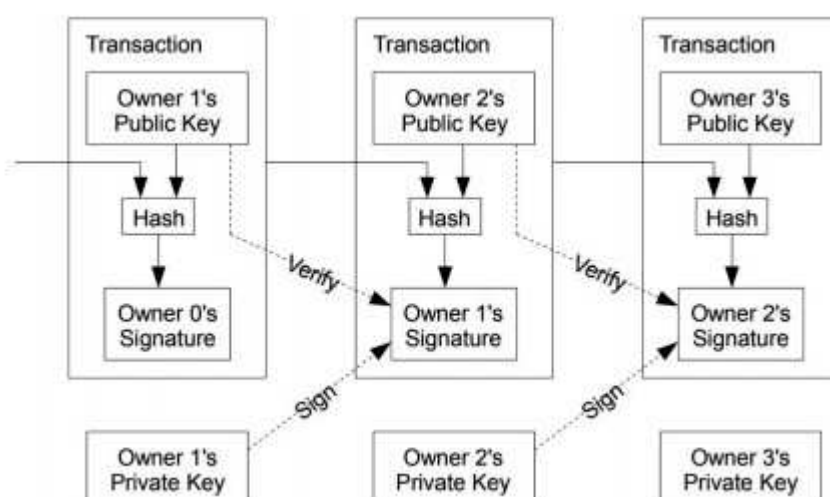


Ilustración 6: Cadena de bloques para el registro de transacciones (Nakamoto, 2008).



El Blockchain, o cadena de bloques en español, es una colección de bloques, totalmente abierta y pública para todos. La característica más importante del Blockchain es que una vez que los datos se registran en el libro, esos datos no se pueden borrar. Cada bloque presente en la cadena consta de los datos, el control de esos datos en particular y de los inmediatos anteriores. Los datos registrados en la cadena de bloques dependen del tipo de cadena de bloques. Si la cadena de bloques está relacionada con bitcoins, por ejemplo, almacenará los datos de las transacciones, la información sobre el remitente y el receptor y la cantidad de bitcoins presentes en la red. Cada bloque de la cadena tiene un valor de control (hash) que se puede comparar con las huellas digitales. A medida que se crea el nuevo bloque, también se generará el “hash” de ese bloque en particular. El hash del bloque se cambiará con las modificaciones realizadas en el bloque. Por lo tanto, el valor hash es un factor muy importante al realizar modificaciones en el bloque. Si se cambia el valor hash de cualquier bloque, no se considerará que está en el mismo bloque. Aparte del hash del bloque actual, el bloque también contiene el hash del bloque anterior. Esto ayuda a hacer una cadena al vincular el bloque actual con el bloque anterior. Estas características hacen que Blockchain sea más seguro. (Kim et al., 2020).

2.1. Los elementos básicos de la Blockchain

Para entender el alcance de la tecnología Blockchain, Preukschat (2016) expone en su trabajo “BLOCKCHAIN: LA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL DE INTERNET” los elementos básicos de que se compone. Son los siguientes:

- **Un nodo:** puede ser un ordenador personal o, según la complejidad de la red, una megacomputadora. Con independencia de la capacidad de cómputo, todos los nodos han de poseer el mismo software/protocolo para comunicarse entre sí. De otro modo no podrán conectarse ni formar parte de la red de una Blockchain, sea ésta pública, privada o híbrida. Si en una Blockchain pública estos nodos no tienen por qué identificarse, en una Blockchain privada los nodos se conocen entre sí, pudiendo también ser iguales entre ellos.

- **Un protocolo estándar:** en forma de software informático para que una red de ordenadores (nodos) pueda comunicarse entre sí. Existen protocolos muy conocidos, como el TCP/IP para internet o el SMTP para el intercambio de correos electrónicos. El protocolo de una Blockchain funciona de la misma forma: otorga un estándar común para definir la comunicación entre los ordenadores participantes en la red.
- **Una red entre pares o P2P (Peer-to-Peer, en inglés):** se trata de una red de nodos conectados directamente en una misma red. Un ejemplo muy conocido de red P2P es BitTorrent.
- **Un sistema descentralizado:** a diferencia de un sistema centralizado, donde toda la información está controlada por una única entidad, aquí son todos los ordenadores conectados los que controlan la red porque todos son iguales entre sí; es decir, no hay una jerarquía entre los nodos, al menos en una Blockchain pública. En una privada sí puede haber jerarquía.

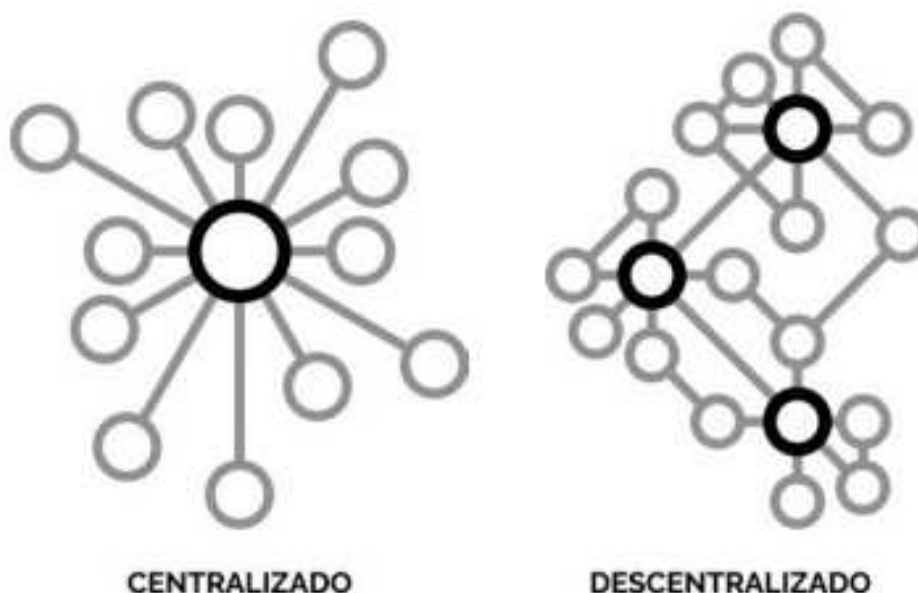


Ilustración 7: Modelo de red centralizada y de red descentralizada (Preukschat, 2016)



De lo dicho se desprende que una Blockchain es un conjunto de ordenadores (o servidores) llamados «nodos» que, conectados en red, utilizan un mismo sistema de comunicación (el protocolo) con el objetivo de validar y almacenar la misma información registrada en una red P2P. Podríamos decir que ésta sería la estructura “física”, como lo es la carrocería en un coche y el motor de la Blockchain es la suma de todos esos elementos que logran que la información recogida no pueda modificarse porque complejos algoritmos criptográficos, sumados a la propia capacidad colectiva de la red, contribuyen a asegurar la irreversibilidad de la información (Preukschat, 2016).

2.2. Tipos de Blockchain

Basándonos en el acceso a los datos almacenados, la tecnología Blockchain se puede dividir en dos grandes grupos: públicas y privadas. En la primera, no hay ninguna restricción para la lectura de datos por parte de los usuarios; en cambio, en la segunda, la lectura se limita a participantes determinados.

Si consideramos para su clasificación la capacidad para generar y agregar nuevos bloques, las redes se dividen en sin permisos (permissionless), donde no hay restricciones para poder realizar transacciones y crear nuevos bloques, y con permisos (permissioned).

Dadas las posibles características del párrafo anterior, Parrondo (2018) en su libro “Tecnología Blockchain, una nueva era para la empresa”, divide la tecnología Blockchain en tres tipos fundamentales:

- **Blockchain pública:** Una Blockchain pública es una red a la que cualquier persona puede acceder, puede crear bloques y puede participar en el proceso de consenso o proceso de validación. Como ya hemos explicado, el proveedor de confianza en estas redes públicas es la minería, una combinación de incentivos económicos y verificación criptográfica utilizando mecanismos como Work of Proof (WoP) o Work of Stake (WoS), siendo esta última más eficiente en términos de coste energético y computacional (Dispenza et al., 2017). Estos mecanismos se basan en el principio de que el poder de validación es proporcional a la cantidad de recursos económicos que pueden aportar. Estas cadenas



de bloques generalmente se consideran “totalmente descentralizadas”. Bitcoin, Ethereum, Litecoin, Namecoin son ejemplos de redes públicas.

- Blockchain de consorcio: Una Blockchain de consorcio es una cadena de bloques donde el proceso de consenso es controlado por un conjunto de nodos preseleccionados; por ejemplo, uno podría imaginar un consorcio de quince organizaciones, cada una de las cuales opera un nodo y diez deben firmar para que el bloque sea válido. La lectura puede ser pública o restringida a los participantes. Estas cadenas de bloques se pueden considerar “parcialmente descentralizadas”.
- Blockchain privada: Una Blockchain totalmente privada es una cadena de bloques en la que los permisos de escritura se mantienen centralizados en una organización. Los permisos de lectura pueden ser públicos o restringidos de forma arbitraria. Las posibles aplicaciones incluyen administración de bases de datos o auditoría internas a una sola empresa, por lo que la lectura pública puede no ser necesaria en muchos casos. Hyperledger es uno de los proyectos que más apoyo ha suscitado para crear Blockchains privadas transversales. Hyperledger está formado por decenas de miembros asociados que pretenden desarrollar una plataforma común y universal para Blockchains privadas. Empresas como IBM, Intel, Cisco, JP Morgan, Wells Fargo, State Street, el London Stock Exchange Group o Accenture forman parte de este conglomerado.

3. Aplicaciones

Las aplicaciones que tiene la tecnología Blockchain son infinitas e inimaginables muchas de ellas. Van desde aplicaciones dentro del sistema financiero, sistemas de almacenamiento, mercados de valores, etc. A continuación se exponen algunas de ellas.

3.1. Aplicaciones financieras

3.1.1. Criptomonedas

La definición de moneda virtual más extendida es que se trata de una moneda digital, no física, que utiliza la criptografía para asegurar y gestionar las transacciones, además de para crear nuevas divisas. Según Nakamoto (2008) son una fuente alternativa de dinero, basada en una moneda virtual que permita a todas las personas enviar o recibir pagos de una forma descentralizada del sistema financiero tradicional.



Ilustración 8: Representación gráfica de criptomonedas

Es una moneda completamente descentralizada y abierta a todos, sin ningún banco central que la controle. Esta descentralización permite que todos formemos parte de la economía de las criptomonedas y seamos su fuerza impulsora, en lugar de un banco central que controle su valor y su cantidad (Alonso, 2019).

El uso de las criptomonedas ha tenido un creciente interés por parte de gobiernos, bancos, empresas, ámbitos académicos entre otros. El éxito se



debe a que están basadas en una tecnología denominada Blockchain. La relativa facilidad de acceso a cuentas bitcoin u otras monedas mediante teléfonos inteligentes hace que las transacciones financieras mediante criptomonedas se encuentran al alcance de cualquier usuario (Barrutia Barreto et al., 2019).

Actualmente existen más de 1300 criptomonedas y va en aumento cada día, haciendo ver que no se trata de una tecnología pasajera o de una moda temporal. Sino que ya muchos Bancos y empresas invierten en ella. Las tres más importantes: Bitcoin con un 57,78%, Ethereum con un 9,51% y Ripple con un 6,71% del total de dinero disponible en este tipo de divisas.

3.1.2. Operaciones financieras

La tecnología Blockchain permite multitud de operaciones financieras. Nos permite programar confianza, propiedad, identidad, activos y contratos, mediante pagos, transacciones, procesos, autenticación, reconciliación e información en tiempo real, y todo con plena transparencia y auditabilidad. Existen cuatro principales aplicaciones de la Blockchain para optimizar el entorno bancario, que más allá del ahorro y simplificación estructural y reducción de costes operativos, permiten la creación de nuevos servicios y modelos de negocio. Estas aplicaciones son: Pagos Globales, Trade Finance, Liquidación de Transacciones y Cumplimentación de la Regulación Automatizada (Preukschat, 2016).

Las bolsas de valores cotizan las acciones de una compañía para que el mercado secundario funcione de manera segura y las operaciones se liquiden y compensan de manera oportuna. Ahora, teóricamente, las empresas pueden emitir acciones directamente a través del Blockchain. Estas acciones se pueden comprar y vender en un mercado secundario que se encuentra en la parte superior de la cadena de bloques (Nofer et al., 2017).

3.1.3. Seguros

Por medio de los contratos inteligentes o “smart contracts”, cualquier propiedad (física o digital, como bienes raíces, automóviles, activos físicos, y otros objetos de valor) puede potencialmente registrarse en Blockchain y la



propiedad, el historial de transacciones puede ser validado por cualquier persona, especialmente las aseguradoras. Esto se puede usar para verificar la propiedad de un activo y también rastrear el historial de transacciones (Crosby et al., 2016).

Un aspecto donde prácticamente coinciden todas las aseguradoras es que la Blockchain permitirá la creación de nuevos modelos de seguro, incluso nuevos ramos, donde la personalización, tanto de coberturas como de costes para el usuario final, serán imprescindibles (Preukschat, 2016).

3.2. Aplicaciones no financieras

3.2.1. Notaría

La verificación de la autenticidad del documento se puede realizar mediante Blockchain y elimina la necesidad de una autoridad centralizada. El servicio de certificación de documentos ayuda en la Prueba de titularidad (quién lo autorizó), Prueba de existencia (en un momento determinado) y Prueba de integridad (no alterada) de los documentos. Dado que es a prueba de falsificaciones y puede ser verificado por terceros independientes, estos servicios son legalmente vinculantes. El uso de Blockchain para la notaría asegura la privacidad del documento, así como la de aquellos que buscan la certificación. Al publicar una prueba de publicación utilizando hashes criptográficos de archivos en Blockchain, la marca de tiempo del notario se lleva a un nuevo nivel. El uso de la tecnología Blockchain también elimina la necesidad de costosas tarifas de notaría y formas ineficaces de transferir documentos (Crosby et al., 2016).

3.2.2. Identidad digital y existencia real de documentos

Si estamos de acuerdo en que hay miles de ordenadores en el mundo, con una misma copia de una base de datos distribuida (el libro mayor), se podría pensar que es un mismo ordenador global con muchos discos duros replicados. Por lo que Blockchain sería el disco duro que gestiona dicha plataforma, y los “smart contracts” serían programas que instalo en dicho sistema operativo. La forma de interactuar con estos programas es a través de firmas digitales (claves públicas y privadas). Se pueden crear programas donde

el usuario da permiso a alguien para que escriba y firme información en su programa (o dicho de otra manera: identidad). Por ejemplo, tras un proceso de KYC por parte de un banco, les podríamos pedir que certifiquen el resultado en nuestra identidad en Blockchain. Nosotros, pese a ser los propietarios de dicha identidad, no podríamos modificar nada, ya que esa información está firmada. Lo importante, es que al ir a darnos de alta a otro banco, este podría comprobar lo que el primer banco ha escrito sobre nosotros sin comprometer la privacidad, y en base a ello permitirnos el onboarding automático (Pascual, 2017).



Ilustración 9: Identidad digital

Validar la existencia o la posesión de documentos firmados es muy importante en cualquier solución legal. Los modelos tradicionales de validación de documentos se basan en las autoridades centrales para almacenar y validar los documentos, lo que presenta algunos desafíos de seguridad obvios. Estos modelos se vuelven aún más difíciles a medida que los documentos envejecen.

La tecnología Blockchain proporciona un modelo alternativo a la prueba de existencia y posesión de documentos legales. Prueba de existencia es un servicio simple que permite almacenar de forma anónima y segura en línea la prueba de existencia de cualquier documento. Este servicio simplemente almacena el resumen criptográfico del archivo, vinculado a la hora en que un



usuario envía su documento. Vale la pena señalar que el resumen criptográfico o la huella digital es lo que se almacena, y no el documento real. De esta forma, el usuario no necesita preocuparse por el aspecto de privacidad y proteger su información. Esto permite a un usuario certificar posteriormente la existencia de un documento que existió en un momento determinado. Al aprovechar la cadena de bloques, un usuario puede simplemente almacenar la firma y la marca de tiempo asociadas con un documento legal en la cadena de bloques y validarlo en cualquier momento utilizando mecanismos nativos de la cadena de bloques. (Crosby et al., 2016).

Las principales ventajas de este servicio son la seguridad y la privacidad que permiten al usuario proporcionar una prueba descentralizada del documento que no puede ser modificado por un tercero. La existencia del documento se valida mediante Blockchain que no depende de una única entidad centralizada. (Crosby et al., 2016).

3.2.3. Votación electrónica

Gracias a la tecnología Blockchain se pueden mejorar procesos públicos en los que la intervención humana es decisiva, como las elecciones o la adjudicación de concursos públicos. La primera idea que aparece es la de implementar un voto electrónico por internet que guarde los votos en la Blockchain. Así garantizamos que los votos son inmutables y los reciben varios receptores simultáneamente. Los defensores de esta técnica pueden argumentar que aumenta la transparencia.

Las principales novedades que aporta Blockchain a un sistema de e-Voting pueden agruparse en: que es consistente y resistente a la manipulación y que tiene un mecanismo de consenso que permite mantener la base de datos de votos pública y bajo el control distribuido de todos. Blockchain es una base de datos atractiva para almacenar votos en una elección y asegurar que estos no sean modificados. En este sentido, Blockchain brinda un alto grado de verificabilidad al garantizar criptográficamente a cada usuario que su voto ha sido depositado y se ha considerado para el conteo final de las elecciones. Además, la infraestructura de llave pública que subyace Blockchain garantiza que cada usuario puede ejercer su derecho al voto. Debido a que la cadena de



bloques está distribuida entre todos los usuarios de Blockchain y existe un consenso sobre cuál es la cadena legítima, se asegura con un alto grado de confianza sobre el conteo final de los votos (Avila, 2019).

3.2.4. Almacenamiento descentralizado

La tecnología Blockchain permite no depender de almacenamientos centralizados, ofreciendo la posibilidad de un almacenamiento de datos y archivos en una red P2P de manera que no toda la información quede guardada en un mismo sitio. Los datos se encriptarían dentro de la Blockchain y se distribuirían entre los distintos nodos. De forma que hubiera múltiples copias en distintos lugares de la red, haciendo al sistema más seguro ante posibles ataques de hackers o pérdida de información por problemas técnicos o catástrofes naturales. La empresa pionera en gestión de datos descentralizados ha sido Storj. (Alonso 2019).

Storj proporciona una plataforma de almacenamiento en la nube distribuida de igual a igual basada en Blockchain que permite a los usuarios transferir y compartir datos sin depender de un proveedor de datos externo. Esto permite a las personas compartir ancho de banda de Internet no utilizado y espacio libre en disco en sus dispositivos informáticos personales con aquellos que buscan almacenar archivos grandes a cambio de micropagos basados en bitcoins. La ausencia de un control central elimina la mayoría de las fallas e interrupciones de datos tradicionales, además de aumentar significativamente la seguridad, la privacidad y el control de los datos. La plataforma de Storj depende de un algoritmo de desafío para ofrecer incentivos a los usuarios para que participen adecuadamente en esta red (Crosby et al., 2016).

Los costes se abaratarían hasta un 80% en comparación con los operadores tradicionales de almacenamientos de datos.

3.2.5. Internet de las cosas descentralizado

El Internet de las cosas (IOT) se está convirtiendo cada vez más en una tecnología popular tanto en el espacio empresarial como en el consumidor. La gran mayoría de las plataformas IOT se basan en un modelo centralizado en el que un intermediario o concentrador controla la interacción entre dispositivos.



Sin embargo, este enfoque se ha vuelto impráctico para muchos escenarios en los que los dispositivos necesitan intercambiar datos entre ellos de forma autónoma. Este requisito específico ha llevado a esfuerzos hacia plataformas de IoT descentralizadas. La tecnología Blockchain facilita la implementación de plataformas de IoT descentralizadas, como el intercambio de datos seguro y confiable, así como el mantenimiento de registros. En una arquitectura de este tipo, la cadena de bloques sirve como hoja de control, manteniendo un registro confiable de todos los mensajes intercambiados entre dispositivos inteligentes en una topología de IoT descentralizada (Crosby et al., 2016).

3.2.6. Industria artística

Si hay algo que ha traído problemas a los músicos en la era digital son los pagos y las compensaciones justas por sus composiciones e interpretaciones, ser recompensado adecuadamente se ha convertido en una odisea cuando hay intermediarios. Paralelamente, los músicos se enfrentan a la piratería y a problemas por los derechos de autor. Sin embargo, la tecnología Blockchain podría estar cambiando y mejorando la industria de la música a través de sus sistemas descentralizados, así como en otras industrias de entretenimiento o sectores financieros (Moreno, 2019).

Con la Blockchain sería posible tener un sistema totalmente abierto de notificación y rastreo universal para contenidos digitales, sistema que se podría automatizar porque todos los datos estarían en una plataforma común descentralizada. De este modo, el autor recibiría algún tipo de notificación siempre que se hiciera uso de una de sus obras y podría así ponerse en contacto con nuevas audiencias. Éstas, por su parte, podrían descubrir más creaciones del mismo autor. Y, por qué no, podría incluso existir una recompensa cada vez que se comparta una obra (Preukschat, 2016). De hecho, la tecnología Blockchain permite que intermediarios como las plataformas Spotify o Youtube no sean necesarios, puesto que la música puede distribuirse de forma directa desde el compositor hacia los consumidores, sin perder dinero y protegiendo el arte al mismo tiempo.



En resumen, el Blockchain puede jugar un papel muy importante. La tecnología puede ayudar a mantener una base de datos distribuida completa y precisa de información de propiedad de derechos musicales o de propiedad intelectual. Además de toda esa información por medio de la realización de contratos inteligentes los autores monetizarían su contenido.

3.2.7. Sanidad

En el sector sanitario hay un interés evidente por resolver las lagunas que resultan del desfase de velocidad y adaptación con el entorno social en el que vivimos. Hasta ahora, ha podido sobrevivir ajustando o poniendo parches temporales frente a las crecientes demandas empresariales y sociales, pero frente a una sociedad instantánea, dinámica y cada vez más transparente e informada como la de hoy, esto no es ya suficiente. Se hace necesario resolver problemas como la relación directa entre los actores involucrados, la eficacia en las operaciones logísticas de amplia distribución, la detección de fraudes en los medicamentos y la necesidad de disponer de información incorruptible, transparente y actualizada. Por otro lado, el paciente quiere información precisa sobre su historial médico, sus tratamientos, la utilización de sus datos y la propiedad de dicha información. El avance de una información más distribuida y compartida con los agentes del sector debe tener en cuenta las necesidades, la individualidad y las demandas de cada paciente. El resultado deseado es conocido, pero la ecuación debe estar bien formulada. Y la Blockchain es parte de esa ecuación (Preukschat, 2016).

Las compañías pueden desarrollar Blockchains privadas en las que involucrar a los agentes productores, distribuidores, vendedores, etc., y lograr integrarlos en todos los nodos de la cadena. Cada vez que un medicamento es fabricado, se genera un hash que proporciona toda la información relativa a su fabricación y componentes. Y cada vez que un agente interacciona con ese medicamento, se vuelve a generar otro hash vinculado al anterior con más información, lo cual podría permitir una trazabilidad total, fiable y transparente (Preukschat, 2016).



3.2.8. Administración pública

La relevancia e importancia de la administración pública es superior a cualquier otro sector económico, organización o movimiento social. Los ciudadanos exigimos simplicidad, ubicuidad e inmediatez; demandamos un nuevo modelo de administración pública, más transparente, más rápida, más eficiente y más integrada en la vida diaria de la ciudadanía.

Una administración incorporada al cambio tecnológico que representa el Blockchain haría posible estas demandas al propiciar que los ciudadanos, pero también las empresas y organizaciones de la sociedad civil, puedan acceder a información relevante, mejorar los servicios públicos y participar en la toma de decisiones de manera más activa. La transparencia, la confianza, la ética y la empatía son elementos clave que buscan los ciudadanos en el nuevo modelo de Gobierno y administración pública. Hasta el momento se han lanzado numerosas iniciativas orientadas a la digitalización (es decir, al uso de tecnología para automatizar y optimizar los procesos actuales de negocio), pero digitalizar no significa transformar. Transformar es repensar los procesos reales operativos en un mundo que ya es digital y donde ya está integrado el ciudadano. Ahí es donde la tecnología Blockchain puede aportar soluciones (Preukschat, 2016).

En algunos países se están explorando algunas aplicaciones de esta tecnología. Una de esas aplicaciones se refiere a los registros, tanto públicos como privados, que gracias a la tecnología Blockchain pueden ser descentralizados. En el caso de los registros públicos tenemos el registro de títulos de la propiedad, el de vehículos, las licencias de negocio, el censo poblacional, los registros criminales, los pasaportes, los certificados de nacimiento, los certificados de defunción, los procesos electorales o los sistemas de voto. Esta categoría puede hacerse extensible a otras tipologías de permisos, por ejemplo, las subvenciones otorgadas. A nivel de registros privados existen aplicaciones en los registros médicos y educativos, en la gestión de becas, el arbitraje, las patentes, los registros de apuestas, las donaciones, etc. (Preukschat, 2016).

3.2.9. Smart city

La ciudad inteligente a veces también llamada “ciudad eficiente” o “ciudad súper-eficiente”, se refiere a un tipo de desarrollo urbano basado en la sostenibilidad que es capaz de responder adecuadamente a las necesidades básicas de instituciones, empresas, y de los propios habitantes, tanto en el plano económico, como en los aspectos operativos, sociales y ambientales. Crea un desarrollo económico sostenible y una alta calidad de vida, sobresaliendo en múltiples áreas clave: economía, movilidad, medio ambiente, personas, vida y gobierno. La excelencia en estas áreas clave puede hacerse a través de un fuerte capital humano, capital social y / o infraestructura TIC (Navidad, 2017).



Ilustración 10: Smart city

Un reto único para las Smart Cities a nivel tecnológico, es la necesidad de interconectar los distintos servicios «verticales» de la ciudad bajo una misma Plataforma Tecnológica de Ciudades Inteligentes. Se establece, así, una interconexión «horizontal» capaz de integrar todos estos servicios verticales. En la actualidad, se experimenta también en cómo integrar la



tecnología Blockchain en las aplicaciones de ciudades inteligentes⁶⁵ con el aval de una plataforma no jerárquica, pública y segura (Preukschat, 2016).

A nivel de administración pública, la mejora de los servicios públicos, la lucha contra la corrupción y una relación con la ciudadanía más participativa, interactiva y democrática son los grandes retos a los que se enfrentan las ciudades. Dado que se trata de temas que demandan una alta frecuencia de registros y documentación, la transparencia y la seguridad son imprescindibles, y eso es precisamente lo que proporciona una tecnología como la Blockchain: una plataforma de información neutral, no jerárquica, accesible y segura. En cuanto a urbanismo y espacio público, cualquier ciudadano podría consultar información sobre los espacios públicos (calles, plazas o parques) en relación con su diseño, materiales, fechas y actividades de obras, contratos de mantenimiento, etc., y lo mismo profesionales como arquitectos e ingenieros, que tendrían así a su disposición un modelo tridimensional sobre el que trabajar que les evitaría cualquier error de posición, medición o edificabilidad. En lo que respecta a seguridad ciudadana, mediante el análisis de imágenes y patrones de comportamiento es posible no sólo registrar, sino también prevenir ataques, robos y accidentes. (David, 2015).

Una Ciudad Inteligente está comprometida con la gestión del tráfico para mejorar la productividad y descongestionar la ciudad. A su vez, busca disminuir los costos de transporte y consumo de combustible, reducir el impacto ambiental, las emisiones de CO₂ y la contaminación auditiva. Las “Smart Cities” incentivan la utilización de energías renovables y modos de transportes sustentables (Navidad, 2017). La Blockchain podría ofrecer esa base a través de la cual gestionar el control de acceso a la ciudad o a zonas específicas dentro de la misma, el pago digital en el transporte público y los servicios de uso temporal de vehículos (carsharing) o de alquiler de bicicletas (Preukschat, 2016).

BLOCKCHAIN EN LA **INDUSTRIA 4.0**

La tecnología Blockchain en la Industria 4.0

Francisco José Navidad Vidal

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Escuela Politécnica Superior



ÍNDICE BLOCKCHAIN EN LA INDUSTRIA 4.0

1.	La tecnología Blockchain en la Industria 4.0.....	45
2.	Logística.....	46
3.	Fabricación.....	52
4.	Identidades digitales.....	56
5.	Seguridad y antifalsificación.....	59
6.	Energía.....	62



1. La tecnología Blockchain en la Industria 4.0

La tecnología Blockchain nació asociado al aspecto financiero y sus operaciones derivadas, y es en este campo donde tienen lugar y más desarrolladas están, sus aplicaciones prácticas. No obstante, la potencialidad de uso de esta tecnología es inmensa. Además de las aplicaciones enumeradas en el capítulo anterior en relación a temas no financieros, un sector importante que puede beneficiarse enormemente de la adopción de los principios y tecnologías de la Industria 4.0 es la industria manufacturera.

Muchos sectores industriales están considerando el potencial de hacer avanzar sus sistemas para lograr una mayor productividad, rentabilidad, confiabilidad, calidad y flexibilidad. Esto ayudará a crear la era de la fabricación inteligente en la que las tecnologías y los sistemas avanzados de la Industria 4.0 mejorarán los diferentes procesos dentro de la cadena de valor de la fabricación y aumentarán la eficiencia y la rentabilidad. Sin embargo, la Industria 4.0 requiere una integración efectiva de muchas tecnologías y sistemas y operaciones integradas en todos los componentes. Esto crea muchos desafíos al crear aplicaciones para la fabricación inteligente, incluida la seguridad, la confianza, la trazabilidad, la confiabilidad y la automatización de acuerdos dentro de la cadena de valor de la fabricación. Varios de estos desafíos se pueden abordar utilizando Blockchain (Mohamed et al., 2019).

Esta tecnología, junto con otras, está llamada a liderar el cambio hacia la industria 4.0 y está mostrando signos de ser una tecnología prometedora que permite muchas aplicaciones en varios dominios. En esta sección, se expondrán varios campos de aplicación industriales del Blockchain que brindan numerosos beneficios comerciales e industriales.

2. Logística

La función logística se entiende como el proceso de planificación, gestión y control del flujo físico de materiales y de información asociada que fluye de forma directa e inversa desde el punto de origen hasta el de consumo, con el fin de satisfacer al consumidor a través de la generación de valor. Las principales actividades gestionadas por la función logística son transporte, almacenamiento, diseño de productos o envases, selección de proveedores, etc. (Servera-Francés, 2010).

A su vez, el desempeño logístico está fuertemente relacionado con la fiabilidad de la cadena de suministro y la predictibilidad de las entregas de los envíos (Arvis et al., 2018). La cadena de suministro se define como el conjunto de organizaciones, personas, actividades, información y recursos que participan en el suministro de un servicio o producto a un consumidor. Las actividades de la cadena de suministro implican la transformación de recursos naturales y materias primas en el producto final ofrecido a los clientes (Kozlenkova et al., 2015).



Ilustración 11: Cadena de suministro

Este es uno de los sectores que más puede beneficiarse de la correcta aplicación de la tecnología Blockchain. La posibilidad de poder llevar a cabo la verificación, el registro y la coordinación de transacciones de manera autónoma sin necesidad de una tercera parte de confianza supone una gran ventaja respecto a los sistemas de transacción tradicionales. Al aplicar correctamente



la tecnología Blockchain se consigue aportar transparencia, inmutabilidad y descentralización a los procesos que componen la actividad del ámbito de aplicación, mejorándolos significativamente (Rodríguez, 2020).

Los problemas existentes que prevalecen en la cadena de suministro son:

- Corrupción de los intermediarios.
- Falta de transparencia en toda la cadena a medida que las mercancías transitan por la cadena.
- Falta de responsabilidad por parte de todos los actores involucrados.

Para resolver estos problemas, se desarrolla de un sistema habilitado con Blockchain que gestione toda la cadena de suministro al tiempo que aplica un alto estándar de seguridad y transparencia. De esta aplicación de la tecnología Blockchain nace el conocido como “Supply Chain Management” (SCM). Es un desarrollo empresarial esencial en todas las esferas de la economía. SCM utiliza procesos específicos para conectarse desde el productor hasta los requisitos del consumidor a través de una cadena. Esto asegura el mantenimiento de la calidad del activo a medida que transita por la cadena de suministro. De esta forma, se puede detectar cualquier mala praxis o manejo deshonesto del producto. (Kim et al., 2020)

Kshetri (2018) examinó cómo es probable que Blockchain afecte los objetivos clave de la gestión de la cadena de suministro, como el costo, la calidad, la velocidad, la confiabilidad, la reducción de riesgos, la sostenibilidad y la flexibilidad.

Según Al-Jaroodi et al. (2019), Blockchain puede proporcionar un soporte poderoso para aplicaciones logísticas. Una de las complejidades de la gestión logística es la implicación de múltiples empresas en las actividades. Esto también puede incluir una serie de subactividades sincronizadas realizadas por diferentes compañías. Es importante que cualquier aplicación de gestión logística proporcione un conjunto de funciones para planificar, programar, coordinar, monitorear y validar las actividades realizadas. Dichas



funciones pueden ser respaldadas de manera eficiente y segura por Blockchain. El uso de libros de registros compartidos en Blockchain para verificar, almacenar y auditar transacciones logísticas ayudará a reducir los retrasos, los costos de gestión y los errores humanos. Además, la aplicación de contratos inteligentes facilitará los acuerdos entre las empresas involucradas y creará contratos vinculantes más rápido y con menores costos.

Ivanov et al. (2019) consideran Blockchain como una tecnología avanzada de rastreo que puede aumentar la visibilidad y la eficiencia basándose en el mantenimiento de registros en la cadena de suministro. Kamble et al. (2019) desarrolló un modelo para comprender las percepciones de los usuarios sobre la adopción de Blockchain en la cadena de suministro basado en la integración de tres teorías de adopción: modelo de aceptación de tecnología (TAM), índice de preparación tecnológica (TRI) y teoría del comportamiento planificado (TPB). Los resultados mostraron que la inseguridad y la incomodidad tienen un efecto insignificante en la facilidad de uso y utilidad percibidos.

A continuación, se presenta una lista de ventajas enumeradas por Rodríguez (2020), que a priori, podrían obtenerse al aplicar la tecnología para la gestión y el control de la cadena de suministro:

- Trazabilidad: al registrar los distintos movimientos que se realizan para hacer llegar los productos al cliente final, es posible conocer el punto exacto de la cadena en el que se encuentran los mismos en un momento específico. Por otra parte, se conseguiría un aumento en la predictibilidad de los envíos y se dispondría de información con alta granularidad en lo relativo a los puntos de la cadena de suministro en los que se están produciendo retrasos. Esta información podría ser analizada para ayudar en la toma de decisiones para llevar a cabo medidas correctoras. A su vez, estas posibles medidas serían más precisas, eficaces y podrían atacar directamente a la raíz del problema.
- Origen de los productos: identificando únicamente cada producto, se conseguiría distinguir inequívocamente el origen de los mismos y qué



camino han recorrido hasta llegar a las manos del cliente. Además, se evitarían problemas relacionados con la falsificación de productos y el contrabando, pues sólo aquellos que fueran originales podrían haber sido registrados en la cadena de bloques (en teoría).

- **Transparencia:** se conseguiría un aumento de la transparencia de cara al cliente. Este podría conocer con total certeza numerosos aspectos de los productos o servicios que adquiere. También se podrían identificar con mayor facilidad los problemas de pérdidas injustificadas de inventario y robos en caso de que se produjeran.
- **Single source of truth:** si todos los participantes de la cadena de suministro utilizan en sus procesos la tecnología Blockchain se crearía una única fuente de información (en cuanto a la información que han de compartir). Los diversos agentes tendrían acceso a la información sin duplicidades (peligrosas para la integridad) y cooperar de manera más sencilla, obteniendo una estandarización indirecta de los procesos que llevan a cabo.
- **Seguridad y confianza:** el uso de la Blockchain supondría un incremento general de la seguridad y la confianza entre los agentes de la cadena de suministro. Cualquier agente podría auditar y comprobar el estado de cualquier transacción, es decir, de sus actividades. Además, contaría con la certeza de que lo que se recoge en la cadena de bloques es cierto.
- **Reducción de costes:** al eliminar la necesidad de terceras partes de confianza se produce un decremento de los costes asociados a las actividades de los participantes de la cadena de suministro.

Hay algunos casos de uso reales de las soluciones Blockchain en la industria de la logística en todo el mundo. TradeLens, lanzado por Maersk e IBM, es una plataforma de cadena de suministro abierta y neutral respaldada por Blockchain. TradeLens permite a los usuarios guardar todos los flujos de

trabajo necesarios en formato digital. La auditoría de archivos como certificados, documentos adjuntos y otros papeles se simplifica drásticamente. La automatización de los procesos comerciales se logra mediante la integración de un módulo con contratos inteligentes. TradeLens también ayuda a los usuarios a realizar un seguimiento de varios parámetros, como el peso de la carga o la temperatura del contenedor, mediante la integración con el Internet de las cosas (Li et al, 2021).

IBM lanzó un proyecto, Food Trust, utilizando Blockchain con 10 importantes fabricantes y distribuidores de alimentos. Los datos de los productos alimenticios almacenados en la plataforma IBM Blockchain y Hyperledger Fabric superan el millón. Todos los participantes pueden acceder a un libro transparente, consistente y distribuido de registros relacionados con el origen de los alimentos, el estado del transporte, el estado de la ubicación y otros aspectos a través de la plataforma. Se alegó que el costo de productos devueltos se puede reducir en un promedio del 80% (Li et al, 2021).

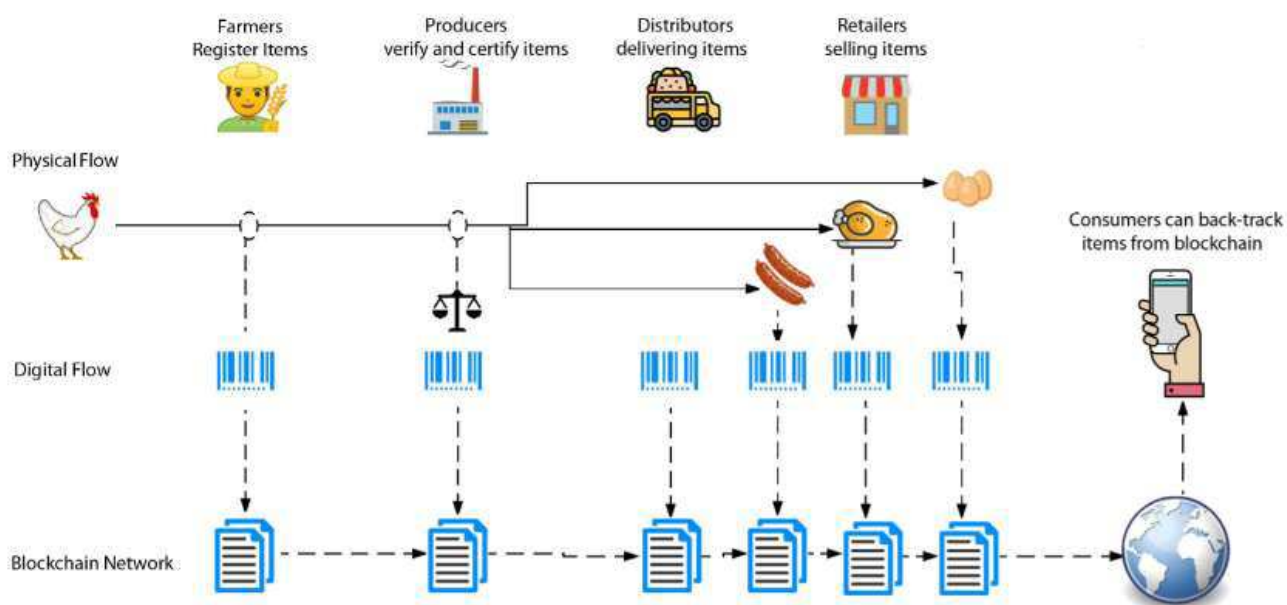


Ilustración 12: Ejemplo de Blockchain en Industria de la alimentación

Provenance proporciona soluciones de rastreo basadas en Blockchain para rastrear todo el viaje desde la fabricación hasta la compra de un producto. Ha integrado su solución a la cadena de supermercados Co-op del Reino Unido. Los usuarios pueden ver el recorrido completo del producto desde un



fabricante hasta los estantes de los supermercados accediendo a una plataforma de seguimiento de productos utilizando Blockchain. También ayudaron a los pescadores indonesios a agregar etiquetas a los peces capturados y registrar la información en Blockchain. El flujo de trabajo se redujo considerablemente (Li et al, 2021).

Otro proyecto de Chronicled es un sistema de cadena de suministro descentralizado. Combina Internet de las cosas y Blockchain para mejorar la trazabilidad de los productos y aumentar la confiabilidad de las transacciones financieras. Cumberland, una gran compañía farmacéutica, ha anunciado una asociación con Chronicled para desarrollar un gran sistema para el rastreo de medicamentos utilizando Blockchain. El interesado puede acceder a toda la información de toda la logística de los medicamentos (Li et al, 2021).



3. Fabricación

La fabricación inteligente es considerada como la habilidad de representar digitalmente cada aspecto de la manufactura, desde el diseño, proceso de fabricación, manufactura asistida por ordenador (CAD/CAM), los sistemas para la gestión del ciclo de vida de los productos y el uso de software de análisis, simulación y gestión, etc. Este tipo de manufactura enfatiza el empleo de métodos digitales para la planeación y validación de todas las etapas de fabricación, desde el desarrollo del producto hasta la planeación de la producción y las instalaciones; para lo cual, se apoya en un conjunto de tecnologías que no sólo facilitan la validación previa de los productos y procesos de manufactura, sino que además permiten reducir los tiempos de desarrollo de nuevos productos, los costos de fabricación y los lotes de manufactura. Es decir, flexibilizan la manufactura, mejoran la calidad del producto y aceleran los tiempos de respuesta al mercado (Cortés et al., 2017).

El sector manufacturero está dando grandes pasos hacia la fabricación inteligente y las operaciones automatizadas y, por lo tanto, puede beneficiarse de Blockchain en diferentes áreas (Al-Jaroodi, et al., 2019).

Una de estas aplicaciones puede ser en la llamada fabricación aditiva o impresión 3D. El proceso de manufactura sería más o menos el siguiente. Una vez el fabricante haya confirmado la ejecución de la orden (flujo de información) inicia la etapa de fabricación. El fabricante hará uso de sus recursos como impresoras, materiales, horarios y personal para cumplir con la orden dentro de un plazo establecido. En el transcurso de esta etapa, el fabricante deberá actualizar el estado del proceso. Dichos estados pueden ser:

- 1) “en fila”, para indicar que la orden está próxima a ser atendida.
- 2) “en proceso”, para indicar que se encuentra en ejecución.
- 3) “finalizado”, para indicar que la pieza ha terminado de ser impresa y está lista para ser recogida.

Esta actualización de estado se hará por medio de un Smart Contract, el cual mantendrá informado al cliente. Todos estos procesos de notificación sobre el estado de la orden utilizarán la tecnología Blockchain, y serán automatizados por medio de una API (interfaz de programación de aplicaciones) sobre el software de impresión, que será capaz de identificar en qué momento se ha cambiado de estado e informarlo al aplicativo (Castellanos, 2020).

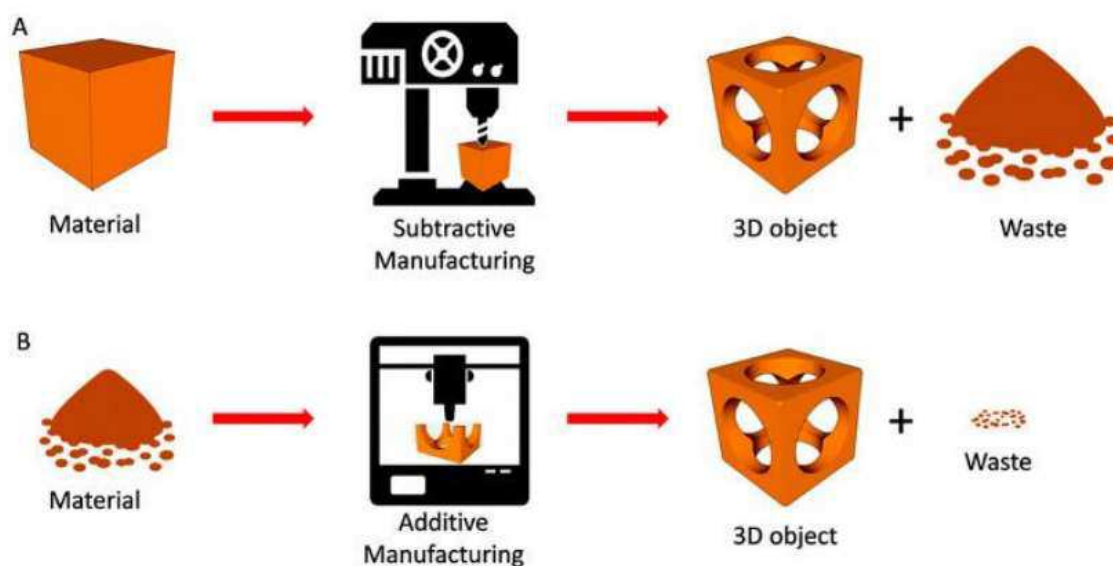


Ilustración 13: Fabricación aditiva

La aplicación de tecnología Blockchain sobre manufactura aditiva, resulta una combinación atractiva, que potencia aspectos claves como la integración de toda la cadena de suministro en una misma red comunicada de extremo a extremo, o la aplicación de criptografía para la protección de información sensible sobre los diseños a ser impresos (Castellanos, 2020).

Otro campo de aplicación es en la mejora de procesos. El mapeo digital de todos los registros de piezas puede acelerar o incluso reemplazar los procedimientos de verificación y autenticación basados en papel. La eliminación de los cuellos de botella en los procedimientos puede resultar en procesos más eficientes. Por ejemplo, los reguladores y auditores podrían



convertirse en parte de la red Blockchain, reduciendo considerablemente el esfuerzo manual (Kurpjuweit et al., 2021).

La ventaja es que el supervisor puede ver todas las transacciones de Blockchain en tiempo real. Hoy en día, todos estos procesos requieren un uso intensivo de papel y son manuales. Así, realizamos transacciones, las consolidamos y posteriormente las enviamos al regulador. Luego, el regulador debe revisarlos. Eso lleva mucho tiempo. (Kurpjuweit et al., 2021).

El registro continuo de datos en todas las etapas del producto sienta las bases para el desarrollo (potencialmente) automatizado e iterativo del producto. Como ejemplo, considere que los datos recopilados durante el uso de una pieza impresa podrían mejorar los aspectos de diseño y funcionalidad en futuras generaciones de productos. Para aprovechar este potencial, las piezas impresas deberían estar equipadas con sensores durante toda la fase de uso (Kurpjuweit et al., 2021).

Otro uso relacionado con el ciclo de vida del producto sería la aplicación a productos complejos, por ejemplo, barcos, ferrocarriles, centrales eléctricas, etc. que se caracterizan por ciclos de vida operacionales durante los cuales los sistemas que componen el producto pueden necesitar ser modificados, reparados o reemplazados. Actualmente la gestión del producto, la configuración y los datos relacionados se realizan a través de registros y auditorías que confirman la trazabilidad y confianza en las operaciones. Estas operaciones suelen ser procesos sofisticados para mantener y administrar, y a menudo necesitan ser restringidos en el alcance para ser prácticos. Con Blockchain se podría mantener la información del producto de una manera que sea independiente, actualizada y veraz (Gisbert et al., 2019).

En cuanto a la fabricación descentralizada, otro de sus posibles usos, Lee et al. (2017) propone un marco conceptual que utiliza Blockchain para extender la funcionalidad de un sistema de fabricación ciberfísico. Varias máquinas funcionan en dos organizaciones separadas geográficamente: "Organización A" y "Organización B". Los datos capturados de las máquinas se cargan en la nube computacional que recogerá la información significativa obtenida. Así se podrían fabricar distintos componentes de un producto



terminado en puntos geográficos distintos e incluso diferentes cada vez, uniéndose para conformar el producto final mediante las operaciones de logística donde el Blockchain cobra gran importancia como hemos visto en el punto anterior.

Otro aspecto a tener en cuenta es la economía circular. El término economía circular implica el movimiento desde la extracción de las materias primas, su posterior conformado para convertirla en productos que luego son utilizados y posteriormente eliminados una vez se cierra el ciclo. La refabricación ofrece el potencial de reducir en gran medida la utilización de recursos, al tiempo que proporciona la función y garantías de nuevos productos. Es una industria en claro crecimiento como son los casos de los sectores del automóvil, electrónica, sector aeroespacial, etc.

El factor clave de éxito en cualquier cadena de refabricación es la condición y el estado de los productos devueltos, que aumentará el valor al tener pleno conocimiento de todo mediante Blockchain y, por tanto confianza, en que los artículos devueltos son correctos, al incorporar:

- Un registro de la especificación del producto devuelto que es inmutable y preciso.
- Más información transparente sobre el estado del producto devuelto.
- Claridad del estado del producto devuelto después de la remanufactura. (Gisbert et al., 2019).

Como ejemplo práctico, una empresa de nueva creación, Genesis of Things, está desarrollando una plataforma para combinar la impresión 3D, Blockchain e Internet of Things para realizar procesos de fabricación más innovadores. Esto permite reducir los costos de los productos personalizados creados por la impresión 3D y automatizar varias actividades de fabricación y relacionadas para una personalización más eficiente (Al-Jaroodi, et al., 2019).



4. Identidades digitales

Blockchain ofrece un equivalente digital que se puede utilizar para identificar no solo a las personas, sino también a diferentes entidades como organizaciones. Esta característica permite autenticar las identidades de personas y entidades involucradas en cualquier actividad industrial a través de una red pública. Además, una identidad digital se puede ampliar para incluir propiedades, posesiones y objetos. Por lo tanto, las máquinas, los dispositivos de detección y actuación, los agentes de software y cualquier otra entidad involucrada en el proceso de fabricación pueden emitir una identidad digital. Estas identidades digitales pueden ser emitidas por una organización gubernamental de una manera como la emisión de licencias de conducir, pasaportes, registros de empresas y títulos de propiedad. (Mohamed et al., 2019).

Otra área de beneficio es la habilitación del intercambio seguro y el intercambio de información de fabricación entre los fabricantes colaboradores. En situaciones como estas, los datos deben protegerse, pero también deben ser rastreados y controlados para garantizar el acceso adecuado y prohibir cualquier cambio o manipulación no deseados (Al-Jaroodi, et al., 2019).

La transparencia financiera en tiempo real permite a las empresas que utilizan la tecnología Blockchain reducir los costos de verificación y vigilancia. Las empresas de fabricación que implementan la tecnología Blockchain pueden estructurar relaciones de confianza con sus contrapartes, eliminando así el costo de la confianza y reduciendo los costos de verificación. Se incurre en costos de verificación debido a la falta de confianza entre los comerciantes (Catalini et al., 2020).

Por ejemplo, cuando una empresa de fabricación hace negocios con proveedores de bienes intermedios, los proveedores deben considerar la posibilidad de incumplimiento y fraude por parte de la empresa de fabricación y exigir a la empresa de fabricación que demuestre que tiene fondos suficientes para pagar la transacción. Debido a esta falta de confianza y al riesgo de incumplimiento, se necesita una auditoría o un intermediario, y la empresa de fabricación incurre en costos de verificación (Ko et al., 2018). La transparencia

en tiempo real de la tecnología Blockchain reduce los costos de vigilancia, remesas, verificación y redes. La adopción de la tecnología Blockchain no solo aumenta las ganancias de una empresa de fabricación, sino que también respalda su capacidad para competir en el mercado.

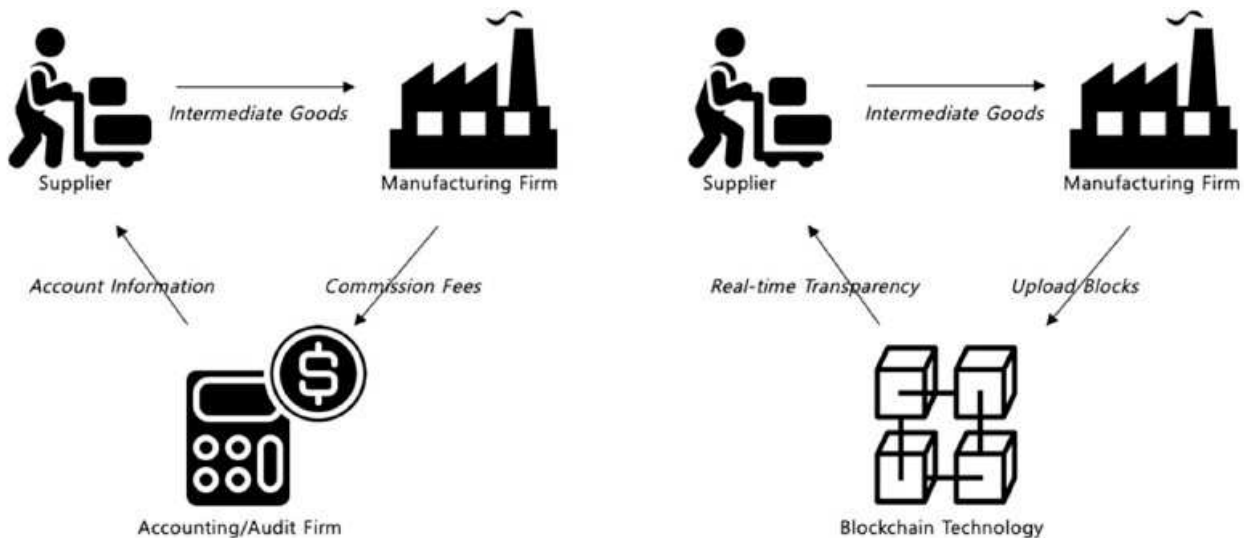


Ilustración 14: Relación con proveedores tradicional y con Blockchain

Gisbert et al., (2019) también reitera lo expuesto anteriormente. En el área de los clientes (es decir, segmentos de clientes, canales y relaciones con los clientes), los fabricantes pueden hacer que los datos de la organización sean accesibles a nuevos participantes / segmentos para mejorar su reputación y así generar confianza. Los eventos de fabricación se pueden compartir en una comunidad a través de la cadena de bloques inmutable. Otros desafíos en la coordinación de canales, como el retraso en los pedidos, el daño a los productos y la entrada de datos múltiples, también se pueden minimizar mediante la introducción de Blockchain. Con los contratos inteligentes programables, Blockchain puede soportar el funcionamiento de diversos servicios de fabricación individualizados. Los contratos inteligentes realizados en la red de fabricación se vuelven transparentes y se documentan permanentemente para todas las partes involucradas.

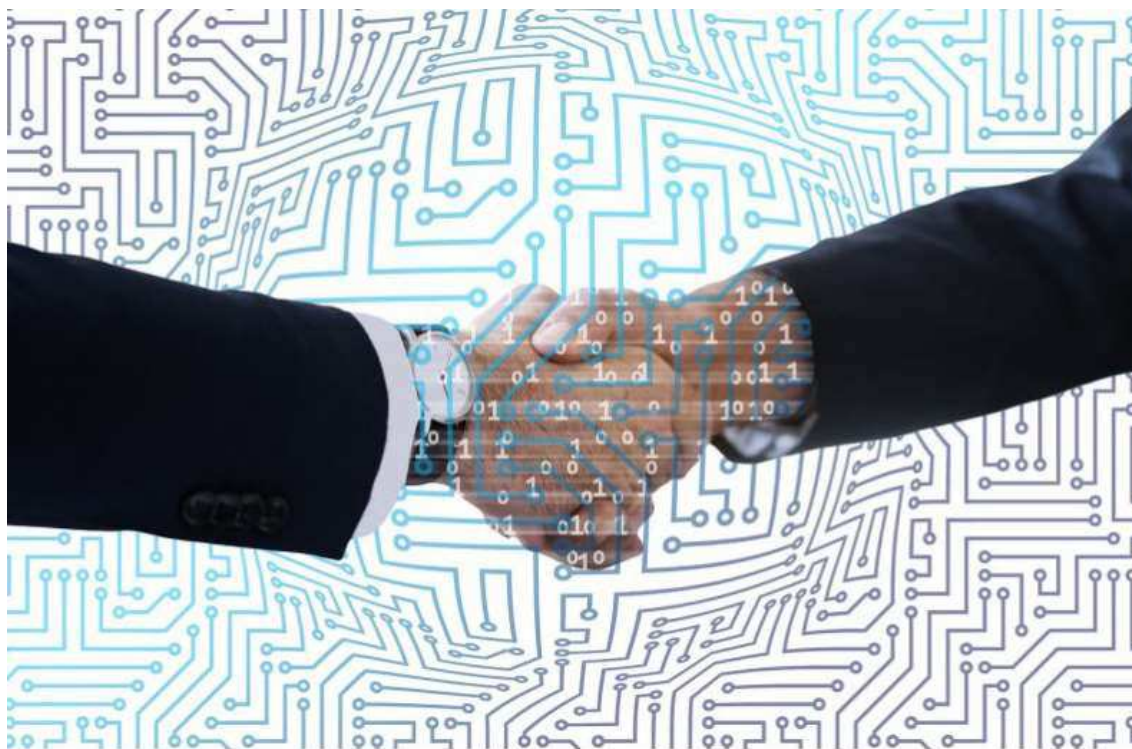


Ilustración 15: Representación gráfica de contrato inteligente

Existe una tendencia creciente a ofrecer productos como servicio en lugar de venderlos a los clientes. Estas proposiciones comerciales tienen su propia lógica y no requieren una distribución. Sin embargo, el uso de Blockchains ofrece un cierto potencial de beneficios para los sistemas de servicio del producto, como son la ampliación de los sistemas de servicio de productos a mercados más amplios y la capacidad de desintermediación que elimina la función de corretaje en un mercado (Gisbert et al., 2019)



5. Seguridad y antifalsificación

Uno de los factores clave del éxito de Blockchain es su capacidad para proteger los datos y las transacciones registradas en el libro compartido utilizando un enfoque compartimentado y distribuido. Esta protección no solo se realiza mediante encriptaciones simples que ocultan y protegen transacciones individuales. También incluye altos niveles de replicaciones y series encadenadas de cifrados o firmas digitales que hacen imposible alterar cualquier registro que ya se haya agregado a la cadena. Cada transacción recién agregada, después de ser validada por las entidades participantes, está vinculada con la cadena de transacciones anteriores, por lo que ningún registro puede modificarse de ninguna manera. Además, apoyándose en las identidades digitales verificadas y que cada transacción se registra con un acuerdo total entre todas las entidades involucradas, resulta prácticamente imposible que alguna de estas entidades niegue posteriormente estar involucrada o estar de acuerdo. El enfoque utilizado permite una mejor protección de las transacciones, menores riesgos de exposición en caso de violaciones de seguridad y mayores niveles de confianza en la validez de las transacciones registradas. (Mohamed et al., 2019).

También a la hora de la distribución de derechos de propiedad intelectual, el diseñador obtiene la prueba de que su archivo se fabricó exactamente las veces estipuladas. La protección de la propiedad intelectual es un tema central de la plataforma. Así se pueden proteger y asegurar los derechos de propiedad intelectual.

La idea fundamental es la licencia de procesos de impresión. Para habilitar una determinada fabricación a través de un elemento seguro que solo fabrica cuando está permitido y cuando ha consumido una licencia dentro de la cadena de bloques (Kurpjuweit et al., 2021).

La codificación y la concesión de licencias de datos mediante el uso de la tecnología Blockchain brinda una gran oportunidad. Se codifican los datos relevantes y la identificación de la plantilla de fabricación y la licencia del proceso de fabricación se realiza mediante Tecnología Blockchain. Hasta ahora, esto se conoce principalmente en el mundo financiero. Es un

procedimiento criptográfico para probar la autenticidad de las transacciones financieras en el pago digital. Sin embargo, la tecnología Blockchain también se puede utilizar básicamente para la aplicación de transacciones en términos de franquicia. En lugar de Bitcoins, la licencia permite imprimir una determinada cantidad de un componente (Holland et al., 2017).

Para cerrar completamente la cadena de confianza, hay que tener en cuenta a los proveedores de máquinas. El proyecto Secure Additive Manufacturing Platform (SAMPL) tiene como objetivo desarrollar cadenas de confianza consistentes para procedimientos de fabricación aditiva con fines comerciales. Se ve todo el proceso, desde el desarrollo de datos digitales de impresión 3D a través del intercambio con un proveedor de servicios de impresoras 3D en el que aparecen elementos seguros específicos hasta el etiquetado de los componentes impresos mediante chips RFID. Además de los mecanismos de codificación disponibles, se integra una gestión de licencias digitales basada en la tecnología Blockchain. La interfaz para el intercambio de datos de certificación y licencia entre el titular de los derechos de autor y el receptor es el estándar OPC-UA de la Industria 4.0 (Holland et al., 2017).

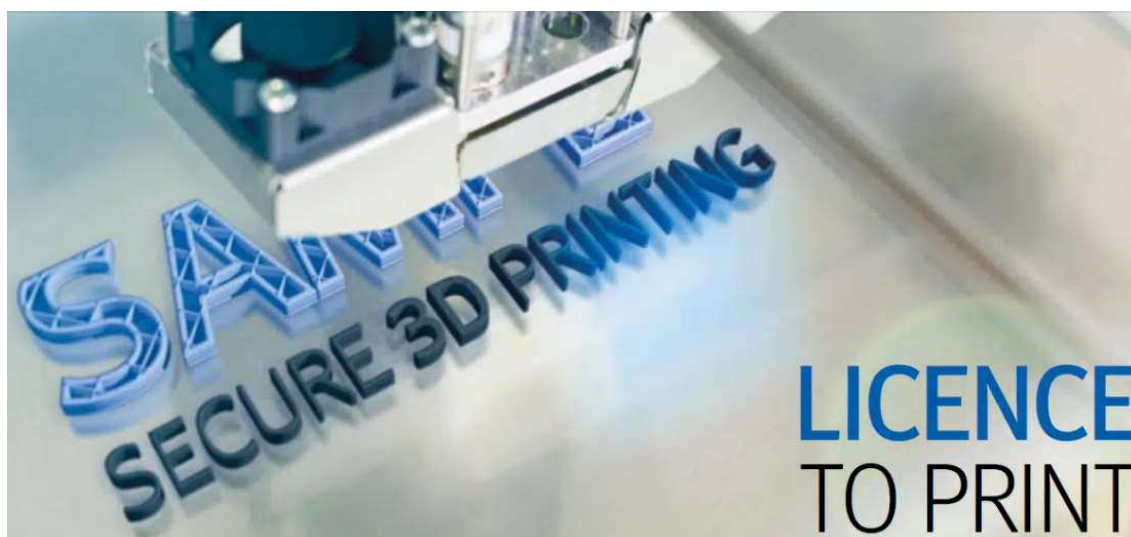


Ilustración 16: Logo SAMPL

Otro aspecto es la falsificación, uno de los mayores desafíos del comercio moderno. En particular, es uno de los mayores desafíos que enfrenta el mundo del comercio digital en la actualidad. Las soluciones existentes se



basan en la confianza en una entidad de confianza de terceros que introduce una fricción lógica entre comerciantes y consumidores.

La tecnología Blockchain, con su implementación descentralizada y capacidades de seguridad, proporciona una alternativa a los mecanismos anti-falsificación existentes. Se puede imaginar un escenario en el que las marcas, los comerciantes y los mercados sean parte de una red Blockchain con nodos que almacenan información para validar la autenticidad de los productos. Con el uso de esta tecnología, las partes interesadas en la cadena de suministro no necesitan depender de una entidad centralizada para la autenticidad de los productos de marca (Yiu, 2021).

El Blockchain ayuda en la identificación y por lo tanto la eliminación de la falsificación. También como resultado de la digitalización y propiedades de los registros, Blockchain tiene muchas otras aplicaciones potenciales, ya que su uso agrega rigor a la medición y trazabilidad que se requiere en la fabricación. También puede facilitar la personalización exigida en cualquier fabricación, pudiéndose utilizar para rastrear tanto el “uso” como el “efecto” en la cadena de suministro (Gisbert et al., 2019).

Un ejemplo de método de lucha contra la falsificación es el que se explica a continuación. Está basado en la incrustación de nanomateriales de ingeniería en las características de una pieza impresa en 3D, seguida de un chequeo no destructivo de estas características para cuantificar un perfil de firma química. Los datos de la firma química específica de la pieza se vinculan a una entrada del libro de Blockchain titulizada, distribuida y con sello de tiempo. Para demostrar la utilidad de este enfoque, se formularon compuestos de polímeros de coordinación a nanoescala de lantánido-ácido aspártico y se transformaron en una materia prima de filamentos para la impresión 3D de modelado de deposición fundida (FDM). En el presente caso, se imprimió un código de respuesta rápida (QR). El código QR proporciona una referencia de búsqueda a una entrada de Blockchain basada en Ethereum (Kennedy et al., 2017).

6. Energía

Un área en la que las características de Blockchain pueden impactar positivamente en la fabricación inteligente es la capacidad de facilitar la micrométrica, las micromedidas y los ajustes dinámicos. La capacidad de registrar eventos y actividades de forma segura sin la necesidad de confirmaciones de terceros y garantías externas, aumentará la cantidad de datos y actividades registrados y permitirá a las organizaciones crear libros de contabilidad detallados de sus actividades y procesos. Estos se pueden analizar fácilmente para proporcionar mediciones y controles de calidad en cualquier nivel de detalle. (Mohamed et al., 2019).



Ilustración 17: Red eléctrica inteligente

Uno de los principales usos de Blockchain en aplicaciones relacionadas con la energía son las microrredes. Una microrred es un conjunto localizado de fuentes de energía eléctrica y cargas integradas y gestionadas con el objetivo de mejorar la eficiencia y la fiabilidad de la producción y el consumo de energía (Lasseter et al., 2004). Las fuentes de energía eléctrica pueden ser generadores de energía distribuidos, estaciones de energía renovable y



componentes de almacenamiento de energía en instalaciones creadas y propiedad de diferentes organizaciones o proveedores de energía. Una de las principales ventajas de la tecnología de microrredes es que no solo permite que los residentes y otros consumidores de energía eléctrica, como las fábricas, tengan acceso a la energía necesaria, sino que también pueden producir y vender el exceso de energía a la red. En este sentido, Blockchain se puede utilizar para facilitar, registrar y validar transacciones de compra y venta de energía en microrredes. Como ejemplo, Blockchain se utiliza en una microrred que agrupa 130 edificios en Brooklyn, Nueva York. Esto minimiza o elimina la necesidad de intermediarios entre estos edificios para completar sus transacciones de compra y venta de energía (Cohn et al., 2017).

CONCLUSIONES, DESARROLLOS FUTUROS Y BIBLIOGRAFÍA

La tecnología Blockchain en la Industria 4.0

Francisco José Navidad Vidal

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Escuela Politécnica Superior



1. Conclusiones del Trabajo Fin de Grado

Una vez recopilada la máxima información, de la manera más rigurosa y completa posible sobre la tecnología Blockchain, podemos extraer algunas conclusiones.

Es evidente e indiscutible que tecnologías como Blockchain se han popularizado en el panorama tecnológico en los años recientes, atrayendo miradas de múltiples y variados sectores.

En las cada vez más presentes fábricas inteligentes, los dispositivos contarán con capacidades de decisión, al mismo tiempo que estarán conectados entre ellos y podrán ser operados por individuos o mediante inteligencia artificial. Se crearán sistemas de fabricación flexibles que a través de diversos dispositivos producirán grandes volúmenes de datos, los que se transferirán a la nube y se procesarán con distintos sistemas. El control de la tecnología Blockchain y todos sus datos asociados será un generador de ventajas competitivas, ya que, facilitarán no sólo una mayor integración de la cadena de suministro, sino además también permitirán reducir la incertidumbre, los ciclos de vida, los inventarios, la optimización de los procesos y propiciarán una mayor colaboración entre todos los que participan en la cadena de valor.

Aunque hoy en día la tecnología Blockchain presenta algunas inconvenientes para su implantación, ha demostrado el potencial que tiene para dar un vuelco al sistema industrial tradicional, atendiendo a sus características y ventajas fundamentales: Inmutabilidad, transparencia, autenticidad, descentralización, distribución, intermediación y anonimato. El Blockchain consigue crear un entorno más seguro, confiable y controlado para construir y desarrollar aplicaciones en Industria 4.0.

Se trata de la tecnología que cambiará nuestras vidas tal y como la cambió la aparición de internet. La próxima evolución de internet, es el internet del valor, y es posible gracias al descubrimiento de la tecnología Blockchain.



2. Desarrollos futuros

En este punto van a tratarse posibles mejoras o complementos a este Trabajo Fin de Máster que no han sido desarrolladas aquí por encontrarse fuera del alcance del mismo.

En futuras versiones se podría hacer una revisión bibliográfica de algún concepto específico de los aparecidos en el texto utilizando ésta como base o referencia que se caracteriza por realizar un estudio general de las distintas aplicaciones de la tecnología Blockchain, concretamente en la Industria 4.0.

Además al tratarse de una tecnología en evolución constante y que su implantación está siendo paulatina en los tiempos actuales, de aquí a un cierto periodo, el estado del arte de del Blockchain habrá cambiado y habrá un mayor número de aplicaciones prácticas y ejemplos que las corroboren, por lo que una nueva investigación en el mismo campo complementaría a la presente.



3. Bibliografía

- Abeyratne SA, Monfared RP (2016) Blockchain ready manufacturing supply chain using distributed ledger. *International Journal of Research in Engineering and Technology* 5(9):1–10.
<https://doi.org/10.15623/ijret.2016.0509001>
- Agung, A. A. G., & Handayani, R. (2020). Blockchain for smart grid. *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences*.
- Al-Jaroodi, J., & Mohamed, N. (2019). Industrial applications of blockchain. In *2019 IEEE 9th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC)* (pp. 0550-0555). IEEE.
- Alonso Hernández, C. (2019). *Blockchain y criptomonedas*.
- Arvis J., Ojala L., Wiederer C., Shepherd B., Raj A., Dairabayeva K., Kiiski T. (2018). *Connecting to Compete 2018*.
- Avila Bula, M. A. D. (2019). *Sistema de votaciones con blockchain* (Master's thesis, Uniandes).
- Babiceanu RF, Seker R (2016) Big Data and virtualization for manufacturing cyber-physical systems: a survey of the current status and future outlook. *Comput Ind* 81:128–137.
- Barrutia Barreto, I., Urquiza Maggia, J. A., & Acevedo, S. I. (2019). Criptomonedas y blockchain en el turismo como estrategia para reducir la pobreza. *RETOS. Revista de Ciencias de la Administración y Economía*, 9(18), 287-302.
- Bartodziej, C. J. (2017). The concept industry 4.0. In *The concept industry 4.0* (pp. 27-50). Springer Gabler, Wiesbaden.



- Cabeza Gavira, R.M. (2018). Industria 4.0 y sus aplicaciones a la optimización de procesos y eficiencia energética.
- Castellanos Guerrero, D. A. (2020). Diseño de arquitectura para la aplicación de Blockchain en un caso de estudio de manufactura aditiva.
- Catalini, C., & Gans, J. S. (2020). Some simple economics of the blockchain. *Communications of the ACM*, 63(7), 80-90.
- Cheng Y, Tao F, Xu L, Zhao D (2016) Advanced manufacturing systems: supply–demand matching of manufacturing resource based on complex networks and internet of things. *Enterprise Information Systems* 12(7):780–797.
<https://doi.org/10.1080/17517575.2016.1183263>
- Cohn A., West T. & Parker C. (2017). “Smart After All: Blockchain, Smart Contracts, Parametric Insurance, and Smart Energy Grids,” *Georgetown Law Technology Review*, 1(2), pp.273-304.
- Corona, J. M., Cansino, O. D., Paulín, R. A., & Flores, M. A. (2021). ARQUITECTURA DE SERVIDORES EN LA NUBE IAAS. *Revista de divulgación científica y tecnológica*. ISSN, 2444, 4944.
- Cortés, C. B. Y., Landeta, J. M. I., & Chacón, J. G. B. (2017). El entorno de la industria 4.0: implicaciones y perspectivas futuras. *Conciencia tecnológica*, (54), 33-45.
- Crosby M, Nachiappan Pattanayak P, Verma S, Kalyanaraman V (2016) Blockchain technology: Beyond bitcoin. *Appl Innov Rev* 2:6–19.
- David, N., Justice, J., McNutt, J. (2015). *Transforming City Governments for Successful Smart Cities*, Springer International Publishing, Londres.



- Díaz Rojas, H. (2018). Industry 4.0: towards the electrification of energy. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 26(4), 544-545.
<https://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052018000400544>
- Dispenza, J.; García, C. y Molecke, R. (2017). «Energy Efficiency Coin (EECoin) A Blockchain Asset Class Pegged to Renewable Energy Markets».
- Gamage, H. T. M., Weerasinghe, H. D., & Dias, N. G. J. (2020). A survey on blockchain technology concepts, applications, and issues. *SN Computer Science*, 1(2), 1-15.
- Gisbert Soler, V., & Pérez Molina, A. I. (2019). Blockchain vs ISO 9001: 2015. *3C Tecnología*, 8(2), 37-48.
- He QP, Wang J (2017) Statistical process monitoring as a big data analytics tool for smart manufacturing. *J Process Control*.
- Holland, M., Nigischer, C., & Stjepandić, J. (2017). Copyright protection in additive manufacturing with blockchain approach. In *Transdisciplinary Engineering: A Paradigm Shift* (pp. 914-921). IOS Press.
- Ivanov, D., Dolgui, A., & Sokolov, B. (2019). The impact of digital technology and Industry 4.0 on the ripple effect and supply chain risk analytics. *International Journal of Production Research*, 57(3), 829-846.
- Jang SW, Kim GY (2017) A monitoring method of semiconductor manufacturing processes using internet of things-based big data analysis. *International Journal of Distributed Sensor Networks* 13(7):1–9.
<https://doi.org/10.1177/1550147717721810>
- Kamble, S., Gunasekaran, A., & Arha, H. (2019). Understanding the Blockchain technology adoption in supply chains-Indian context. *International Journal of Production Research*, 57(7), 2009-2033.



- Kennedy ZC, Stephenson DE, Christ JF, Pope TR, Arey BW, Barrett CA, Warner MG (2017) Enhanced anti-counterfeiting measures for additive manufacturing: coupling lanthanide nanomaterial chemical signatures with blockchain technology. *J Mater Chem C* 5(37):9570–9578
- Kim, S., & Deka, G. C. (Eds.). (2020). *Advanced applications of blockchain technology*. Springer.
- Ko, T., Lee, J., & Ryu, D. (2018). Blockchain technology and manufacturing industry: Real-time transparency and cost savings. *Sustainability*, 10(11), 4274.
- Korčok, D. (2016). Industry 4.0: The future concepts and new visions of factory of the future development. In *Sinteza 2016-International Scientific Conference on ICT and E-Business Related Research* (pp. 293-298). Singidunum University.
- Kozlenkova, I. V., Hult, G. T. M., Lund, D. J., Mena, J. A., & Kekec, P. (2015). The role of marketing channels in supply chain management. *Journal of Retailing*, 91(4), 586-609.
- Kshetri, N. (2018). 1 Blockchain's roles in meeting key supply chain management objectives. *International Journal of Information Management*, 39, 80-89.
- Kumar A, Shankar R, Choudhary A, Thakur LS (2016) A big data MapReduce framework for fault diagnosis in cloud-based manufacturing. *Int J Prod Res* 54(23):7060–7073.
- Kurpjuweit, S., Schmidt, C. G., Klöckner, M., & Wagner, S. M. (2021). Blockchain in additive manufacturing and its impact on supply chains. *Journal of Business Logistics*, 42(1), 46-70.



- Kusiak A (2018) Smart manufacturing. *Int J Prod Res* 56(1-2): 508–517.
<https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1351644>
- Lasseeter, R. H. & Paigi, P. (2004). “Microgrid: A conceptual solution,” In 2004 IEEE 35th Annual Power Electronics Specialists Conference, Vol. 6, pp. 4285-4290, IEEE.
- Lasi, H., Fettke, P., Feld, T. y Hoffmann, M. (2014). *Industry 4.0. Business & Information Systems Engineering*, 6 (4), 239-242.
- Lee JY, Yoon JS, Kim BH (2017) A big data analytics platform for smart factories in small and medium-sized manufacturing enterprises: an empirical case study of a die casting factory. *Int J Precis Eng Manuf* 18(10):1353–1361.
<https://doi.org/10.1007/s12541-017-0161-x>
- Li, Z., Zhong, R. Y., Tian, Z. G., Dai, H. N., Barenji, A. V., & Huang, G. Q. (2021). *Industrial Blockchain: A state-of-the-art Survey. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 70, 102124.
- Lombardi, M., Pascale, F., & Santaniello, D. (2021). *Internet of Things: A General Overview between Architectures, Protocols and Applications. Information*, 12(2), 87.
- Mani V, Delgado C, Hazen BT, Patel P (2017) Mitigating supply chain risk via sustainability using big data analytics: evidence from the manufacturing supply chain. *Sustainability* 9(4):608.
<https://doi.org/10.3390/su9040608>
- Márquez Díaz, J. (2020). *Inteligencia artificial y Big Data como soluciones frente a la COVID-19. Revista de Bioética y Derecho*, (50), 315-331.



- Marwala, T., & Xing, B. (2018). Blockchain and artificial intelligence. arXiv preprint arXiv:1802.04451.
- Maynés Moreno, G. (2018). Blockchain: Pasado, presente y futuro (Bachelor's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya).
- Mohamed, N., & Al-Jaroodi, J. (2019). Applying blockchain in industry 4.0 applications. In 2019 IEEE 9th annual computing and communication workshop and conference (CCWC) (pp. 0852-0858). IEEE.
- Moreno, R. F. P. (2019). Blockchain en la música: un método que protegerá la industria. *Tecnología Investigación Y Academia*, 7(1), 22-28.
- Nakamoto, S. (2008). Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System, 15 abril del 2008.
- Navidad Vidal, F.J. (2017). Simulación de flujo de tráfico mediante modelado basado en elementos discretos.
- Park JH, Jeong HY (2014) Cloud computing-based jam management for a manufacturing system in a Green IT environment. *J Supercomput* 69(3):1054–1067.
- Parrondo, L. (2018). Tecnología blockchain, una nueva era para la empresa.
- Pascual, A. P. (2017). Identidad digital sobre «Blockchain» a nivel nacional. *icade. Revista de la Facultad de Derecho*, (101).
- Peralta-Abarca, J. del C., Martínez-Bahena, B., & Enríquez-Urbano, J. (2021). Industria 4.0. *Inventio*, 16(39), 1–7.
<https://doi.org/10.30973/inventio/2020.16.39/4>



- Pereira, A. C., & Romero, F. (2017). A review of the meanings and the implications of the Industry 4.0 concept. *Procedia Manufacturing*, 13, 1206-1214.
- Preukschat, A. L. E. X. (2016). *Blockchain. La revolución industrial de internet.*
- Puyol Moreno, J. (2014). *Una aproximación a Big Data= An approach to Big Data.*
- Qu, Y.J., Ming, X.G., Liu, Z.W. et al. (2019). Smart manufacturing systems: state of the art and future trends. *Int J Adv Manuf Technol* 103, 3751–3768.
<https://doi.org/10.1007/s00170-019-03754-7>
- Retamal, C. D., Roig, J. B., & Tapia, J. (2017). *La blockchain: fundamentos, aplicaciones y relación con otras tecnologías disruptivas.* *Economía industrial*, 405, 33-40.
- Rodríguez Rodríguez, D. (2020). *Aplicación de Blockchain a Logística*
- Rouhiainen, L. (2018). *Inteligencia artificial.* Madrid: Alienta Editorial
- Rubiano Valbuena, M. A. (2020). *Industria 4.0.*
- Servera-Francés, D. (2010). Concepto y evolución de la función logística. *INNOVAR. Revista de Ciencias Administrativas y Sociales*, 20(38), 217-234.
- Tapscott, D., & Tapscott, A. (2017). *La revolución blockchain. Descubre cómo esta nueva tecnología transformará la economía global.* ediciones deusco. séptima edición. recuperado en [webdelprofesor. ula. ve/economia/oscard/materias/E_E_Mundial/Economia_Internacional_Krugman_Obstfeld. pdf.](http://webdelprofesor.ula.ve/economia/oscard/materias/E_E_Mundial/Economia_Internacional_Krugman_Obstfeld.pdf)



- Valencia, A., & Portilla, P. (2017). Internet Industrial de las Cosas (IIOT): Nueva Forma de Fabricación Inteligente.
- Wan JF et al (2017) A manufacturing big data solution for active preventivemaintenance. IEEE Trans Ind Inform 13(4):2039–2047.
- Wang RD, Sun XS, Yang X, Hu H (2016). Cloud computing and extreme learning machine for a distributed energy consumption forecasting in equipment-manufacturing enterprises. Cybern Inf Technol 16(6):83–97.
- Wang W, Yang H, Zhang Y, Xu J (2017) IoT-enabled real-time energy efficiency optimisation method for energy-intensive manufacturing enterprises. Int J Comput Integr Manuf 31(4-5): 362–379.
<https://doi.org/10.1080/0951192X.2017.1337929>
- Wu DZ, Jennings C, Terpenney J, Gao RX, Kumara S (2017) A comparative study on machine learning algorithms for smart manufacturing: tool wear prediction using random forests. Journal of Manufacturing Science and Engineering-Transactions of the Asme 139(7):071018–0711–9.
<https://doi.org/10.1115/1.4036350>
- Xu Y, Chen M (2017) An internet of things based framework to enhance just-in-time manufacturing. Proc Inst Mech Eng B J Eng Manuf 232(13):2353–2363.
<https://doi.org/10.1177/0954405417731467>
- Yáñez Brea, F. (2017). Las 20 tecnologías clave de La Industria 4.0 : el camino hacia la fábrica del futuro . Independently published.
- Yiu, N. C. (2021). Toward Blockchain-Enabled Supply Chain Anti-Counterfeiting and Traceability. Future Internet, 13(4), 86.



- Zhang YF et al (2017) A big data analytics architecture for cleaner manufacturing and maintenance processes of complex products. J Clean Prod 142:626–641.
- Zhou, K., Liu, T. y Zhou, L. (2015). Industry 4.0: Towards future industrial opportunities and challenges. 12th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (fskd). ieee, 2147-2152.
<https://doi.org/10.1109/FSKD.2015.7382284>