



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería de Organización Industrial

**Estudio de implantación de blockchain en la
cadena de suministro de Cidacos**

Autor:

Diez Bermejo, Sergio

Tutor(es):

**Gonzalo Tasis, Margarita
Departamento de informática**

Valladolid, mayo 2024

AGRADECIMIENTOS:

Quiero expresar mi agradecimiento a la universidad y su equipo de docencia por haberme brindado la oportunidad de adquirir una gran cantidad de conocimientos que serán fundamentales a lo largo de mi vida, y, en especial, a Margarita Gonzalo por ofrecerme apoyo en la etapa final del grado de Organización Industrial.

También quiero agradecer a mi familia quienes han sido los primeros en darme los pilares de mi educación y la posibilidad de realizar el grado, ofreciéndome tiempo, recursos y motivación.

Por último, agradecer a mis amigos quienes han sido una fuente de inspiración y una referencia que me ha impulsado a mantenerme en movimiento e ir consiguiendo nuevas metas y objetivos.

RESUMEN:

El presente trabajo de fin de grado (TFG) tiene como objetivo mostrar las oportunidades y desventajas de la tecnología blockchain en la cadena de suministro mediante un caso práctico de implementación en la empresa de legumbres y verduras, Cidacos.

La tecnología blockchain ha aparecido en los últimos años como una nueva herramienta con gran relevancia dentro de la industria 4.0, debido a sus rasgos característicos que son la seguridad, inmutabilidad y transparencia de la información.

Inicialmente, se contextualizará el concepto de cadena de suministro, mostrando su evolución, el papel que juega en las empresas y las metodologías utilizadas.

Posteriormente, se expondrá el marco teórico de la tecnología blockchain, con información acerca de su origen, estructura y funcionamiento que generan unos valores únicos como herramienta en las empresas.

Por último, se realizará un supuesto práctico implantando blockchain y los contratos inteligentes en la empresa Cidacos para estudiar su viabilidad.

PALABRAS CLAVE:

Blockchain, Contratos inteligentes, Cadena de suministro, Industria 4.0, Cidacos.

ABSTRACT:

The aim of this Bachelor Theses is to show the opportunities and disadvantages of blockchain technology in the supply chain through a practical case study of the implementation in the legumes and vegetables company, Cidacos.

Blockchain technology has emerged in recent years as a new tool with significant relevance in Industry 4.0, due to its characteristic features, which are security, immutability, and transparency of information.

First, the concept of the supply chain will be contextualized, showing its evolution, the role it plays in companies, and the methodologies used.

Then, the theoretical framework of blockchain technology will be presented, with information about its origin, structure, and operation that generate unique values as a tool in companies.

Finally, a practical assumption will be made by implementing blockchain and smart contracts in Cidacos company to study its viability.

KEY WORDS:

Blockchain, Smart Contracts, Supply Chain, Cidacos, Industry 4.0.

ÍNDICE:

CAPÍTULO 1: Introducción.....	1
1.1) Contexto y justificación	2
1.2) Objetivos y alcance.....	2
1.3) Planificación del proyecto	3
1.4) Planificación ideal	5
1.5) Análisis de riesgos.....	6
1.6) Planificación real	9
CAPÍTULO 2: Logística y cadena de suministro.....	11
2.1) Evolución de la logística y cadena de suministros.....	11
2.2) Conceptos básicos: Logística y cadena de suministro	15
2.3) Papel de la logística en la empresa	20
2.4) Importancia de la logística en la economía.....	21
2.5) Metodologías clásicas.....	22
2.6) Industria 4.0	34
CAPÍTULO 3: Blockchain	37
3.1) Introducción blockchain.....	37
3.2) Origen de la tecnología Blockchain.....	38
3.3) Concepto Blockchain (cadena de bloques)	38
3.1) Tipo de red de comunicación	39
3.2) Tipos cadenas de bloques	40
3.3) HASH	41
3.4) ¿Cómo se crean los bloques en blockchain?	43
3.5) Protocolos de consenso	45
3.6) Smart contracts	46
3.6.1) Ejemplo de contrato inteligente	48
3.6.2) Ventajas y desventajas de los smart contracts.	49
3.7) Blockchains más conocidas	49
3.8) Sectores de aplicación.....	51
3.9) Limitaciones Blockchain	54
3.10) Seguridad y privacidad en blockchain.....	58
3.10.1) Posibles soluciones en seguridad y privacidad.....	60

3.11) Casos de éxito de implantación blockchain	60
CAPÍTULO 4: Caso práctico de Implementación blockchain en cadena de suministro.	63
4.1) Posibles empresas para realizar el caso práctico:	63
4.2) Empresa objetivo: CIDACOS	64
4.3) Descripción del problema	66
4.4) Objetivos clave implementación blockchain	67
4.5) Participantes en la blockchain.....	69
4.6) Características blockchain para Cidacos	75
4.7) Resumen características blockchain Cidacos	81
4.8) Cadena de suministro Cidacos incluyendo blockchain.....	82
4.9) Tecnologías necesarias para habilitar la blockchain en la cadena de suministro de Cidacos.	90
4.10) Ejemplo práctico del recorrido de un lote.....	102
4.11) Otras fuentes de venta.	113
4.12) Análisis económico de implantación	114
4.13) Resumen cumplimiento objetivos iniciales implantación	118
4.14) Debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades blockchain.	119
CONCLUSIÓN.....	121
BIBLIOGRAFÍA	125

ÍNDICE DE FIGURAS:

Figura 1 Valores Agile	4
Figura 2: Metodología Scrum	5
Figura 3: Tablero Trello	9
Figura 4. Bullwhip Effect.....	12
Figura 5. Supply Chain – Logistics.....	16
Figura 6: Flujos cadena de suministro	17
Figura 7: Flujo inverso.....	19
Figura 8: Información sector logística	22
Figura 9: Gráfica empleados sector logístico.....	22
Figura 10: Sakichi Toyoda, Kiichiro Toyoda, Eiji Toyoda y Taichi Ohno.	23
Figura 11: Telar automático de Toyoda Automatic Loom Works Telar.....	24
Figura 12: Toyoda Model AA SD 1st	24
Figura 13: Pilares TPS.....	25
Figura 14: Etapas 5S	27
Figura 15: Ejemplo producción nivelada	28
Figura 16: System pull	29
Figura 17: Tablero Kanban.....	30
Figura 18. Ejemplo SMED.....	31
Figura 19: Objetivo TPM	32
Figura 20: Sistema automatizado y auto-monitorizado	33
Figura 21: Primer ejemplo Poka-yoke.....	33
Figura 22: Segundo ejemplo Poka-yoke	34
Figura 23: Revoluciones industriales.	35
Figura 24: Blockchain	37
Figura 29: Esquema smart contract	47
Figura 30: Logo bitcoin	50
Figura 31: Logo Ethereum	50
Figura 32: Costes dapp por sector.....	55
Figura 33: Gastos anuales bitcoin	57
Figura 34: Ethereum gasto de energía.....	57
Figura 35: Logo Cidacos	65
Figura 36: Mapa distribución Cidacos.....	65
Figura 37: Participantes blockchain	69
Figura 38: Mapa producción Cidacos.....	70
Figura 39: Planta de Coria.....	71
Figura 40: Logifood participante blockchain.....	72
Figura 41: Certificaciones de calidad	73
Figura 42: Vechain	76
Figura 43: Hyperledger	77
Figura 44: Enterprise Ethereum Alliance.....	78

Figura 45: IBM Food Trust	79
Figura 46: Cadena de suministro agrícola.....	82
Figura 47: Producción cultivos	83
Figura 48: Planta de Coria	84
Figura 49: Planta La Puebla de Montalbán	87
Figura 50: Productos Cidacos en supermercado	89
Figura 51: Sonda de humedad multinivel Buitech.....	91
Figura 52: Sensor de clima Buitech	92
Figura 53: Panel de control Buitech Lite.....	92
Figura 54: Sensor de temperatura TS Seemoto	93
Figura 55: Pasarela de visualización Seemoto DGW.....	93
Figura 56: Oracle JD Edwards.....	94
Figura 57: Dispositivos móviles Intermech.....	94
Figura 58: Dashboard IBM Food trust.....	95
Figura 59: Panel de búsqueda trazabilidad IBM Food trust.....	96
Figura 60: Panel de búsqueda IBM Food trust (2).....	96
Figura 61: Trazabilidad de un producto IBM Food trust	97
Figura 62: Trazabilidad de un ingrediente IBM Food trust.....	97
Figura 63: Esquema trazabilidad ingredientes IBM Food trust.....	98
Figura 64: Ventana documentos y certificaciones en detalle de un producto. IBM Food trust	98
Figura 65: Biblioteca de documentos y certificados IBM Food trust	99
Figura 66: Detalle de documento-certificado. IBM Food trust	99
Figura 67: Panel de gestión aplicación para consumidor. IBM Food trust. ..	101
Figura 68: Ejemplo dapp descentralizada. IBM Food trust	101
Figura 69: Diagrama cadena de suministro..	102
Figura 70: Diagrama cadena de suministro (Cultivo)..	102
Figura 71: Smart contract cultivo.	103
Figura 72: Smart contract recolección.	103
Figura 73: Smart contract solicitud ayuda.....	104
Figura 74: Smart contract seguro.	104
Figura 75: Smart contract de pago..	104
Figura 76: Diagrama cadena de suministro (Acopio y transporte)..	105
Figura 77: Smart contract transporte.	105
Figura 78: Smart contract de pago..	106
Figura 79: Diagrama de cadena de suministro (procesado y envasado).....	106
Figura 80: Smart contract de procesado.	107
Figura 81: Smart contract de envasado..	107
Figura 82: Diagrama de cadena de suministro (Distribución)..	107
Figura 83: Smart contract de almacenamiento.	108
Figura 84: Smart contract de distribución.....	108
Figura 85: Diagrama de cadena de suministro (venta)..	109
Figura 86: Smart contract de venta.	109

Figura 87: Etiquetado con QR en conserva.....	110
Figura 88: Cadena de suministro Cidacos.	111
Figura 89: Ejemplo página web blockchain pública Cidacos.....	114
Figura 90: Tarifas IBM Food Trust.....	116

ÍNDICE DE TABLAS:

Tabla 1: Planificación ideal	6
Tabla 2: Tabla de riesgos en planificación del proyecto.....	8
Tabla 3: Resumen información smart contracts en Cidacos	113
Tabla 4: Costes implantación blockchain en Cidacos.	118
Tabla 5: DAFO Implantación blockchain en Cidacos	120

CAPÍTULO 1: Introducción

En el último siglo, los conceptos de logística y cadena de suministro han ido evolucionando drásticamente, pasando de ser sectores descuidados e invisibles para las empresas a convertirse en la clave para generar beneficios en ellas en el siglo XXI, especialmente en tiempos de crisis y de conflictos.

Los conceptos de cadena de suministro y logística están directamente relacionados con el progreso industrial, sus avances y sobre todo con el desarrollo de sus herramientas. Empezando con una industria impulsada con máquinas de vapor simples y con herramientas de gestión de la producción casi nulas, hasta la actualidad con maquinaria electrónica automatizada e inteligente y una búsqueda de optimización para las empresas.

A mediados del siglo XX, surgieron innovaciones y avances como la electricidad, o el petróleo, además de la producción en masa o el ensamblaje en línea, todo ello llevó a la implementación de herramientas básicas de gestión y organización. Posteriormente, tras periodos posteriores a la segunda guerra mundial, empezaron a aparecer figuras como Henry Ford y la familia Toyota, quienes revolucionaron la producción con métodos como el sistema de producción de Toyota, precursores de las metodologías de gestión y todavía utilizadas hoy en día como *Lean manufacturing*, destacando los valores e importancia de la eficiencia productiva.

Con la expansión de las metodologías *Lean* se destapó la importancia y necesidad de una cadena de suministro optimizada en las empresas, siendo un factor clave para la generación de valor. Gracias a utilizar este enfoque de optimización se desarrollaron herramientas avanzadas llegando a una producción cada vez más automatizada e inteligente. A día de hoy, la maquinaria y sistemas de almacenamiento se han convertido en piezas capaces de realizar tareas complejas e intercambiar información entre ellas sin intervención humana.

Sin embargo, la evolución no se detiene, aunque en los últimos años hayamos sido testigos de increíbles avances como la reciente inteligencia artificial. Este, por ejemplo, es un indicativo entre muchos otros de que la industria está constantemente en búsqueda de nuevas herramientas y tecnologías para mejorar la productividad. En este contexto de continuo cambio y evolución surge el entorno perfecto y la necesidad de explorar las nuevas tecnologías emergentes como lo es blockchain, la cual podría generar un cambio radical en la cadena de suministro en la era digital.

1.1) Contexto y justificación

En la actualidad, como se ha comentado en la introducción, las empresas se encuentran en una época de transformación digital, en la que la aparición de nuevas herramientas tecnológicas es lo más común. Esta situación genera que las empresas tengan que adaptarse a las nuevas tecnologías para seguir siendo competitivas, y, por lo tanto, genera un interés dentro de mí en cuáles son las que están en implantación hoy en día.

Blockchain es una de las tecnologías en auge en los últimos años, con un potencial de mejora en bastantes sectores empresariales. Entre otros, esta tecnología está ligada directamente con el sector financiero con las criptodivisas, que es otro de los temas de actualidad que están generando interés en la población.

Por lo tanto, la presente curiosidad sobre los últimos avances utilizados en la industria y unida a un tema de interés social de la actualidad como son las criptomonedas, hicieron que me decantara por analizar e investigar más sobre la tecnología *blockchain*. En concreto, enfocando la investigación a la aplicación en la gestión de la cadena de suministro, un ámbito relacionado por completo con el grado de Organización Industrial.

1.2) Objetivos y alcance

Los objetivos y alcance del trabajo de fin de grado son cuatro principalmente:

- **Concepto cadena de suministro:** El primero de los objetivos, es contextualizar el sector sobre el que se quiere utilizar la herramienta de blockchain. Para ello se intentará proporcionar de forma clara información acerca del concepto de la cadena de suministro y su importancia en el ámbito empresarial.
- **Analizar tecnología blockchain:** El segundo objetivo será realizar un análisis en profundidad de la tecnología blockchain. Se investigarán y mostrarán las bases de la tecnología, sus características clave, así como sus potenciales aplicaciones en los distintos sectores empresariales.
- **Aplicación práctica:** El siguiente objetivo será estudiar la cadena de suministro de una empresa y realizar una implantación de la forma más realista y óptima de la tecnología blockchain gracias a los conocimientos teóricos adquiridos.
- **Viabilidad y rentabilidad blockchain:** Por último y relacionado con todos los objetivos anteriores se analizará la viabilidad y rentabilidad de la

tecnología para comprobar si su implantación representa una mejora significativa en las cadenas de suministro.

1.3) Planificación del proyecto

En este apartado se presentará la planificación inicial del proyecto. La planificación se ha realizado con la metodología SCRUM basada en *Agile*, con la utilización de *sprints* para dividir el trabajo en pequeñas porciones o tareas que faciliten su realización. El objetivo de esta planificación es tener una guía clara y realista que permita llevar a cabo el proyecto de manera organizada. Además, se incluirá un análisis de los posibles riesgos que puedan surgir en el proceso y las estrategias para prevenirlos. Posteriormente, se incluirá una sección de planificación real que permita comparar la planificación inicial con la ejecución real del proyecto, lo que ayudará a identificar áreas de mejora para futuros proyectos.

Historia metodología utilizada en la planificación.

En 2001 nació el Manifiesto Agile¹ firmado por 17 expertos de las principales empresas de software, el cual se basa en 4 valores y 12 principios para atender las necesidades de sus clientes. *Agile* es una herramienta con mucha relación con las herramientas de *Lean*, pero se centra más en empresas de software, consultoría o proyectos, dejando algo más de lado el ámbito industrial. Este conjunto de principios va de la mano con el marco de trabajo SCRUM, que se centra en estructurar y gestionar los proyectos en pequeñas partes gracias a sus cinco fases. Esta metodología es la utilizada en la planificación del actual TFG y sus fases se explicarán más adelante.

Volviendo a la metodología *Agile*, es una metodología con un enfoque iterativo e incremental para la gestión de proyectos, centrado en entregas rápidas y de calidad a los clientes. Esta metodología principalmente se basa en la flexibilidad y la adaptación a los cambios en los requisitos del proyecto. Los cuatro valores fundamentales son: individuos e interacciones sobre procesos y herramientas, software funcional, colaboración con el cliente y respuesta al cambio (Uribe & Ayala, 2007).

¹ Información adicional: <https://agilemanifesto.org/iso/es/principles.html>



Figura 1 Valores Agile (<https://viewnext.usal.es/blog/explicaci%C3%B3n-de-los-valores-%C3%A1giles>)

Algunas de las herramientas que utiliza la metodología Agile el *Scrum*, *Kanban*, *Extreme Programming (XP)*² y se apoya en un *Lean Startup*³. Estas herramientas se centran en que los participantes en el proyecto sean más colaborativos, con mayor capacidad de detección y resolución de problemas y gracias a esto se consigue un trabajo de mayor calidad.

Por otro lado, *Agile*, muestra ciertas debilidades como son la dificultad en la estimación del tiempo y costo de los proyectos, pudiendo llevar a retrasos en las entregas. También una posible falta de documentación detallada a largo plazo y la necesidad de una comunicación efectiva.

La herramienta que utilizaremos será SCRUM, que como se ha indicado antes sigue cinco eventos o fases a cumplir idealmente para su correcta ejecución. Primero se definirá el termino de *sprint* y después se describirán las cinco fases.

Sprint: Es un periodo de tiempo fijo y predefinido en el que el equipo que trabaja con scrum organiza el trabajo de acuerdo con las capacidades disponibles. Esta es una iteración temporalmente definida, que sirve para organizar y realizar el trabajo de una forma más rápida a la planificación de un proyecto completo [30].

1. **Sprint planning:** Es una reunión en la que participa todo el equipo de organización para definir las tareas que se realizaran en el próximo sprint, además del tiempo estimado de la realización.

² Más información: <https://www.obsbusiness.school/blog/metodologias-agiles-scrum-y-kanban-y-xp>

³ Más información: <https://www.iebschool.com/blog/lean-startup-agile-scrum-emprendedores/>

2. **Daily scrum:** Las reuniones *daily* o diarias son reuniones breves que el equipo habla sin entrar en detalle sobre los avances del día pasado y de sus objetivos para el día de hoy.
3. **Sprint review:** Son reuniones en las que participan los clientes para mostrar los resultados obtenidos durante la semana y así recibir feedback sobre ellos.
4. **Retrospective:** Reunión final donde el equipo de organización se une para evaluar el sprint realizado y buscar puntos de mejora para los próximos sprints.
5. **Refinement:** Reunión dentro del sprint para aclarar posibles dudas sobre las tareas a realizar en la misma semana.

La metodología scrum también cuenta con ciertos roles y artefactos ⁴ que no tendremos en cuenta de forma directa para la aplicación en el proyecto.

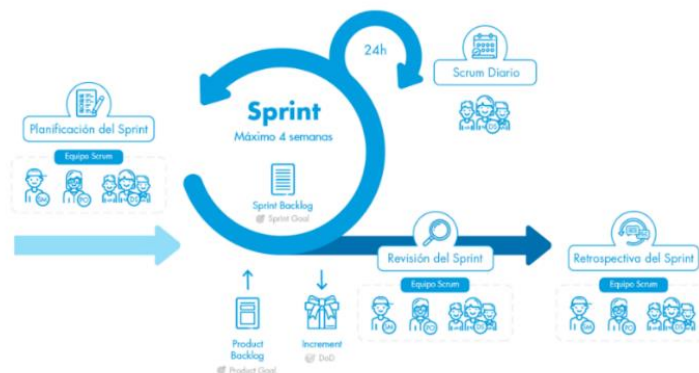


Figura 2: Metodología Scrum (<https://www.linkedin.com/pulse/agile-y-scrum-te-acabes-dgmxtech/?originalSubdomain=es>)

1.4) Planificación ideal

Tras poner contexto sobre la metodología utilizada, se aplicará a la realización del presente documento. Con este objetivo, los primeros pasos serán analizar los recursos de tiempo disponibles, realizar una estimación aproximada del tiempo de realización del trabajo de fin de grado y hacer una división de los contenidos del trabajo.

Inicialmente los valores de la planificación ideal serían los siguientes:

⁴ Información adicional roles y artefactos SCRUM: <https://aws.amazon.com/es/what-is/scrum>

Planificación ideal	
Tiempo realización TFG	300 h
Sprint	Semanal
Horas sprint	15-18 h
Número sprints	20
Fecha fin del proyecto	28 Julio

Tabla 1: Planificación ideal

Para determinar las horas que llevará realizar el trabajo de fin de grado se ha consultado la aproximación otorgada por la UVA.

En cuanto la división del trabajo se ha realizado siguiendo el método scrum, definiendo los siguientes eventos:

En el caso del proyecto de fin de grado se realizarán sprints semanales, es decir, se irá definiendo el trabajo ajustado para cada semana. Estos sprints tendrán unas capacidades de 15-18 horas, lo que quiere decir que ese será el tiempo que se dedicará a la realización del proyecto cada semana.

Aplicando al TFG las fases de la metodología SCRUM, se ha determinado que al final de cada sprint, en este caso los viernes de cada semana, se realizará una reunión para revisar los avances de la semana y planificar el trabajo del próximo sprint. En la metodología scrum estaríamos mezclando el *sprint planning* y el *sprint review* en una misma reunión semanal.

Conociendo el tiempo aproximado de la realización del proyecto y la capacidad semanal, de forma ideal si no sucediera ningún imprevisto se podría determinar que la fecha de finalización del proyecto sería el 28 de Julio de 2023.

1.5) Análisis de riesgos

Durante la realización del proyecto pueden aparecer los siguientes riesgos o imprevistos que produzcan retrasos en la realización del trabajo de fin de grado, alejándonos de la planificación ideal. Se han descrito también las posibles medidas preventivas para reducir la probabilidad de aparición de cada riesgo y así evitar al máximo que se entorpezca la realización del TFG.

Riesgo 1	Falta de disponibilidad
Descripción del riesgo	Es posible que algunas semanas no se disponga de tiempo suficiente para dedicar al proyecto debido a otros compromisos, como exámenes, trabajo u otras asignaturas.
Probabilidad	Alta
Medidas preventivas	Para prevenir la falta de tiempo es fundamental establecer un plan de trabajo con plazos definidos y realistas, y priorizar las tareas más importantes.

Riesgo 2	Falta de recursos
Descripción del riesgo	Es posible que no se disponga de los suficientes recursos para realizar el TFG como aplicaciones de libre uso, lo que puede retrasar el proyecto o incluso hacer que sea imposible de completar.
Probabilidad	Baja
Medidas preventivas	Analizar previamente los recursos necesarios.

Riesgo 3	Planificación muy optimista
Descripción del riesgo	Es posible que se haya realizado una planificación que difiera de los tiempos reales o que aparezcan imprevistos que conlleven retrasos en la planificación.
Probabilidad	Alta
Medidas preventivas	<ul style="list-style-type: none"> • Es necesario realizar un estudio inicial que permita definir de manera precisa los puntos del proyecto. De esta forma, se pueden evitar cambios innecesarios en las necesidades del proyecto que puedan retrasar su realización. • Ser realista con en la estimación de tiempos. • Considerar imprevistos en la planificación.

Riesgo 4	Falta de motivación
Descripción del riesgo	Durante la realización del trabajo de fin de grado podría generarse un desgaste mental.
Probabilidad	Media
Medidas preventivas	<ul style="list-style-type: none"> • Establecer objetivos claros y realistas. • Mantener una comunicación constante con el tutor. • Buscar incentivos o recompensas por el logro de metas intermedias. • Recordar la importancia del trabajo y la relevancia del tema elegido en la actualidad.

Riesgo 5	Falta de conocimiento técnico
Descripción del riesgo	Podría darse el caso de que algunos de los temas a analizar sean demasiado complejos o lleve mucho tiempo su entendimiento.
Probabilidad	Baja
Medidas preventivas	Dedicar tiempo al estudio y familiarización con las herramientas y tecnología necesarias.

Riesgo 6	Cambios en el alcance del proyecto
Descripción del riesgo	Si el alcance del proyecto cambia significativamente durante su desarrollo, puede ser necesario revisar el plan original y esto puede llevar a retrasos en la realización del proyecto.
Probabilidad	Media
Medidas preventivas	<ul style="list-style-type: none"> • Realizar un estudio inicial que permita definir de manera precisa los puntos del proyecto. • Evitar cambios innecesarios en las necesidades del proyecto

Riesgo 7	Problemas técnicos
Descripción del riesgo	Pueden surgir problemas técnicos inesperados durante el desarrollo del proyecto, como fallos en el hardware o software, que podrían retrasar el proyecto.
Probabilidad	Baja
Medidas preventivas	Realizar copias de seguridad periódicas.

Riesgo 8	Problemas coordinación con el tutor
Descripción del riesgo	Incompatibilidad de horarios entre estudiante y tutor.
Probabilidad	Media
Medidas preventivas	Se harán llamadas semanales después de cada sprint de trabajo para comprobar el avance semanal y establecer nuevos objetivos para el siguiente.

Riesgo 9	Problemas conexión internet
Descripción del riesgo	Problemas con la conexión red para la búsqueda de información.
Probabilidad	Baja
Medidas preventivas	<ul style="list-style-type: none"> • Utilizar conexiones vía datos móviles como respaldo. • Continuar el trabajo en bibliotecas o universidad en caso de interrupciones en el hogar.

Tabla 2: Tabla de riesgos en planificación del proyecto.

1.6) Planificación real

El comienzo del trabajo de fin de grado se gestionó mediante sprints utilizando el software de gestión de tareas Trello basado en *Kanban*, en el que se fueron definiendo las tareas a realizar en cada semana gracias a las reuniones semanales de sprint planning.

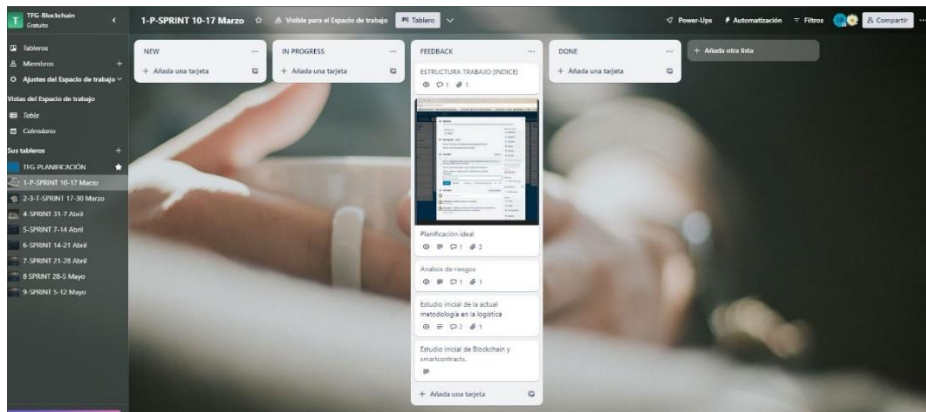


Figura 3: Tablero Trello

La primera semana de dedicación en el proyecto o **primer sprint** se utilizó para llevar a cabo las siguientes tareas:

- **Estructuración general del trabajo:** Se puntualizaron todos los apartados a realizar en el trabajo de fin de grado de forma provisional.
- Se llevo a cabo una **búsqueda bibliográfica** de los libros y artículos más relevantes existentes acerca de los temas a tratar en el trabajo de fin de grado y se asignaron a los puntos descritos en la estructuración del trabajo.
- Se realizó un estudio y **análisis inicial de las metodologías en la cadena de suministro** para la realización del segundo capítulo del trabajo.
- Se realizó un estudio y **análisis inicial de la tecnología blockchain y los contratos inteligentes** para la futura realización del tercer y cuarto capítulo del trabajo de fin de grado.
- Se describió la **planificación ideal y el análisis de riesgos** presentes en el proyecto de fin de grado.

Tras la realización de estas tareas se redujeron algunos riesgos comentados anteriormente y se pudieron establecer las bases para una correcta realización del proyecto.

El **segundo y tercer sprint** se comenzó con el segundo capítulo avanzándolo en gran medida y dedicando aproximadamente las 15 horas correspondientes por sprint.

En cambio, la realización de los siguientes sprints fue irregular por la aparición del principal riesgo analizado, la falta de disponibilidad del equipo, por motivos externos como la realización de las prácticas de empresa y posteriormente la contratación como trabajador o el periodo vacacional del profesorado, lo que hizo que se disminuyera el tiempo dedicado al trabajo de fin de grado y el tiempo entre las reuniones semanales.

Además, aparecieron otros riesgos que incrementaron el tiempo de retraso, como son los cambios en el alcance del proyecto o la suposición de un tiempo de realización total del trabajo demasiado bajo. Por último, debido a alguna pausa, el tiempo de recuperación del hilo del trabajo también generó ciertos retrasos.

Esto hizo que la planificación ideal sufriera un desvío considerable en la planificación y la necesidad de adoptar reuniones adaptadas a la carga dedicada en la semana debido a la gran variabilidad de disponibilidad, aprovechando los periodos vacacionales del trabajo del estudiante para realizar avances.

CAPÍTULO 2: Logística y cadena de suministro

2.1) Evolución de la logística y cadena de suministros.

La logística y la cadena de suministros han evolucionado a lo largo de los años, adaptándose a las exigencias y requerimientos que han ido surgiendo con las distintas épocas. La logística ha existido desde tiempos inmemorables, pero, la palabra cobró sentido en la antigua Grecia y el Imperio Romano con los “*logístikas*”, que eran los oficiales militares encargados de abastecer al ejército. El término proviene de la palabra “*logistikos*”, que significa razonamiento o cálculo (Roig M. V.& Castillo C., 2022).

Los elementos de la logística han ido jugando diferentes papeles a lo largo de su desarrollo. Sin embargo, solo recientemente se ha reconocido como una pieza fundamental en el entorno empresarial y económico.

El desarrollo de la logística se puede dividir en varias etapas:

Década de los 30-40

Inicialmente, la palabra logística tenía su significado solo en usos militares para el abastecimiento de material y armas de guerra. En esta década la logística no era considerada una disciplina formal, centrándose solamente en la planificación y ejecución básica de actividades.

Durante la segunda guerra mundial adquirió más importancia al llevar a cabo estrategias con las tropas en los diferentes frentes, llevando a un desarrollo de técnicas de inventarios y distribución. Después de la guerra, surgió un gran interés por la logística en los negocios, asemejando los procesos de abastecimiento llevados a cabo en el ámbito militar con los procesos realizados en la producción industrial. (de Catalunya, C. L.,2017)

Década de los 50

No fue hasta los años 50 que la palabra amplió su significado al ámbito empresarial cuando surgieron problemas en la distribución. En esta época el mundo empresarial se vio obligado a evolucionar para igualar el gran volumen de producción y venta en los países más desarrollados.

En este periodo, los sistemas de distribución eran no planificados, es decir, los fabricantes se dedicaban a fabricar y las tiendas minoristas a vender, pero no se daba casi nada de importancia a la distribución y solo

se centraban en los costes de fabricación (Rushton et al.,2022). Para suplir la demanda lo único que hacían las empresas en la cadena de suministro era aumentar el pronóstico de ventas, lo que hacía que en cada eslabón aumentará una falsa demanda y provocará un aumento de costos de producción, almacenamiento y reduciendo la rentabilidad al tener stocks muy grandes. A este fenómeno de aumento del pronóstico de ventas se le llama *Bullwhip effect*. (Gómez et al., 2018)

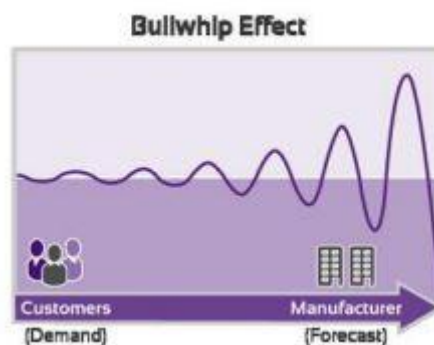


Figura 4. Bullwhip Effect (Gómez et al., s/f)

Desde este momento se empieza a crear un interés por la administración del transporte y reducción de los costos, poniendo el foco en optimizar los canales de distribución, y empezando a aparecer preocupación por dar un buen servicio al cliente final.

Década de los 60

La logística era un aspecto desatendido, la dirección de progreso solo se centraba en reducir sus costos de producción. Se había dedicado tan poco esfuerzo en desarrollar este aspecto que Peter Drucker (1962) en su artículo "El continente negro de la economía" escribe:

"Sabemos ahora un poco más sobre distribución que lo que sabían los contemporáneos de Napoleón sobre el interior de África. Sabemos que está ahí y que es grande; eso es todo. Hay muchos expertos en las fases individuales: transporte y almacenamiento, venta y hábitos de compra de los consumidores, etiquetado y empaque, factoraje y seguros. Pero cuando una importante dependencia gubernamental solicitó dos o tres consultores sobre distribución, de mucha gente a la que se preguntó en la industria, en el gobierno y aun en las universidades nadie pudo nombrar un solo candidato calificado..."

Esto ayudó al reconocimiento de esta área formada por una serie de actividades físicas interrelacionadas, como son el transporte, almacenamiento, manejo de materiales y empaque para que se gestionaran de una manera más efectiva (Rushton et al., 2022).

En la década de los sesenta ya se comenzó a desarrollar los primeros centros de distribución, se estableció un puesto de gerente de distribución física que planificaba y administraba los intercambios comerciales de distribución, proporcionando un mejor servicio y costes reducidos. De esta forma, los fabricantes empezaron a reconocer los beneficios de una buena distribución [21].

Además, surgieron estrategias como el “*Outsourcing*”, el cual consistía en subcontratar empresas logísticas para evitar llevar a cabo el ámbito logístico y seguir dedicándose plenamente a la producción. (de Catalunya, C. L., 2017)

Década de los 70

Durante esta década se produjeron más avances en el desarrollo del concepto de distribución, llevando a las empresas a la necesidad de incluirla en la gestión funcional de la organización, siendo este un requisito para los líderes de mercado. En este punto, nace el concepto de Distribución Física [21], que es la actividad de la empresa encargada de realizar el desplazamiento de los productos por los canales de distribución, con el objetivo de incorporar el transporte masivo.

Un punto a destacar en este periodo fue el declive del poder de los fabricantes y proveedores, aumentando el de los minoristas, quienes se centraron más en desarrollar sus estructuras de distribución.

En este periodo tras la crisis del petróleo en 1973 se empezó a utilizar en las empresas automovilísticas una de las metodologías más conocidas actualmente, el *Just in Time (JIT)* en la producción (Roig M. V. & Castillo C., 2022), sobre el que hablaremos más adelante. Además, se continuó con el estudio de la optimización de costos en la logística, ya que representaban valores aún muy altos.

Década de los 80

En la década de los ochenta la logística se consideró de forma definitiva un elemento clave, que otorgaba ventajas competitivas destacables siendo muy importante para generar valor en las empresas, vía diferenciación y vía reducción de costes.

En la segunda parte de la crisis económica de los años 80 se dio mayor importancia al cliente, reduciendo los tiempos de entrega y mejorando

la coordinación entre el abastecimiento, la manufactura y la distribución, para incrementar la productividad.

En este periodo, la profesionalización dentro de la distribución se logró gracias a la visualización de los verdaderos costos que conllevaba esta labor, generando una nueva tendencia de las empresas a planificar a largo plazo, reducir inventarios y la utilización de equipos de información. Además, el auge de las empresas de servicios de distribución de terceros fomentó esta tendencia, siendo líderes en desarrollo de tecnología de la información.

En cuanto al término JIT evolucionó hacia el objetivo de una respuesta rápida y eficiente al cliente, apareciendo el *Quick Response* (QR)⁵ y el *Efficient consumer response* (ECR)⁶ como nuevas estrategias en respuesta a las necesidades, buscando así conseguir entregas satisfactorias a los clientes en el momento correcto (de Catalunya, C. L.,2017).

Tras todo lo comentado anteriormente, el concepto de logística seguía teniendo un significado pobre, hasta que finalmente, con la importancia que fue consiguiendo a lo largo de los últimos años, en 1986 el *Council of Supply Chain Management Professionals* (CSCMP) dio la siguiente definición formal “*parte de la gestión de la cadena de suministro que planifica, implementa, controla el flujo y el almacenamiento eficaz de los bienes, servicios e información relacionada desde el punto de origen al punto de consumo para satisfacer los requerimientos de los consumidores*” [4].

Desde este momento se consolidó la logística como una disciplina empresarial estratégica, impulsando el desarrollo de nuevas metodologías para la gestión de la cadena de suministro, las cuales nos han acompañado hasta la actualidad.

Década de los 90

En la década de los 90, gracias al avance de la tecnología hubo un gran salto en la evolución de la logística. Se mejoraron los canales de distribución y se externalizaron los servicios de logística para satisfacer la creciente demanda. Esto fue posible gracias al enfoque centrado en el cliente, que reconocía que una buena relación con ellos era la mejor

⁵ QR: Es una estrategia colaborativa cuyo objetivo principal es servir rápidamente las necesidades del consumidor, disminuyendo así el tiempo de ciclo de pedido y los costes de ordenar y mantener el inventario.

⁶ ECR: Es una estrategia para optimizar los flujos logísticos. ECR busca reducir tiempos de almacenamiento y entrega, ahorrar costes derivados de este proceso, y satisfacer la demanda final en tiempo y forma.

estrategia, así como con los proveedores y sus operaciones logísticas [21].

Gracias a la globalización de los mercados y la externalización de los centros de producción se aceleró el proceso de integración de la logística, haciendo que las cadenas de suministros sean más complejas e internacionalizadas y asegurando la eficiencia del flujo de los productos hasta el cliente final.

En estas dos últimas décadas se amplió el concepto de logística, abarcando no solo los aspectos físicos, sino también los informativos. Esto permitió mejoras como la planificación y coordinación de las actividades logísticas o la utilización de información recogida en tiempo real para la toma de decisiones. Con esta incorporación se logró por fin una visión completa de la logística.

Siglo XXI

Desde el año 2000 se producen avances a pasos agigantados gracias a la evolución tecnológica, con una inmensa creación de nuevas tecnologías de la información y la comunicación, llevando a las empresas hasta una automatización de todos los procesos y una digitalización global. Gracias a estas tecnologías se ha conseguido la transmisión de una gran cantidad de datos en tiempo real, desarrollo de gestión de flotas y rutas o mejoras en los sistemas de trazabilidad de los productos con tecnologías como la Blockchain. Todas estas herramientas cimentan la industria 4.0 de la que hablaremos más adelante.

Las organizaciones en el siglo XXI están en un sector hostil en el que ser competitivas es una necesidad, por ello, se encuentran en continuo desarrollo de nuevas ideas en la logística y gestión de la cadena de suministro, ya reconocida como área clave para que un negocio sea exitoso.

2.2) Conceptos básicos: Logística y cadena de suministro

Una vez recorrida la evolución a lo largo del último siglo, se describirán los conceptos de logística y cadena de suministro desde una visión actual.

La logística es una función clave en cualquier empresa dedicada a la producción, distribución y entrega de productos. Es la disciplina encargada de planificar, implementar y controlar el flujo de bienes, servicios e información durante todo su camino. Esta definición, aun siendo acertada, no descarta

muchas otras, como la definida por el CSCMP (*Advanced Solutions International, Inc*) anteriormente, o las siguientes:

"La logística es el arte y la ciencia de obtener, producir y distribuir material y productos en la cantidad y lugar adecuados, en el momento preciso, con el menor costo posible, para satisfacer las necesidades de los clientes." (Christopher, 1992)

"La logística es el proceso de planificación, ejecución y control del flujo de bienes y servicios, así como de la información relacionada, desde el punto de origen al punto de destino, con el propósito de satisfacer las necesidades de los clientes." (Bowersox & Closs, 1996)

"La logística es el conjunto de actividades que se realizan para planificar, implementar y controlar el flujo de materiales, bienes y servicios desde el proveedor hasta el cliente, con el objetivo de satisfacer las necesidades del cliente y maximizar la rentabilidad de la empresa." (Ballou, 2004)

Todas ellas son muy parecidas, pero con diferentes matices. Estas muestran que la logística es un campo de estudio y una práctica multidisciplinaria, que involucra diferentes funciones (transporte, almacenamiento, empaquetado, etc.) buscando asegurar un producto de calidad para el consumidor final.

Como se observa no existe una única definición "correcta" debido a que se aplica sobre una enorme variedad de productos, empresas y sistemas diferentes, por lo tanto, es una función flexible para adaptarse a cada demanda.

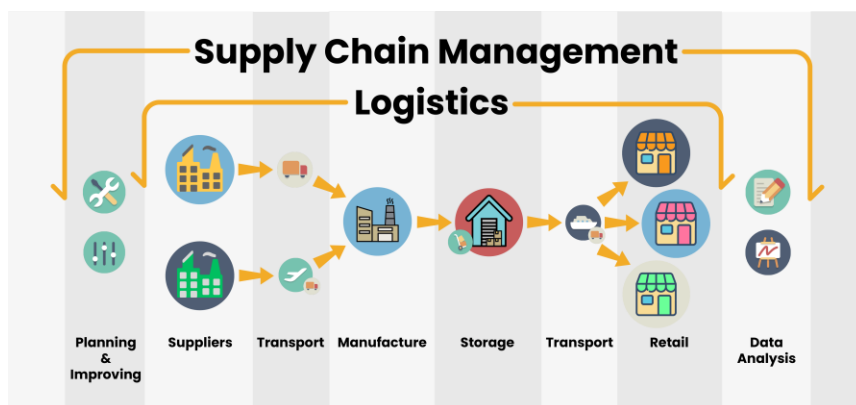


Figura 5. Supply Chain – Logistics (<http://vnmanpower.com/en/value-chain-vs-supply-chain:-what-is-the-difference-bl823.html>)

Para simplificar al máximo el término logística y cadena de suministro en *The handbook of logistics and distribution management: Understanding the supply chain* (Rushton et al., 2022) se muestra la idea simplificada como:

Logística = Gestión de materiales + Distribución

Y para explicar la idea de la cadena de suministros, es simplemente aumentar algo más el alcance del área comercial, incluyendo así la entrega de materias primas y de productos al cliente final:

Cadena de suministro = Proveedores + Logística + Clientes

Por lo tanto, la logística es solo una parte dentro de la cadena de suministro, formada por el transporte y el almacenamiento. Mientras que la cadena de suministro completa, es una red de empresas que trabajan en producir y distribuir los bienes desde los proveedores hasta los clientes que compran el producto final.

Esta red de empresas compuesta por puntos de fabricación, almacenamiento, ventas, transporte y procesos de información, que se encuentran desde el origen del producto hasta el consumidor, funciona gracias a los flujos físicos e informativos. Ambos flujos los podemos ver en la figura 6.

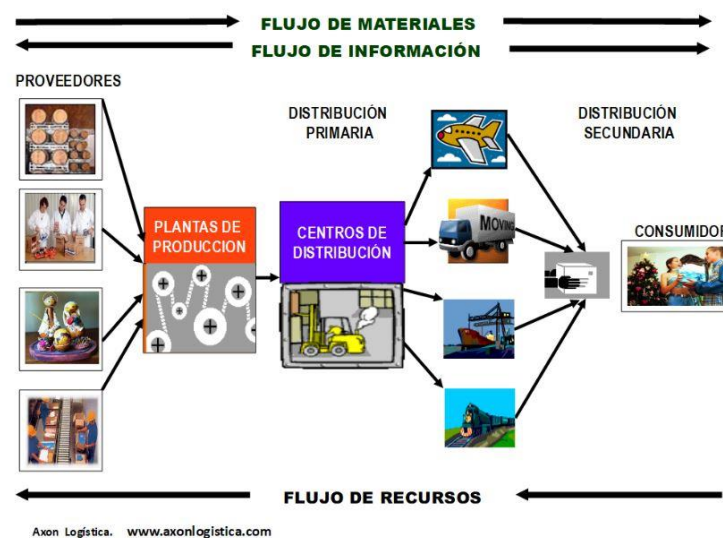


Figura 6: Flujos cadena de suministro (<https://www.axonlogistica.com/index.php/blog/blog-with-left-sidebar/99-flujos-de-la-cadena-de-abastecimiento>)

Los tres flujos clave que existen en la cadena de suministro son:

Flujo de materiales (físicos)

El flujo de materiales es el que comienza desde los proveedores hasta el cliente final, es decir va en sentido del suministro de demanda, es decir aguas abajo (Arbós, 2012). Este pasa por una serie de procesos, desde el abastecimiento de las materias primas, almacenaje, empaquetamiento, hasta que los materiales se convierten en los productos terminados y fluyen hacia el consumidor final mediante las labores de distribución física. Una vez el cliente recibe el producto, el flujo de materiales llega a su fin, excepto en los casos en los que el cliente solicite una devolución al productor, que se crearía otro flujo que comentaremos más adelante.

Este primer flujo se representa en la figura 6, siendo en primera instancia un flujo unidireccional.

Flujo de información

Los flujos de información en la cadena de suministro se generan cuando el flujo de materiales o recursos intercambia documentación e información necesaria como órdenes de compra, facturas o movimientos de inventario, entre los diferentes procesos para mantenerlos intercomunicados.

Un ejemplo de este flujo sería el evento provocado por pactar una venta. Esta acción provoca la puesta en marcha de los materiales a lo largo de la cadena de suministro hasta que el producto se entregue al consumidor o cliente con los requisitos preestablecidos. El flujo de información incluye todo intercambio de esta, desde la gestión de pedidos, trazabilidad, producción, análisis de demanda y cualquier petición entre los procesos para que la cadena avance. Nada se movería si no existiera un intercambio de información de por medio.

En este caso, se representa en la figura 6 con un flujo bidireccional, ya que la información se puede desplazar entre cualquier proceso, aunque el sentido principal es el contrario al flujo de materiales, dirigiéndose desde el consumidor al origen, es decir, aguas arriba (Arbós, 2012).

Flujo financiero o de recursos.

Este tercer flujo de la cadena de suministro representa el movimiento de los pagos y las transacciones financieras a lo largo de la cadena de suministro desde el cliente al proveedor, incluyendo toda la facturación, pago de facturas, financiación de la cadena de suministro y la gestión de riesgos financieros. En otras palabras, una vez el producto llega al cliente todos los esfuerzos realizados concluyen en la facturación, empezando el flujo desde el cliente al proveedor, remunerando a todos los participantes en la cadena de suministro, recibiendo los recursos por sus servicios y suministros.

Estos tres flujos básicos componen el flujo de logística directa. A partir de él se genera un flujo algo más cerrado o logística inversa que completa el ciclo de vida de los productos.

Flujo inverso-circular o logística inversa.

Este se refiere al movimiento de los productos desde el consumidor final de vuelta al fabricante o proveedor, normalmente por devoluciones o reclamaciones de garantía, aunque estas no son las únicas circunstancias.

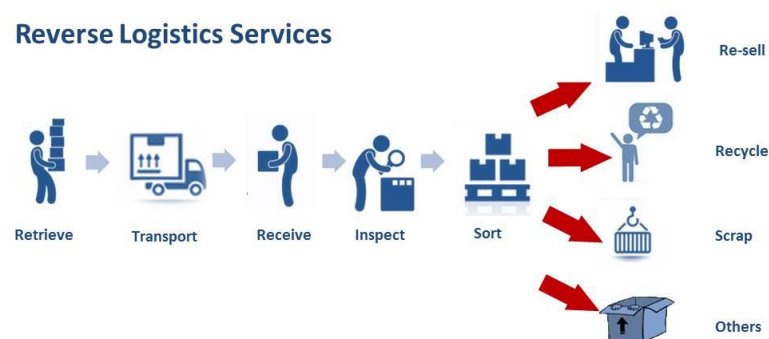


Figura 7: Flujo inverso (<https://arrowspeedline.com.vn/portfolio/warehouse-on-hand-inventory/>)

En total existen seis caminos adicionales que se detallan a continuación (Cabeza, 2012):

1. **Reutilización o reventa:** Recuperar el producto en caso de que posea un escaso deterioro, no habiendo mucha diferencia con los nuevos productos.
2. **Reparación:** En caso de que el producto tenga alguna imperfección se somete a una reparación para continuar con su uso.
3. **Restauración:** Consiste en intentar ampliar la vida útil de un producto dedicando un mayor esfuerzo que una reparación que involucraría solo una pieza o una mínima corrección.
4. **Refabricación y canibalización:** Son dos procesos que intentan recuperar componentes con cierto grado de descomposición del producto ya disfuncional, para reducir costes frente a componentes nuevos.
5. **Reciclaje:** Se busca recuperar el material de los productos para reutilizarlos como materia prima y así aprovechar los residuos y reducir los desechos.

6. **Vertedero o incineración:** Como última opción los desechos que no tienen ningún uso llegan al punto final de la cadena que es el vertedero para que se descompongan o la incineración controlada en caso de que los productos no sean orgánicos.

Este flujo se ha obviado muchas veces, aunque hoy en día cobra gran importancia para reducir los costos y el impacto ambiental de la cadena de suministro, así como en muchos casos para mejorar la satisfacción del cliente.

2.3) Papel de la logística en la empresa

La cadena de suministros juega un papel determinante en las empresas, abarcando todos los procesos relacionados con el flujo de materiales, la información y el camino desde proveedor hasta cliente. Que las empresas tengan una buena gestión de la cadena de suministro y en concreto de la logística trae algunas ventajas en los siguientes puntos clave [53]:

Una buena **optimización de los procesos:** La logística permite mejorar la eficiencia operativa mejorando los procesos de producción y distribución, reduciendo los tiempos de espera con una buena gestión de estos.

Reducir los costos: Este es un aspecto fundamental de la empresa, por el que la logística ha avanzado hasta lo que es hoy en día, ya que, el objetivo principal de las empresas suele ser generar el máximo beneficio monetario. La reducción de costos es debida al uso más eficiente de los recursos y la reducción de tiempos en las operaciones, por lo tanto, va claramente unido al punto anterior

Satisfacción del cliente: Además de que los productos lleguen a tiempo y en forma, una buena gestión logística permite que el cliente tenga un seguimiento del pedido en todo momento. La trazabilidad de los productos es uno de los factores clave en los que Blockchain es útil como veremos más adelante.

Otro punto en el que puede ayudar la logística es en la **gestión de riesgos.** Una buena gestión logística puede ayudar a suavizar los riesgos de la cadena de suministro, como podrían ser las interrupciones en el suministro o retrasos en las entregas.

Por último, la logística es uno de los orígenes de la **innovación y mejora continua** de la empresa. Siendo un área en el que el desarrollo tecnológico afecta de forma directa y cada novedad en tecnología se

aplica a la cadena de suministro, como pueden ser avances en sensores o sistemas de trazabilidad GPS.

Si destacamos una mejora u objetivo principal de la cadena de suministros, debe ser el maximizar el valor total generado; es decir, la diferencia que el cliente paga por el producto final y los costos en que incurre la cadena para cumplir con el pedido (Chopra & Meindl, 2014).

En resumen, la logística es una necesidad para las empresas si quieren asegurar su éxito y garantizar una buena entrega de productos y servicios de calidad a los clientes en el momento y lugar adecuados, minimizando los costos y riesgos.

2.4) Importancia de la logística en la economía

La logística es una pieza clave en la economía actual, al ser un elemento fundamental para el éxito empresarial. El sector logístico va en aumento de puestos de trabajo anualmente y representa gran parte de la economía de los países. Si nos centramos en España podemos destacar algunos datos:

- En la actualidad, el sector logístico en España es uno de los principales motores para la economía, ya que representa aproximadamente alrededor del 10% del PIB de país. Con una cifra de negocio anual de 101.000 millones de euros [4646].
- El sector logístico de transporte y almacenamiento, según el *Barómetro de empleo marzo 2023* [8] el número de empleados ha alcanzado un total de 1.013.155 trabajadores, siendo un sector líder en la creación de empleo según Foro Logística. Con estos datos se demuestra que ofrece oportunidades de trabajo a un gran número de personas, contribuyendo de forma significativa al desarrollo económico y social.

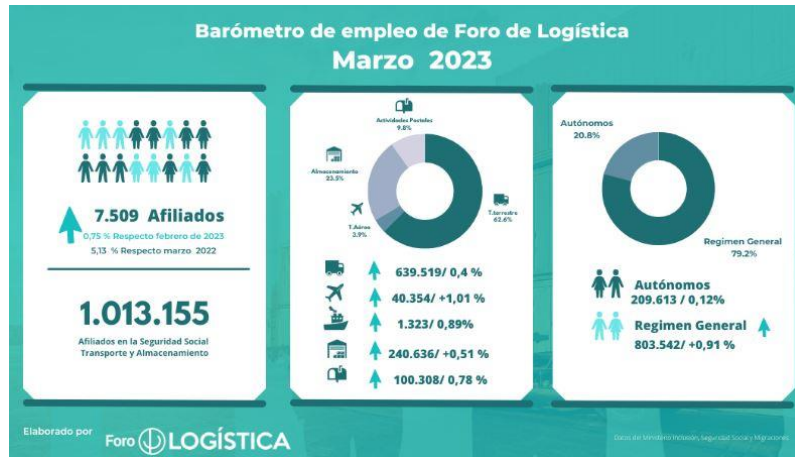


Figura 8: Información sector logística (<https://forodelogistica.com/barometro-de-empleo-marzo-2023/>)

- Es un sector que destaca por su constante crecimiento. En la actualidad, como se observa en la figura 9 cada mes se genera un aumento en el número de empleados contratados en él. Esto es debido al desarrollo tecnológico y la globalización, que aumentan la demanda de los servicios logísticos. Este aumento justifica la importancia que tiene en la economía.

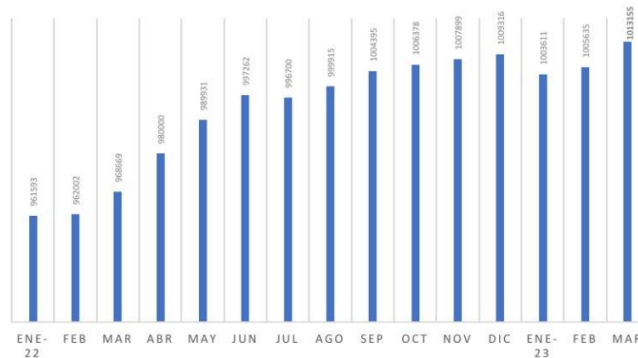


Figura 9: Gráfica empleados sector logístico (<https://forodelogistica.com/barometro-de-empleo-marzo-2023/>)

2.5) Metodologías clásicas

Origen Toyota Production System (TPS)

La primera herramienta de producción surgió en la década de los 70-80 en Japón, en un contexto histórico marcado por una fuerte crisis económica

desencadenada de la “Crisis del Petróleo de 1973”. Esta crisis fue originada por un aumento en los precios del petróleo afectando a nivel global a empresas, gobiernos y la sociedad en general. La economía japonesa fue una de las más afectadas llevando a las empresas a una situación de supervivencia. Sin embargo, hubo una empresa que, a pesar de reducir los beneficios, obtuvo un buen desempeño en los años siguientes a la crisis, despertando curiosidad en el resto de las empresas competidoras. La empresa en cuestión es la empresa japonesa Toyota Motor Company. (Ohno, 1991)

En la situación de crisis tras el periodo posterior a la Segunda Guerra Mundial, la empresa automovilística llevaba a cabo un sistema de fabricación que no había llamado la atención a sus competidores hasta el momento en el que los gastos en las empresas automovilísticas aumentaron ante los mayúsculos costes de energía, materias primas, producción, etc. Las empresas de EE.UU fijaron sus ojos en ella, lo que realmente no sabían, es que su buen desempeño era fruto de su destacable sistema de producción nada corriente en la época, que estaba enfocado en producir solo lo necesario en el momento adecuado, reduciendo así los costos y tiempos de entrega. Esta metodología es la denominada **Toyota Production System (TPS)**. Las empresas americanas no contaron con que la producción en serie convencional estadounidense no era efectiva en el nuevo entorno generado por la crisis, donde primaba la producción rápida de pequeñas cantidades de numerosos modelos frente a la producción en masa a la que estaban acostumbrados.

La creación del sistema de producción TPS se atribuye a tres personas, Sakichi Toyoda, su hijo Kiichiro Toyoda y el ingeniero Taiichi Ohno. Cada uno de ellos fue creando algunos de los pilares de esta metodología, teniendo como objetivo primordial la eficiencia en la producción.



Figura 10: Sakichi Toyoda, Kiichiro Toyoda, Eiji Toyoda y Taiichi Ohno.

Primero, el inventor japonés Sakichi Toyoda en 1891 creó su primer telar manual de madera, aumentando la productividad a la hora de tejer. Unos años

más tarde, en 1926 Sakichi mejoró el telar dando lugar al primer telar mecanizado de Japón, el cual tenía la particularidad de parar la producción automáticamente si detectaba alguna anomalía, evitando la vigilancia constante de una persona. Esta capacidad dio lugar a lo que se conoce como *Jidoka* o automatización con un toque humano, la cual es una de las bases que forman parte del TPS.

Más adelante, Sakichi continuó realizando mejoras a las patentes y en 1926 fundó su propia empresa de telares automáticos, llamada Toyoda Automatic Loom Works. (LeanSherpa, 2015)

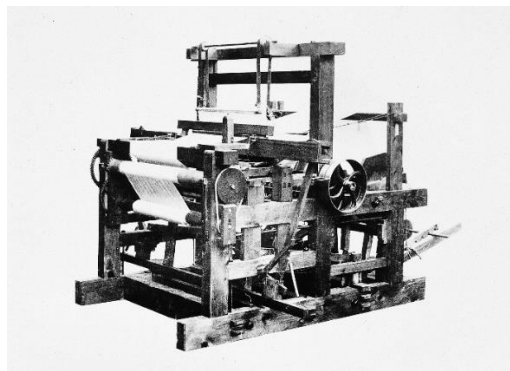


Figura 11: Telar automático de Toyoda Automatic Loom Works Telar

Años después, la familia Toyoda se interesó en la industria del automóvil en Estados Unidos, en concreto su hijo, Kiichiro Toyoda. La familia Toyoda ante el interés generado por la industria del automóvil, vende la patente del telar automático y se centra en la investigación de la industria del motor de gasolina.

Kiichiro, tras heredar la empresa de su padre, funda una división dedicada al negocio de la automoción y en 1935 lanza su primer automóvil, el modelo AA.



Figura 12: Toyota Model AA SD 1st (<https://global.toyota/en/downloadable-assets/corporate-archives/vehicles/aa.html>)

Junto con el lanzamiento del nuevo modelo, Kiichiro separa ambas empresas y renombra a la automovilística como “Toyota Motor Company”. Esta empresa ahora independiente propicio el desarrollo de otro pilar fundamental de TPS, el concepto de *Just in Time (JIT)*.

JIT es la filosofía utilizada en Toyota con el objetivo de eliminar todos los desperdicios posibles, para mejorar la calidad a un bajo coste y con un uso óptimo de los recursos. El objetivo principal era no fabricar ningún componente hasta que fuera necesario, evitando la acumulación de inventarios.

Poco después, llega la Segunda Guerra Mundial y con ella un declive de la empresa con ventas pobres y baja rentabilidad, llevando a la dimisión de Kiichiro de la empresa.

Eiji Toyoda, sobrino de Sakichi y primo de Kiichiro, tomó el relevo como presidente de Toyota Motor. Tras su visita a EE. UU. Eiji se da cuenta de las grandes diferencias que existían entre una de las grandes empresas americanas como es Ford Motor y la suya. Existían diferencias abismales en el volumen de producción que tenían en Ford frente a ellos, pero con maquinaria mucho menos desarrollada. En este momento Eiji se dio cuenta de las ventajas que tenía Toyota y encargó al ingeniero Taiichi Ohno el cometido de optimizar al máximo los procesos de la empresa para conseguir una mayor producción de forma eficiente. La adaptación de la producción en masa a los estándares japoneses, buscando siempre la optimización de los procesos es lo que se llamó **Kaizen o mejora continua**.

El ingeniero Taiichi, que era una persona que estaba muy alineada con la filosofía de la familia Toyoda, dio la forma definitiva a los dos pilares ideados por la familia, que sumándoles la filosofía del principio Kaizen o mejora continua, se construyó el célebre sistema de producción de TPS.

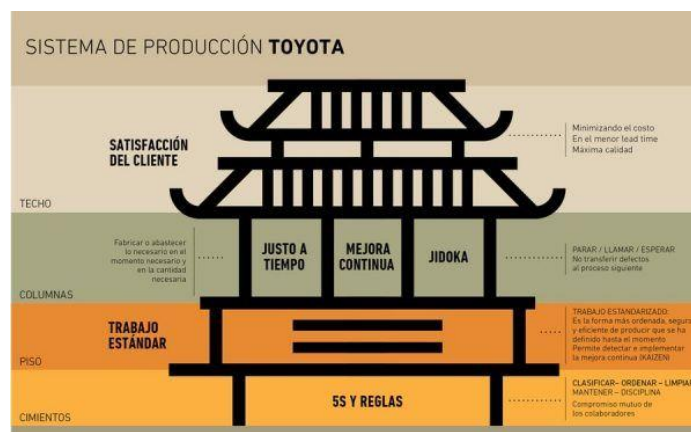


Figura 13: Pilares TPS (<https://leansisproductividad.com/sistema-produccion-toyota>)

La unión de todas las herramientas construyó un sistema de producción que lograba mejorar la calidad, los costes y el tiempo de entregas, evitando desperdicios de todo tipo.

Lean manufacturing

La metodología TPS, evolucionó en occidente tras la publicación de “Machine That Changed the World” (Womack & etc., 1990) dando origen al concepto “*Lean Manufacturing*” que hasta día de hoy sigue en uso. El libro dio a luz el sistema de producción desarrollado por Toyota en Japón, volviéndose un *best seller* y atrayendo a gran cantidad de empresas a estas técnicas de producción. Se demostró que la metodología *Lean* trae consigo muchos beneficios, siendo clave en la supervivencia de muchas empresas.

La principal mejora de Lean manufacturing frente a TPS es que lleva el enfoque y la filosofía más allá de la producción, aplicándola a toda la cadena de suministro. Con Lean se incluyen tanto la gestión de inventario y la logística, como el servicio al cliente y procesos relacionados. Además, también se utiliza como filosofía, encargándose de fomentar un buen ambiente de trabajo, colaborativo y sobre todo eficiente. Por lo tanto, Lean tiene un enfoque dirigido a toda la organización en su conjunto.

Para conseguir todas estas ventajas ambas metodologías utilizan muchas herramientas en común, de las cuales algunas de ellas se explicarán a continuación.

Herramientas Lean Manufacturing

➤ Técnica de las 5S

Las 5S es una técnica que se basa en cinco pasos o etapas en las cuales cada una corresponde a un concepto japonés que empieza con la letra S. La técnica de las 5S cumple totalmente la filosofía de Lean Manufacturing, teniendo como objetivo mejorar la limpieza y establecer orden en el espacio de trabajo para mejorar la eficiencia, la disciplina de los trabajadores y la calidad del producto (Manuel Rajadell, 2010).

Las 5 fases son las mostradas en la figura 14:



Figura 14: Etapas 5S

1. **Seiri:** Esta fase corresponde en castellano al término “organización”. El primer paso debe ser separar y eliminar todo lo innecesario del entorno de trabajo y dejar solo lo imprescindible.
2. **Seiton:** Una vez tengas solo lo imprescindible en el espacio de trabajo llegamos a la siguiente fase “ordenar”. Es decir, hacer que todo objeto se sitúe en la ubicación correcta según varios criterios, la frecuencia, la secuencia de uso y definir que saldrá primero de la cadena de producción colocarlo lo más cerca siguiendo la teoría FIFO⁷.
3. **Seiso:** Una vez tenemos lo necesario y colocado en su lugar el siguiente término corresponde con la limpieza. Hay que implantar una tarea cotidiana para que el espacio de trabajo esté en todo momento limpio y se tomen medidas para evitar que se ensucie.
4. **Seiketsu:** Cuando se han interiorizado todas las fases anteriores en los trabajadores, es momento de la “estandarización”. El principal objetivo de esta fase es crear unas reglas para que se pueda distinguir visualmente de forma sencilla las situaciones anormales, es decir para detectar cuando algo está fuera de su lugar.
5. **Shitsuke:** Todas las fases anteriores no tendrían sentido sin la última, la “disciplina”. Una vez se ha establecido un espacio de trabajo óptimo hay que mantenerlo, para ello es necesario que todas las fases anteriores se conviertan en un hábito a cumplir. Además, esta última fase se centra en recoger resultados para volver a aplicar todas las fases con el objetivo de corregir fallos pendientes, así se cierra el círculo de mejora continua en el espacio de trabajo.

⁷ FIFO "First In, First Out": En el ámbito industrial y de almacenamiento el FIFO se refiere al orden seguido en la gestión de stocks en el cual el lote de stock que primera entra, es el que primero sale.

➤ Heijunka

La segunda herramienta Lean a describir es *Heijunka*, o en castellano producción nivelada. El principal objetivo de esta herramienta es ajustar la demanda del cliente en la producción. Se centra en la producción de lotes pequeños que permitan cambios rápidos en lugar de lotes grandes de un modelo, pudiendo así nivelar la demanda (Manuel Rajadell, 2010).

Esta herramienta era respaldada por Taiichi Ohno, quien decía que el hombre primitivo por naturaleza siempre ha pensado en trabajar por lotes estableciéndose como una de las herramientas de Toyota.

Un ejemplo que podemos ver para representar el objetivo de Heijunka y lograr un flujo continuo es el siguiente:

En una fábrica textil que producen camisetas de distintos tipos y llega una demanda mostrada en la figura 15, si fuéramos productores en masa la idea sería producir las camisetas de forma secuencial AAAAABBBCDD, pero el pensamiento Lean evita la producción de grandes lotes y buscaría una secuencia adaptada a la demanda habitual AABCD AABCDAB.

De esta forma conseguimos optimizar los tiempos de espera de cliente al alternar la producción, se reduce el stock de materias primas y de productos acabados, se consigue estabilizar la plantilla de la empresa y una mayor flexibilidad para adaptarse a pequeñas variaciones en la demanda (Lean Enterprise Institute, 2004).

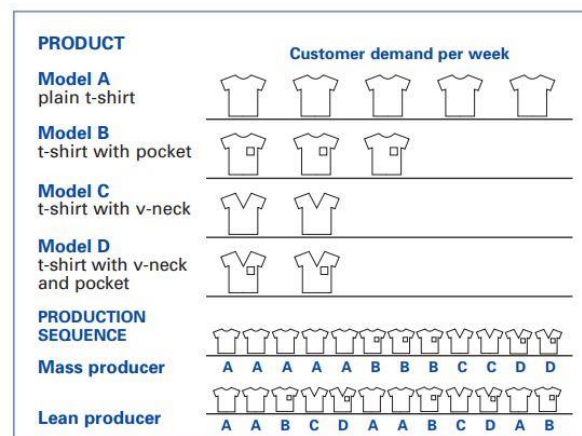


Figura 15: Ejemplo producción nivelada (Lean Enterprise Institute, 2004)

➤ Kanban

La siguiente de las herramientas Lean fue utilizado también por la empresa Toyota (JIT), con el objetivo de garantizar una alta calidad y producción de las partes necesarias de una forma rápida y con las cantidades justas. La herramienta de la que se está hablando es el Kanban. Antes de entrar en detalle de lo que es exactamente esta herramienta hay que hablar del sistema de flujo de la producción en el cual se utilizaba, el sistema *pull*.

El sistema *pull* es ideal para la filosofía lean, ya que se centra en arrastrar la producción desde la demanda de cliente en lugar de empujar la producción⁸, lo que significa que el enfoque a la hora de producir es que los productos a lo largo de la cadena de suministro se muevan una vez tienen señales de la demanda en lugar de anticipar la demanda y producir en exceso (Manuel Rajadell, 2010).

Con el system *pull* se consigue reducir el exceso de inventario, minimizar el desperdicio y mejorar la eficiencia de la cadena de suministro al satisfacer las demandas en lugar de producir en exceso, y así mantener niveles bajos de inventario. Este concepto fue creado por Taiichi Ohno quien se inspiró en el sistema que utilizaban los supermercados en América.

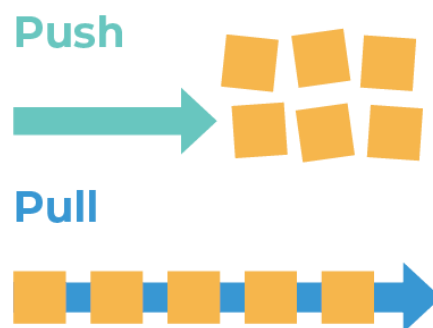


Figura 16: System pull (<https://factorysolver.it/strategie-push-e-pull-che-significano-veramente/>)

Una vez conocido el sistema base de producción se puede definir el concepto de *Kanban*. El *Kanban* es un sistema de control de la producción basado en tarjetas (*Kanban* en Japonés) el cual sirve para transmitir el flujo de información desde la demanda de una forma sencilla y rápida (Manuel Rajadell, 2010).

⁸ El modelo o sistema en el cual la empresa empuja materiales para producir y mostrar al cliente el producto finalizado permitiendo la compra inmediata se llama "Push system".

Para facilitar el movimiento de información las tarjetas incluyen las piezas, subconjuntos o conjuntos que se han retirado a los procesos anteriores, de esta forma se conoce la demanda que tiene que seguir el flujo material. Existen dos tipos de *Kanban* principalmente:

- *Kanban* de producción, el cual indica el material que hay que fabricar necesario para el siguiente proceso.
- *Kanban* de transporte, el cual indica al proceso anterior el material necesario a transportar.

Estas dos tarjetas son las principales para hacer funcionar este sistema, pero existen muchas más par casos específicos como por ejemplo si existen defectos en algún producto y es necesario corregirlo (Lean Enterprise Institute, 2004).

El lugar donde se encuentran las tarjetas es en un tablero Kanban, compuesto por columnas que representan las etapas del proceso y las tarjetas cada unidad de trabajo, de esta forma de una manera visual se puede gestionar el flujo de trabajo.

Hoy en día se ha popularizado esta práctica de forma similar en otras metodologías como Scrum, utilizada en el desarrollo de software.

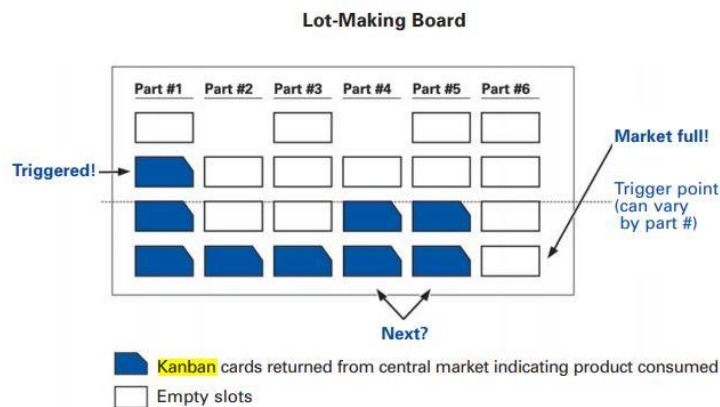


Figura 17: Tablero Kanban (Lean Enterprise Institute, 2004)

➤ SMED

La siguiente herramienta utilizada en la metodología Lean es la técnica SMED (*Single minute exchange of die*). El principal objetivo de esta herramienta es reducir al máximo el tiempo de *setup* o inactividad entre ciclos de producción, es decir el tiempo de los cambios entre la última pieza producida de un producto del tipo A a la siguiente de tipo B. El nombre viene dado por el objetivo

de reducir cualquier *setup* a menos de dos dígitos, es decir menos de 10 minutos (Manuel Rajadell, 2010).

La reducción del tiempo de cambio a la mínima posible es una ventaja en la producción permitiendo minimizar el tamaño de los lotes y así reducir los stocks. De esta forma hace que se tenga una producción mucho más flexible, que se pueda adaptar a los cambios de demanda produciendo con pequeñas series de lotes en lugar de producir de una forma masiva generando stocks. Todo ello generando como resultado final una reducción en los costos de producción y un aumento de la eficiencia.

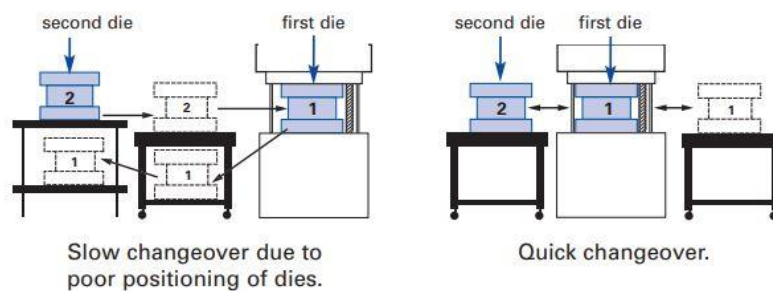


Figura 18. Ejemplo SMED (Lean Enterprise Institute, 2004)

➤ TPM- Total productive Maintenance

La siguiente de las herramientas Lean que se va a definir es el TPM (mantenimiento productivo total) la cual tiene como principal objetivo mantener en un perfecto estado los equipos de fabricación o máquinas utilizadas en la cadena de producción.

El principal objetivo que introduce el TPM es que el mantenimiento no sea una exclusiva del equipo especializado en ello, si no que sea una tarea en la cual estén involucrados todos los activos de una fábrica. Por ejemplo, los operarios de las máquinas pueden detectar problemas de rendimiento o calidad mejor que cualquier otro sobre las máquinas que operan. También se debe implicar el resto de los activos, no solo operarios, formando a toda la empresa en las habilidades de mantenimiento no solo técnicas si no de comunicación y trabajo en equipo para mantener la maquinaria en las condiciones idóneas (Lean Enterprise Institute, 2004).

Además de la implicación de toda la empresa, se añaden revisiones programadas de las máquinas, de esta forma se conseguirán detectar las posibles averías futuras, prevenirlas o planificar las paradas para su reparación.

Con todas estas medidas se asegura la eficiencia evitando paradas de la producción por averías inesperadas, se mejora la calidad del producto y se consigue mayor fiabilidad de las instalaciones desde el arranque hasta su parada.

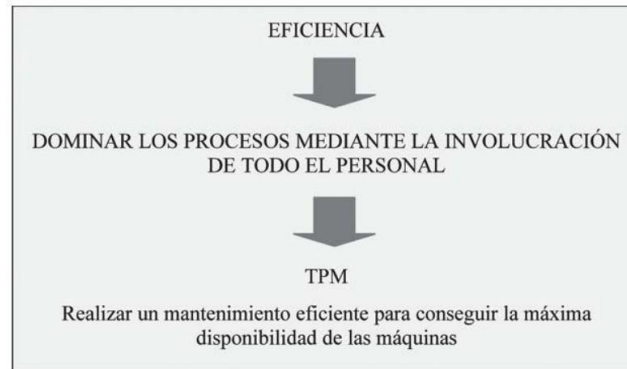


Figura 19: Objetivo TPM (Manuel Rajadell, 2010)

➤ JIDOKA

La última de las herramientas que se va a tratar sobre la metodología Lean es Jidoka, o automatización con un toque humano, ya comentada anteriormente. El objetivo de jidoka es hacer las cosas bien a la primera, mediante mediciones y supervisión. Para ello se establece un sistema de control autónomo de defectos en el cual los empleados tienen el control de detener las máquinas si detectan cualquier fallo, o las máquinas tienen la automatización suficiente para hacerlo. De esta forma se hacen mucho más visibles los problemas y se reducen los defectos en la producción, disminuyendo por lo tanto las piezas que deben ser reparadas (Manuel Rajadell, 2010).

Los principales objetivos de esta habilidad de control de la producción son:

- Construir calidad al evitar la producción masiva de productos defectuosos.
- Evitar que los empleados sufran accidentes o se dañe el equipo, herramientas o maquinaria por condiciones adversas.
- Separar el trabajo del humano el de la máquina, es decir que la máquina se encargue de la producción y el humano más del proceso.

En resumen, el resultado de una buena implantación de Jidoka es conseguir un sistema de producción automatizado controlado por humanos que tengan la capacidad de reacción frente a posibles errores en los procesos.

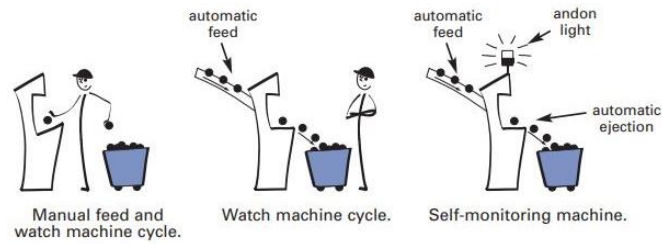


Figura 20: Sistema automatizado y auto-monitorizado

El siguiente objetivo o paso en la evolución de Jidoka es la utilización de herramientas o detectores que puedan avisar a los operarios de una forma más visual sobre errores en la producción. Estas herramientas son las llamadas **andon**.

Un **andon** puede indicar anomalías en la producción, desvíos en los productos resultantes reales frente a las planificadas, el estado de la producción o las acciones necesarias para los cambios de producción.

El más común y simple es un indicador de luz o lampara que se incorpora en las diferentes máquinas, que junto a un sensor en cuanto ocurre algún problema se activa la luz, dejando ver de manera rápida al operador que está sucediendo alguna anomalía.

Por otro lado, existen los **sistemas poka-yoke** que tienen como función detectar y prevenir los fallos antes de que sucedan. Es decir, son mecanismos que una vez instalados evitan los defectos por completo (Manuel Rajadell, 2010). A continuación, se muestran algunos ejemplos en uso cotidiano:

1. Fabricar piezas que solamente puedan encajar en una posición, como la conexión USB del ordenador, o las pilas de un mando que entran en los dispositivos de acuerdo con su polaridad.



Figura 21: Primer ejemplo Poka-yoke

2. El juguete de la siguiente figura 22 también se consideraría un ejemplo de poka-yoke, donde se evitan los errores haciendo que solo exista una posibilidad para cada componente.



Figura 22: Segundo ejemplo Poka-yoke

En resumen, Jidoka consigue que se pase de una producción en la que el humano es el encargado de producir junto a la máquina, a ser un mero espectador que junto a la ayuda de detectores pueda ser capaz de estar atento a un mayor número de máquinas y supervisarlas frente a posibles anomalías. De esta manera se consigue la máxima calidad y la cantidad mínima de desperfectos en el producto.

2.6) Industria 4.0

Tras años de evolución en las distintas metodologías y herramientas de gestión de la producción, el sector de la industria ha dado un gran salto, conocido como “la cuarta revolución industrial”. Este nombre se refiere al momento en el que se integran las tecnologías digitales en los procesos industriales, llegando al presente en cuanto a logística y cadena de suministro se refiere.

El concepto de industria 4.0 surgió en el 2011 en la Feria de Hannover (Alemania), refiriéndose así al conjunto de acciones para dar lugar a las “fabricas inteligentes” en las cuales se adquieren datos digitales de los procesos industriales.

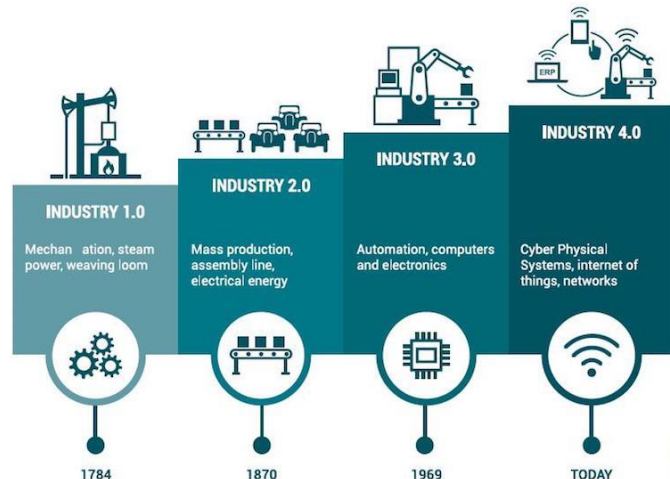


Figura 23: Revoluciones industriales. (<https://www.velatia.com/es/blog/cuales-son-las-claves-de-la-industria-4-0/>)

Para llegar a la situación actual, la industria ha ido evolucionando a lo largo de los años pasando por varias etapas o revoluciones industriales.

1. Primera revolución industrial: Durante la primera Revolución Industrial (siglos XVIII y XIX), destacó por la mecanización de los procesos, transformando la economía agraria y artesanal hacia el aspecto industrial, marcando una nueva era con maquinaria innovadora y desarrollo a gran escala utilizando fuentes de energía como el agua y el vapor.
2. Segunda revolución industrial: En el siglo XX, la segunda transición introdujo la producción en serie mediante la creación de fábricas y cadenas de montaje. Este avance permitió una fabricación más eficiente de productos. Además, se suma que se incorpora el uso del petróleo, gas y energía eléctrica, que junto a comunicaciones más avanzadas como son el teléfono y el telégrafo permitieron la producción en masa con cierta automatización.
3. Tercera revolución industrial: Tuvo inicio a mediados del siglo XX. En ella se integraron los sistemas de información, telecomunicaciones más avanzadas y un análisis de datos sobre los procesos de fabricación. Además, se incorporaron controladores lógicos programables (PLC) en la maquinaria, consiguiendo una mayor automatización.
4. Cuarta revolución industrial: Tras las tres revoluciones comentadas anteriormente nos encontramos en la actualidad, en la cuarta revolución industrial que da lugar a la denominada industria 4.0. La industria 4.0 se centra en la capacidad de comunicación y coordinación más estrecha entre máquinas, procesos y personas. La toma de decisiones autónoma, la capacidad de adaptación a cambios rápidos

en el mercado o la trazabilidad de los productos. Todas estas características respaldadas por la gran cantidad de datos en tiempo real que se pueden recoger, almacenar y consultar hacen que la industria presente la mayor eficiencia (Del Val Román, 2016).

Las herramientas utilizadas en la actualidad son muy variadas, desde sensores y dispositivos *IoT* (Internet de las cosas), *Big Data*, *data analytics*, *cloud computing*, la inteligencia artificial y *machine learning*, realidad aumentada o la robótica [1].

Todas las metodologías junto a las herramientas clásicas utilizadas que han ido surgiendo a lo largo de los años han ido mejorando paulatinamente la productividad y eficiencia de los procesos, pero con la implantación de todos los sistemas digitales esta se ha visto incrementada enormemente. La implantación de estos ha provocado una gigantesca mejora en la calidad de los productos, gracias a la monitorización y control sobre la producción en tiempo real pudiendo detectar errores y corrigiéndolos antes de provocar males mayores.

Por si fuera poco, la implantación de las nuevas tecnologías de la Industria 4.0 han reducido los tiempos de producción y los costos, permite una mayor personalización de los productos y una mayor sostenibilidad y además mejora la seguridad de los trabajadores reduciendo los posibles riesgos laborales.

Todos estos avances siguen desarrollándose hoy en día a pasos agigantados, presentando grandes oportunidades de mejora, pero también presentan algunos desafíos y debilidades que deben ser abordadas. Una de ellas es la preocupación por la seguridad, ya que la integración de tecnologías digitales en los procesos de fabricación puede hacer que las empresas sean más vulnerables a ciberataques o filtraciones de información. Otra preocupación es el coste, ya que la implementación requiere una inversión inicial significativa en infraestructura y capacitación del personal. Por último, otro punto a mejorar de estos procesos es la falta de transparencia con el cliente en la cadena de suministro, por falta de trazabilidad e información del producto y un exceso de intermediarios.

Todos estos puntos pueden ser reforzados por una herramienta digital que ha surgido en el siglo XXI y está siendo una innovación en casi todos los sectores, esta tecnología que respalda a la industria 4.0 es Blockchain.

CAPÍTULO 3: Blockchain

3.1) Introducción blockchain

La logística, es una actividad fundamental en la cadena de suministro de las empresas, que implica la gestión de los procesos de transporte, almacenamiento y distribución de productos y materias primas de la cadena de suministros. Optimizar al límite la logística es clave para mejorar la eficiencia y reducir costes. Sin embargo, esta pieza clave en la gestión de una empresa se enfrenta a nuevos desafíos relativos a transparencia, seguridad y eficiencia en la gestión de los procesos y la información en la cadena de suministro.



Figura 24: Blockchain (<https://www.bloglenovo.es/que-es-un-blockchain/>)

En este contexto, la tecnología blockchain junto a los *smart contracts* pueden ser una buena solución para resolver estos desafíos. Blockchain es una tecnología de carácter descentralizado o distribuido, basada en una cadena de bloques de información que permiten la gestión de datos o transacciones y que se enlazan formando una cadena inalterable. De este modo se consigue garantizar una transparencia, trazabilidad y seguridad de los datos.

Por otro lado, han aparecido los *smart contracts* o contratos digitales. Estos contratos son reglas que se ejecutan automáticamente tras cumplir ciertas condiciones predefinidas, automatizando los procesos y reduciendo los costes de intermediarios. Tanto los contratos digitales como la blockchain se detallarán en mayor profundidad en los próximos apartados.

Ambas tecnologías se complementan a la perfección llegando a ser herramientas para tener en cuenta en la industria 4.0.

3.2) Origen de la tecnología Blockchain

La idea en la que se basa la tecnología de Blockchain se remonta a 1991, cuando Stuart Haber y W. Scott Stornetta publicaron su trabajo “How to timestamp a digital document” en el Journal of Cryptology. En dicho estudio, exploraron la idea de crear cadenas de bloques protegidas criptográficamente (Haber & Stornetta, 1991).

Al año siguiente en 1992, esta idea se consolidó cuando los dos criptógrafos comentados anteriormente, junto con el apoyo de Dave Bayer, incorporaron los árboles de Merkle⁹, que permitían recopilar varios documentos en un bloque único a través de relaciones nodales. Sin embargo, no fue hasta 2008 cuando una figura con el seudónimo de Satoshi Nakamoto publicó “Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system” o libro blanco de Bitcoin que dio un impulso definitivo a la tecnología blockchain (Nakamoto, S. ,2008). Esta persona o grupo de personas cuya identidad aún es desconocida, ideó una moneda digital descentralizada que pudiera ser intercambiada sin la necesidad de un intermediario, como un banco central o institución financiera. Para poder realizar las transacciones con esta moneda digital se aplicaba la tecnología blockchain.

Más allá de las criptomonedas se le ha dado muchas más aplicaciones, como la gestión en la cadena de suministro, la protección de la propiedad intelectual y la votación electrónica. Esta tecnología ha avanzado en los últimos años a una velocidad escandalosa, instaurándose en empresas de casi todos los sectores.

3.3) Concepto blockchain (cadena de bloques)

La blockchain o cadena de bloques es un sistema de transacciones compuesto por bloques que contienen un registro de información. Los bloques son únicos y gracias a esa identidad propia se enlazan unos con otros y forman una cadena inalterable, debido a que, antes de crear uno nuevo, se verifica que todos los anteriores no hayan sido modificados. Toda esta cadena es la recopilación de todas las transacciones que hacen los usuarios.

Para confirmar que la cadena permanece inalterable existe un sistema de red de nodos, o dispositivos deslocalizados conectados, que forman **la red de**

⁹ Un árbol de hash de Merkle es una estructura de datos en árbol, binario o no, en el que cada nodo que no es una hoja está etiquetado con el hash de la concatenación de las etiquetas o valores de sus nodos hijo.

blockchain. Cada uno de estos nodos contiene una copia con el registro de todas las transacciones realizadas, también llamado Libro mayor o **Distributed Ledger**. Cuando se realiza una nueva transacción, la mayoría de los nodos de la red deben validar la información, y una vez validada es agregada a un nuevo bloque con toda la información de la transacción. El nuevo bloque, se enlaza con el anterior mediante el *hash criptográfico* o *identificador único* que explicaremos más adelante (apartado 3.3).

Gracias a este identificador, en el caso de modificar algún bloque de la cadena, las referencias que tienen al libro mayor cambiarían y los nodos sabrían que se ha alterado, denegando la validación de la transacción en cuestión.

De esta forma, se crea una base de datos solo de escritura, con un registro **permanente e inalterable**. Este tipo de estructura que se acaba de explicar es lo que se llama un **sistema descentralizado**, que ocurre cuando la información no es controlada por una única entidad, si no por una red de ordenadores.

Poniendo un ejemplo muy simple para explicar la inalterabilidad, imagine que está organizando una fiesta con amigos donde cada uno aporta algo, y se quiere saber quién trae qué cosa a la fiesta. Para evitar que alguno de los invitados cambie sus compromisos, utilizáis un **libro de registro compartido** en el que cada persona de la fiesta tiene una copia idéntica de ese libro. Cada vez que alguien confirme que traerá algo, se anota en el libro conjunto con bolígrafo. La clave está en que todo lo anotado **no se puede borrar ni cambiar**. Si alguien intenta hacerlo, todos los demás lo notarán porque han visto la versión original. Entonces, todos confían en que la lista es precisa y no habrá malentendidos. Del mismo modo funciona blockchain trasladado al mundo digital.

3.1) Tipo de red de comunicación

Las redes de Blockchain se llaman redes P2P, esta es la denominación a las redes descentralizadas de ordenadores o dispositivos (nodos) que funcionan sin la necesidad de contar con clientes o servidores fijos. En otras palabras, significa que los propios dispositivos conectados a la red actúan como clientes y servidores con respecto al resto sin necesidad de un servidor centralizado, compartiendo directamente entre sí los recursos. (Fornell, 2020)

Este tipo de arquitectura de redes no solo es utilizado en blockchain, un ejemplo común es BitTorrent, donde los usuarios comparten y descargan archivos entre sí, sin necesidad de un servidor central.

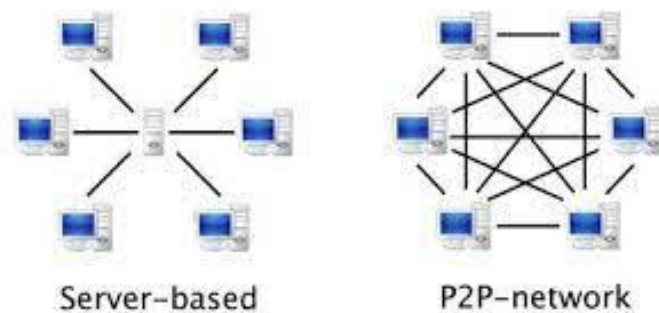


Figura 25: Red P2P (<https://proyectoidis.org/p2p/>)

3.2) Tipos cadenas de bloques

Existen diferentes tipos de cadenas de bloques cada una con características propias, estos son los siguientes:

- **Públicas:** Son plataformas disponibles para cualquier persona, en las que todo el mundo puede participar en la red sin ningún control centralizado y todos los participantes pueden ver las transacciones realizadas. Este tipo de cadenas son la descripción de blockchain en estado puro. (Ej. Bitcoin, Ethereum, Litecoin.etc.)
- **Privadas:** Este tipo de cadenas son controladas por una entidad o grupo de entidades, haciendo que la red solo sea disponible para un grupo de personas autorizadas. En las cadenas de bloques privadas las transacciones pueden no ser visibles para todos los participantes. Los registros abiertos a todo el mundo tienen muchas ventajas, pero en un mercado es necesario ocultar ciertos datos, por lo que, las plataformas privadas son idóneas para las empresas o grupos cerrados. (Ej. Hyperledger, Ripple, MONAX. etc)
- **Híbridas:** Es un tipo de cadena que combina a los dos anteriores. Se utilizan en entornos empresariales que requieran cierta privacidad, creando diferentes niveles de acceso a ver y crear transacciones. Lo más común para el uso de este tipo de cadenas es mantener privadas las transacciones excepto la verificación que la hacen pública. (Ej. BigchainDB, Evernym. etc)
- **Consortio- Federada:** Las blockchain de consorcio son redes en las que hay un grupo de participantes preseleccionados, que se juntan para mantener la cadena de bloques y tomar las mejores decisiones para la red. Este tipo de redes no permite a todo el mundo acceder a ellas para la creación de nuevos bloques, solo a los participantes,

mientras que su lectura puede ser pública o restringida para algunos de ellos.

Por lo tanto, es muy similar a una privada que se utiliza en organizaciones con objetivos comunes, sobre todo en el sector bancario y energético. (Ej. Global Shipping Business Network, EWF, R3 .etc) [54].

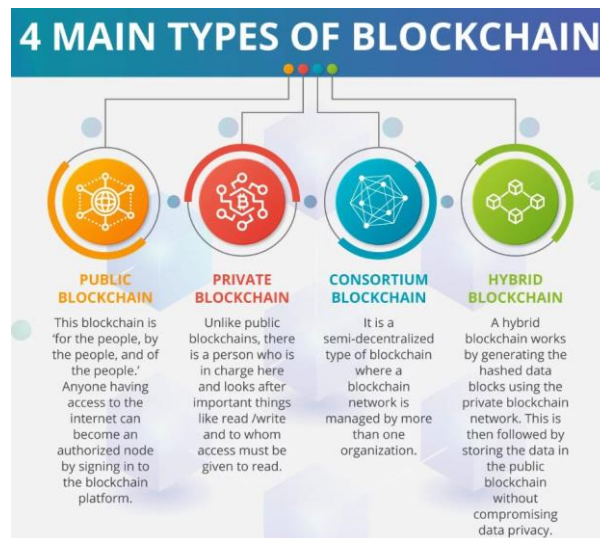


Figura 26: Tipos de Blockchain (<https://www.blockchain-council.org/wp-content/uploads/2019/12/Main-Types-of-Blockchain.png>)

3.3) HASH

Hash es un algoritmo u operación matemática compleja que recibe como entrada un conjunto de datos de cualquier tamaño y los transforma en un identificador o cadena de longitud fija, única e irreplicable. Gracias a este proceso cada bloque queda identificado por ese código, lo que garantiza que posteriormente los datos no sean modificados, ya que cualquier cambio en los datos originales produciría un hash completamente diferente.

La cadena de caracteres es el resultado del “resumen” de un conjunto mayor de datos (bloque completo) y para asegurar la **inalterabilidad** de la cadena cada bloque incluye el hash del bloque anterior (bloque padre), así se puede saber cuál es el bloque anterior y su posición, siendo éste el enlace perfecto para unir la cadena. De esta forma, en caso de manipularse un bloque, todos los bloques de la cadena que le sigan actuarían de chivatos advirtiéndole que se ha manipulado y denegando la validación del bloque nuevo a la cadena [41].

Cabe destacar que cada bloque permite generar un hash, pero desde el hash no se puede reconstruir un bloque, es decir, es algo **unidireccional**.

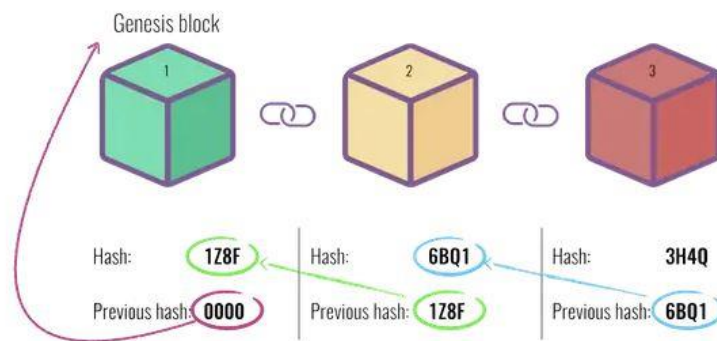


Figura 27: Ejemplo Hash en Blockchain (<https://gastcoin.com/es/que-son-los-hash-en-la-blockchain/>)

El bloque génesis mostrado en la figura 27, es el único bloque que no tiene predecesor ya que es el primero. Desde él se construye toda la cadena de bloques. Este bloque suele contener parámetros básicos de la blockchain.

Explicado de forma sencilla, el hash equivaldría a una pegatina que se pone en cada bloque para impedir que sea manipulado y reemplazado por bloques falsos.

Si se quisiera alterar el registro, se tendría que hacer el siguiente procedimiento:

- En primer lugar, se debería calcular el hash del bloque que tiene la transacción que se quiere manipular.
- Una vez hecho esto habría que cambiar el hash del siguiente bloque también, ya que la referencia ha cambiado, así consecutivamente cambiando toda la cadena de bloques hasta el último bloque. Explicado parece factible, sobre todo si usáramos muchos dispositivos, cientos de ellos, pero hay que pensar que mientras tanto en la plataforma habrá miles o millones de nodos añadiendo operaciones legítimas y válidas al mismo tiempo con los bloques correspondientes.

Por esto mismo para atacar una blockchain haría falta tal potencia informática que sería imposible de realizar sin que el resto se diera cuenta. Es decir, habría que superar en potencia a los legítimos.

Llegando así a la conclusión de que cuanto más crece una red blockchain, más difícil es vulnerar el algoritmo de consenso.

3.4) ¿Cómo se crean los bloques en blockchain?

Hasta el momento se ha explicado el funcionamiento general de la cadena de bloques, sus características a grandes rasgos y las partes que la componen, pero realmente ¿cómo se generan nuevos bloques?

Para resolver esta pregunta tenemos que introducir el concepto de **minería o data mining**.

La minería es esencial en la tecnología blockchain. Recordemos que blockchain es un registro de todas las transacciones que se realizan entre los participantes de la red. Por lo tanto, el motivo de generar nuevos bloques será la necesidad de registrar nuevas transacciones, y para ello existen los mineros (“miners”). Los mineros son participantes en la red que se encargan de crear nuevos bloques.

El proceso de creación de nuevos bloques consiste en resolver un problema matemático o puzle con una única solución válida para la red a base de potencia computacional, esta solución es el hash comentado en el apartado anterior. Una vez se encuentre, se añadirá a la cadena por consenso y el minero que encuentre la solución será recompensado por su esfuerzo (Maldonado, 2020).

Los pasos del proceso de creación de nuevos bloques son los siguientes:

1. **Registro de una transacción:** El registro de una transacción se produce cuando un usuario quiere realizar un movimiento de los activos en la red de blockchain. Cuando es registrada, esta transacción queda a la espera de ser confirmada y se añade un nuevo bloque para que sea minado.
2. **Creación de bloque candidato:** Los mineros recogen las transacciones pendientes de añadir a la blockchain y se encargan de construir un bloque propio con transacciones pendientes entre las cuales no puede haber ninguna ya validada.

Las transacciones se agrupan en un bloque de transacciones o bloque candidato, incluyendo además de las transacciones un encabezado que contiene la siguiente información:

- Hash del bloque anterior.
- Marca de tiempo: Representa el momento exacto en el que el bloque ha sido minado y validado por la red de blockchain.

- El *nonce*: Es un valor que al pasarlo por la función hash genera el dato de identidad que buscamos. Este valor solo se puede utilizar una vez.
 - Objetivo del algoritmo de consenso: Son requisitos adicionales que debe de cumplir el *nonce* para que sea válido.
 - Información adicional (versión software...)
3. **Prueba de trabajo:** Con los bloques transaccionales candidatos cada minero debe buscar la solución matemática al puzle o firma válida (hash), para ello utilizan el *nonce* hasta encontrar el hash único para cada bloque candidato. El hash generado al utilizar el *nonce* tiene que cumplir con las condiciones establecidas por el algoritmo de consenso, de los que hablaremos más adelante (apartado 3.5). Por ejemplo, en Bitcoin, este número debe tener un determinado número de ceros al inicio. Además, como la potencia de cálculo para el minado aumenta, la dificultad de minado también se ajusta para que el tiempo de validación entre bloques siempre sea similar.
 4. **Transmisión del bloque candidato:** Una vez un minero encuentra un hash de salida valido, el minero lo anuncia al resto de nodos el bloque con el hash para validarlo.
 5. **Verificación:** El resto de los nodos que forman la red verifican si el bloque y hash son correctos y cumplen con las condiciones predefinidas, si el 50% de la red lo considera valido, el bloque candidato pasa a añadirse como el último bloque de la cadena.
 6. **Recompensa:** El minero que creo el bloque candidato validado recibe comisiones de las transacciones del bloque y en algunos casos recompensas de minado.
 7. **Reinicio:** Una vez añadido el bloque, cada minero tendrá se verá obligado a crear nuevos bloques candidatos debido a que deben contener el hash de salida del bloque que les precede, por lo tanto, no podrán continuar con los bloques que estaban minando con anterioridad y tendrán que empezar de nuevo el proceso.

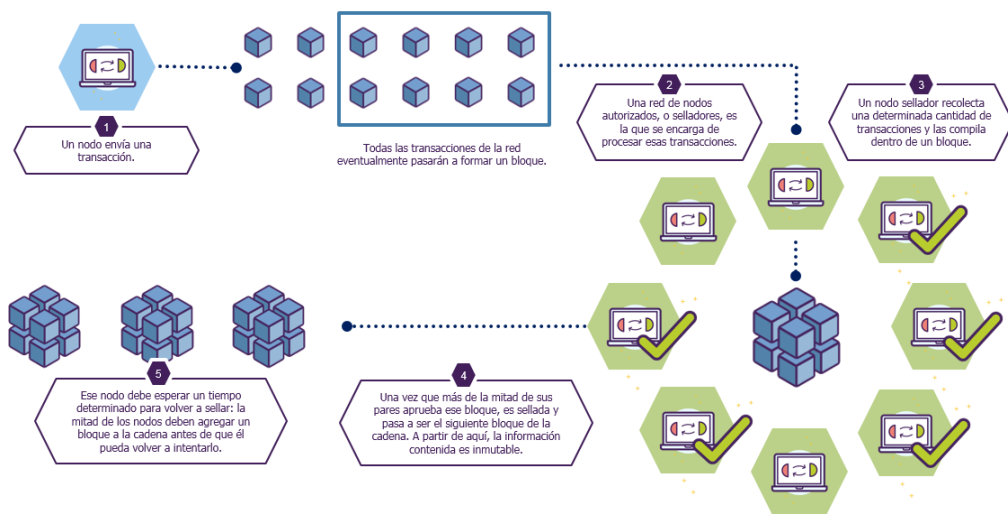


Figura 28: Proceso generación bloques. (<https://bfa.ar/blockchain/protocolos-de-consenso>)

3.5) Protocolos de consenso

Los protocolos de consenso son el método que tiene blockchain para que los participantes o nodos en la red puedan llegar a un acuerdo. El objetivo fundamental es que existan unas reglas comunes e igualdad entre todos los participantes.

El protocolo de consenso es la característica más diferenciadora entre las distintas plataformas blockchain, haciendo que cada una presente unas ventajas y desventajas propias, como puede ser el consumo energético que comentaremos más adelante (apartado 3.9).

Algunos de los algoritmos de consenso más conocidos son los siguientes:

Proof of Work (POW)

POW es de los algoritmos más antiguos y populares. Este protocolo de consenso es el utilizado en plataformas como Bitcoin. El esquema descrito sobre la creación de nuevos bloques es en utilizando este tipo de consenso, otros algoritmos utilizan términos similares a minería, pero los pasos de la creación de bloques son muy parecidos.

La obtención del hash para elegir que bloque candidato pasa a formar parte de blockchain se elige mediante prueba y error a base de potencia computacional bruta hasta que un minero encuentra el hash adecuado para su bloque. Esta

es la característica propia del protocolo de consenso POW. (Gervais et al., 2016)

Proof of work destaca por ser de los más utilizados en las blockchain con criptomonedas asociadas, para crear su propia economía a base del sistema de recompensas, lo que atrae a más participantes a la red y de esta forma potenciar sus fortalezas, la descentralización y seguridad.

Proof of stake (POS)

Además del POW, otro de los más conocidos es el Proof of Stake (POS). Este protocolo de consenso consigue que la forma de validar un bloque sea de forma **aleatoria**, dando mayor probabilidad a quienes cumplan una serie de criterios. La elección de quien valida los bloques depende de dos criterios, quien tenga más monedas en reserva, y quien más monedas apueste como garantía tendrán más posibilidades. Lo que significa que POS es un proceso distinto a POW, donde no es necesario un gasto enorme de energía porque no se necesita resolver acertijos criptográficos a base de poder computacional, siendo más amigable energéticamente. (Segura, 2018)

POW y POS son los protocolos de consenso utilizados por las grandes empresas en criptodivisas, como son Bitcoin (POW) o Ethereum (POS), aunque no son los únicos, existen muchos consensos que son variaciones de estos o completamente diferentes. Otro de los más utilizados sobre todo en las blockchains privadas es el *Proof of Authority*, del cual hablaremos más adelante en el caso práctico. (apartado 4.6)

3.6) Smart contracts

Entonces, ¿Qué son los smart Contracts y qué tienen que ver con blockchain? Con blockchain garantizamos que todo el mundo vea la misma información sin que una parte tenga que confiar en que la otra sea honrada, es decir, se impide el intento de falsificación de información.

El contrato inteligente estaba ideado en principio para permitir el comercio electrónico sin intermediarios y evitar el papeleo legal. Actualmente, el contrato inteligente es un programa o script que permanece almacenado inactivo en una blockchain hasta que se ejecuta cuando se dan una serie de condiciones predeterminadas. De esta forma se automatiza la ejecución de un acuerdo para

que todos los participantes puedan estar seguros de inmediato del resultado sin utilizar intermediarios ni perder tiempo. (Alharby et al., 2017)

Los smart contracts son una herramienta muy útil para la automatización de procesos y la creación de aplicaciones descentralizadas, también llamadas dApps¹⁰. Otra de las ventajas de estos contratos es que son autónomos, reducen los costes y la complejidad de las transacciones y aumentan la eficiencia de los acuerdos comerciales. A todo esto, se le suma que están almacenados en la propia red de blockchain siendo seguros e inmutables, evitando los fraudes.

El proceso simplificado de los smart contracts es el siguiente:

1. Una de las partes involucradas codifica el contrato inteligente, añadiendo las condiciones que se tienen que dar para realizar un intercambio de activos o de información.
2. Ambas partes involucradas aceptan el contrato inteligente desarrollado.
3. El contrato se activa y almacena en el registro, quedando a la espera de que se den las condiciones predeterminadas.
4. Una vez se cumplen las condiciones el contrato se ejecuta automáticamente haciendo los intercambios pactados, de dinero, propiedades o información.



Figura 25: Esquema smart contract (<https://www.dig.es/smart-contracts/>)

En conclusión, los smart contracts son el medio perfecto para agilizar los procesos contractuales tradicionales reduciendo a terceras partes, suponiendo una evolución del sistema legal debido a que el contenido de los contratos no se puede falsificar.

¹⁰ Las dApps son aplicaciones informáticas conectadas a una red descentralizada de nodos en lugar de depender de una entidad centralizada como son las bases de datos comunes. Es decir, una app conectada a una blockchain cuya función principal es recopilar información y registrarla de forma permanente en ella.

3.6.1) Ejemplo de contrato inteligente

En este apartado se describirá un ejemplo sencillo de lo que sería un smart contract:

Imagine que se va a realizar una apuesta entre dos amigos, Ana y Juan, en la que están apostando por el resultado de un partido de fútbol de sus equipos favoritos. Los dos amigos quieren asegurarse de que la apuesta se cumpla automáticamente sin depender de la honestidad del otro. Aquí es donde entra en juego un smart contract.

Los pasos serían los siguientes:

1. Creación del smart Contract: Lo primero sería crear un smart contract en una blockchain. Este contrato establece las reglas de la apuesta:
 - La cantidad de dinero que apuestan.
 - El equipo por el que apuestan.
 - Las condiciones para determinar al ganador.
2. Ejecución Automática: Cuando el partido de fútbol termina, se introduce la información del resultado en la blockchain. El contrato inteligente de forma automática verifica la información y determina el ganador según las reglas previamente establecidas.
3. Pago Automático: Si el equipo por el que apostó Ana ganó, el smart contract transferirá automáticamente el dinero de Juan a Ana. Si el equipo de Juan ganó, entonces el dinero se transferirá de Ana a Juan.

En este caso no es necesario que Ana o Juan tengan que confiar en que el otro cumplirá su parte de la apuesta, ya que el smart contract garantiza que las transacciones se realicen automáticamente si se cumplen las condiciones.

Esta demostración es muy sencilla, pero se podría trasladar a cualquier sector y aplicar la misma mecánica, por ejemplo, para la compra o venta de bienes con pagos a cuotas para que se automaticen los pagos en las fechas acordadas, o el contrato de arrendamiento de una vivienda.

3.6.2) Ventajas y desventajas de los smart contracts.

Los beneficios principales de los smart contracts son los siguientes (Rodríguez,2020):

- **Autónomos:** Los contratos inteligentes una vez codificados se quedan activados, con la posibilidad de ejecutarse y completarse en el momento oportuno sin interferencia de nadie. Característica perfecta para evitar la manipulación o interpretaciones erróneas.
- **Seguro:** Al igual que la blockchain, todos los contratos inteligentes están protegidos por criptografía, evitando accesos no autorizados y ataques maliciosos.
- **Baratos:** Los smart contracts al eliminar a cualquier intermediario como abogados o notarios reduce los costos generales haciéndolos una opción económica sobre todo en contratos recurrentes.
- **Rápidos:** Al contrario que los contratos manuales que pueden llevar días este tipo de contratos se ejecutan casi al instante al cumplir las condiciones que se definieron.

3.7) Blockchains más conocidas

En la actualidad se han desarrollado muchas plataformas blockchain hasta el momento; sin embargo, hay algunas con más popularidad y trayectoria que otras. Las blockchain con más influencia en el mundo son las siguientes:

Bitcoin

Bitcoin sin duda es la más popular cuando hablamos de criptomonedas. Esta blockchain es la pionera en definir una moneda descentralizada la cual ningún banco o institución financiera tuviera control sobre la emisión o manipulación de ellas [9].

Ha llegado a un nivel de popularización en la que hoy en día muchos comercios permiten la compra de sus productos o servicios a cambio de esta moneda. Si bien es así su popularización, que representa el 40% de todo el valor del mundo de criptomonedas.

Bitcoin utiliza como prueba de consenso la Prueba de Trabajo (POW), por la cual los usuarios realizan transacciones seguras verificándolas a través de complejos cálculo matemáticos.

La red global de bitcoin cuenta con una oferta limitada de 21 millones de bitcoin, y ha sido la primera plataforma en llevar la tecnología de blockchain a alterar los sistemas financieros y tecnológicos e incluso la percepción del dinero.



Figura 26: Logo bitcoin

Ethereum

Ethereum es otra de las plataformas más antiguas, junto a bitcoin, la cual desarrolló su propia criptomoneda, Ether, en la red pública. Esta plataforma fue desarrollada por Vitalik Buterin en 2013 y se puso en marcha en 2015. Ethereum, a diferencia de bitcoin, va más allá de ser meramente centrada en el sector financiero, sino que, gracias a su descentralización y capacidad de desarrollar contratos inteligentes, la hace mucho más versátil para la creación de aplicaciones descentralizadas [20].

Ethereum utiliza como prueba de consenso la prueba de participación (POS). Gracias a ello, es mucho más eficiente energéticamente que bitcoin y es capaz de realizar muchas más transacciones.

Lo realmente revolucionario de Ethereum es que está llevando a la creación de muchos mercados descentralizados gracias a su capacidad de crear redes privadas de blockchain en ella, aplicaciones e incluso sistemas de votación transparentes. Además, tiene la comunidad de desarrolladores más amplia del sector tecnológico de las blockchains.



Figura 27: Logo Ethereum

Otras

Existen muchas otras plataformas blockchain con sus características distintivas. Por ejemplo, Hyperledger, la cual se enfoca en el desarrollo de aplicaciones

empresariales dando herramientas personalizadas. Otra plataforma es Ripple, que se centra en las transacciones financieras, pero utilizando un algoritmo de consenso propio para dar mayor velocidad a las transferencias. Por otro lado, existe también Corda, que se destaca por estar diseñada centrada en la privacidad e interoperabilidad entre empresas.

Estas son solo una de las pocas plataformas blockchain de hoy en día, cada una con diferentes enfoques para satisfacer las diversas necesidades que puede cubrir esta tecnología.

3.8) Sectores de aplicación

¿Se puede aplicar la tecnología blockchain y los smart contracts en cualquier sector? Esta es una pregunta habitual al hablar de esta tecnología. Blockchain ha generado interés en diversos sectores, desde la industria financiera hasta los servicios de salud, pasando por la logística, la energía y muchos otros. En cada uno de estos sectores, la implementación de blockchain y smart contracts tiene un gran potencial en la mejora de la transparencia, la seguridad y la eficiencia en los procesos, por lo tanto, que sector no querría beneficiarse de estas ventajas.

Los últimos años se ha estado explorando los diferentes sectores donde estas tecnologías pueden ser aplicadas y los beneficios que pueden aportar. Casualmente en la mayoría de los sectores se ha generado curiosidad y se han creado proyectos de exploración y adaptación de Blockchain en las grandes empresas.

Algunos de los sectores en los que se está invirtiendo o se ha implementado ya esta tecnología son los siguientes:

Energético

Es la industria que más está invirtiendo junto a la financiera en la investigación de los usos de blockchain, ofreciendo muchos beneficios, como dar información global del mercado energético o respaldar cada paso desde que se extrae el gas desde sus yacimientos hasta la inyección en la red. También ayuda a regular y cumplir la legislación existente, facilitando compartir la información entre empresas y las reguladoras.

Unos de las grandes empresas que investigan las aplicaciones de blockchain es Iberdrola. La cual utiliza para acreditar el origen de la energía verde que distribuye (Iberdrola, 2019)

Financiero

El sector financiero fue el primero en sentir la tecnología blockchain con la llegada del bitcoin. Esta criptomoneda estableció la nueva funcionalidad de un sistema descentralizado para realizar transacciones a cualquier parte del mundo. Los bancos saben de la importancia de esta tecnología y algunos de ellos ya están tomando medidas para favorecerse de ella.

Hoy en día BBVA ofrece la posibilidad de compra de la criptomoneda bitcoin en Suiza, y el Santander también ha lanzado One Trade Fx una plataforma que permite a los clientes empresas la compraventa de divisas extranjeras en tiempo real (Santander, 2023). De esta forma se aceleran las transacciones a un nivel prácticamente instantáneo, eficiente y seguro.

Salud

La salud a priori quizás no parezca un sector al que le deba ayudar mucho la tecnología Blockchain, pero tiene más beneficios de lo esperado. Esta tecnología se puede implantar para mejorar la seguridad y privacidad de los registros médicos electrónicos, asegurando que los datos no se modifiquen y sean accesibles solo a los autorizados. Según el informe “IBM, Healthcare Rallies for Blockchain” (IBM, 2020) el 56% de las organizaciones con atención médica planean utilizar esta tecnología.

Uno de los casos de aplicación en el sector sanitario es la empresa Mayo Clinic, la cual está utilizando blockchain para gestionar datos de ensayos clínicos, en concreto para un ensayo en hipertensión arterial (Fox, 2022).

Alimentario (Cadena de suministro, agricultura, ganadería)

Al sector alimentario, la tecnología blockchain proporciona una serie de beneficios significativos desde el lado de cliente y de las empresas. Desde el lado del cliente, blockchain proporciona transparencia y trazabilidad en la cadena de suministros de los alimentos, lo que permite que un comprador o consumidor pueda rastrear su procedencia, teniendo visión desde su origen en los cultivos o granjas, hasta los puntos de venta. Esta posibilidad asegura al comprador el origen de los alimentos, por la cual muchos productos hoy en día obtienen su valor.

En el sector alimentario la plataforma IBM Food Trust es una de las más conocidas, la cual da servicios a empresas como Carrefour y Nestlé. Carrefour lanzó varios productos que utilizaban blockchain para rastrear su cadena de suministro (IBM 2018).

Turístico

Algunas de las posibilidades de mejora en el sector turístico son las siguientes:

Implementación de pagos con criptomonedas, mucho más seguros y trazables, quedando registradas, además de evitar intermediarios en la compra de billetes para evitar retrasos en los pagos. Sumándole la ventaja de no ser necesario el cambio de divisas, por lo que no tendríamos que temer a la volatilidad de estas y siendo transacciones mucho más rápidas. Un ejemplo de empresa que se basa en estas características es Locktrip, que es un sitio web de reservas de viajes que tiene su propia criptomoneda para realizar las transacciones sin intermediarios.

Otra posible implementación es el del caso de la plataforma Loyal que se encarga de ayudar a las empresas a crear programas de lealtad y para recompensar a los clientes por acciones específicas como dejar una reseña o reservar un vuelo.

Logística

En la mayoría de los sectores blockchain ayuda por la trazabilidad, pero en este sector esa característica es más importante que en ningún otro, siendo un factor determinante que ayuda a mejorar la eficiencia de la producción.

El primer punto de mejora es la aplicación de un control exhaustivo del stock. La gestión de stocks es un punto complicado para algunas empresas, pero blockchain ofrece un seguimiento seguro y eficaz de los productos. En concreto el sector alimentario porque permite controlar los datos del producto como caducidad o ingredientes. La trazabilidad es posible gracias al registro de cada etapa del proceso de transporte, y además de manera segura y descentralizadas, evitando modificaciones.

Al automatizar y simplificar muchos los procesos administrativos y operativos se consigue de forma directa aumentar la rentabilidad y productividad, abaratándose los costes por la reducción de tiempos de entrega y de errores.

Algunas de las empresas que utilizan Blockchain en el sector logístico son:

- Walmart: Lo ha implementado en la cadena de suministros para rastrear los alimentos frescos para detectar los problemas de seguridad alimentaria.
- DHL: “Trade Automation Services” es la plataforma desarrollada por ellos enfocada en facilitar el comercio internacional.
- Maersk: Es una compañía de transporte naviera que se ha asociado con IBM para desarrollar “TradeLens”, plataforma que rastrea envíos y documentación.

Gobierno-Administraciones públicas

Existen diversos beneficios de blockchain sobre el sector público, en primer lugar, permite fortalecer la digitalización de los organismos públicos,

mejorando la infraestructura, garantizando la privacidad, el cumplimiento normativo y un correcto intercambio de datos. Gracias a la estructura de la cadena de bloques ayudaría al gobierno a compartir datos entre entidades de forma segura y transparente y de esta forma mantener privacidad en los datos confidenciales.

Por otro lado, tenemos una de las premisas por las que blockchain triunfa, o más en concreto las criptomonedas, esta premisa es la de reducir la burocracia y la corrupción. Esto se debe precisamente a su capacidad de proporcionar registros digitales que no se pueden modificar, de esta forma se garantiza la integridad y transparencia de los procesos gubernamentales.

Por último, otra posibilidad sería la integración de smart contracts en procesos electorales para gestionar los registros y recuentos de votos, donde los votantes tienen garantía del registro de su voto y transparencia para ver el proceso, asegurando así unos resultados inalterables. Este proceso se podría aplicar en muchas otras elecciones y decisiones con voto.

En conclusión, la implantación de blockchain es definitivamente beneficiosa para todos los sectores. Sin embargo, es posible que haya sectores en los que no sea viable debido a factores como el coste, la complejidad o la falta de necesidad de esta tecnología. Por lo tanto, aunque en cualquier empresa podría llegar a traer ventajas, en algunas de ellas como las que no manejan grandes cantidades de datos o ya tienen procesos seguros, no tendrían la necesidad de implantar esta tecnología.

Cada sector debe evaluar si las ventajas son convenientes para elegir si tomaran la decisión de implantarlas, por esta misma razón, las empresas hoy en día están explorando cuidadosamente esta tecnología.

3.9) Limitaciones Blockchain

La tecnología blockchain como acabamos de ver puede traer soluciones a muchos de los desafíos existentes en las empresas, como son la capacidad de proporcionar una base de datos segura, transparente y distribuida, sumándole una mejora en la trazabilidad de los productos muy beneficiosa para algunos sectores. En cambio, al igual que cualquier otra tecnología tiene puntos débiles y su implantación puede generar una situación de riesgo si hay ausencia de una estrategia. Algunas de las limitaciones de blockchain son las siguientes:

Escalabilidad

Como blockchain es una tecnología en desarrollo, actualmente puede ser complicado procesar una gran cantidad de transacciones por segundo como las bases de datos tradicionales. Se podría decir que es más lenta debido a la necesidad de verificar y almacenar cada transacción. Además, es dependiente de la congestión de la red, a mayor número de personas o nodos en la red. La diferencia de Bitcoin con VISA, como ejemplo, Bitcoin permite 6 transacciones por segundo o Ethereum con 15 transacciones, mientras que VISA realiza 1700 por segundo [50].

Costo

El costo de implementación es otra de las posibles desventajas a la hora de utilizar blockchain respecto a las bases de datos tradicionales. Si se quiere una herramienta de blockchain propia o muy personalizada hay que considerar la contratación de desarrolladores para gestionar un sistema de blockchain y un mantenimiento una vez esté en funcionamiento. Por ejemplo, el desarrollo para crear una *dApp* financiera sobre blockchain tiene un coste considerable como se ve en la figura 32, en la que los valores varían mucho dependiendo de la complejidad de la empresa a la que se quiera implementar.

Industria	Costo
Cuidado de la salud	\$55-\$100K+
Bajo demanda	\$40-\$80K
Medios de comunicación social	\$45-\$100K+
Sector público	\$70-\$100K+15t
sector financiero	\$50-\$100K+

Figura 28: Costes *dapp* por sector (<https://oyelabs.com/es/blockchain-app-desarrollo-costo/>)

Además, habría que sumar el costo de las herramientas de terceros, como los servicios web de Amazon, servicios de monitoreo, de notificación o de seguimiento de errores. Todos ellos suman otros gastos asociados, no muy grandes en proporción con el desarrollo de la *dapp*, pero son constantes, es decir, continuarán mes a mes una vez el proyecto este activo.

En general son costes elevados para empresas pequeñas, aunque, también hay que tener en cuenta que al ser una tecnología relativamente nueva los costos asociados irán disminuyendo según se vaya aplicando en las empresas, además de que existen otras opciones como contratar servicios preparados

que utilicen la tecnología blockchain adaptada para empresas como Hyperledger Fabric. (Hyperledger Fabric, 2023)

Inmutabilidad de la información

Una de las ventajas sobre Blockchain que se ha hablado es la inmutabilidad de la información, pero esto es un arma de doble filo, ya que, si una persona se equivoca al registrar la información o es estafada el bloque no se puede modificar.

Matthew McAuley director de investigación en JLL, empresa de servicios inmobiliarios, habla sobre varios inconvenientes de la tecnología en el sector inmobiliario, entre ellas la inmutabilidad. Sobre la cual comenta que al igual que las bases de datos tradicionales, las blockchains son vulnerables al uso indebido intencional, a errores de entrada y a controles internos mal diseñados o aplicados. Matthew remarca que, como cualquier otro sistema, la cadena solo es tan buena como la calidad de sus datos. En conclusión, McAuley, opina que uno de los mayores inconvenientes de blockchain es la permanencia, siendo las acciones ya fijas, no pudiendo deshacerse de ellas. Citando sus palabras dice lo siguiente *“Cualquier cosa que involucre a los humanos nunca estará libre de errores”* (Vanci, 2022)

Por lo tanto, en este punto entra la seguridad que aplique cada empresa en verificar que los datos son correctos y no introducidos de forma indebida a propósito, si no, la inmutabilidad puede ser un inconveniente más de la tecnología, en vez de una fortaleza.

Ineficiencia de recursos

Algunas de las plataformas más utilizadas con blockchain, como Bitcoin, trabajan con el sistema *Proof of work (POW)*, siendo necesaria la minería. Para la minería son necesarios miles de ordenadores conectados, suponiendo un gasto energético enorme.

Según una estimación de la web Digiconomist¹¹, entre la red de bitcoin consume unos 100 TWh, es decir, casi la mitad de los 235 TWh que ha consumido España en 2022, según datos de la Agencia Internacional de la Energía [].

Por otro lado, Bitcoin es responsable de la gran cantidad de 54.28 MT de CO2 al año, siendo equivalente a las emisiones de un país como Singapur.

¹¹ Mas información: <https://digiconomist.net/bitcoin-energy-consumption>

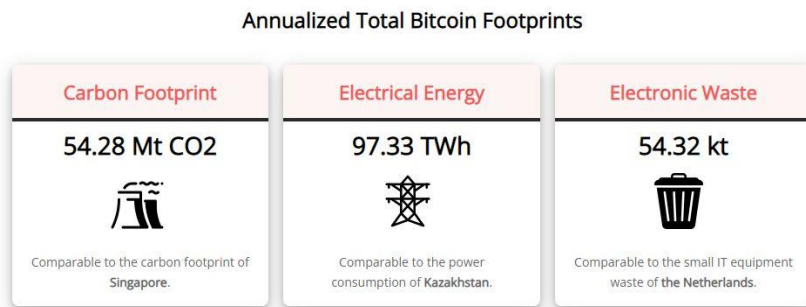


Figura 29: Gastos anuales bitcoin (<https://digiconomist.net/bitcoin-energy-consumption>)

Podemos comprobar que blockchain no es una tecnología muy amigable con el medio ambiente utilizando el algoritmo de consenso POW, pero se han desarrollado otros como el *Proof of Stake (POS)* que solucionan el problema de recursos, como ha sucedido en la plataforma Ethereum. El consumo de Ethereum ha reducido el consumo en un 99,98% tras realizar el cambio del algoritmo de consenso desde POW a POS. Se realizó el 13 de septiembre de 2022 y fue conocido como “The Merge”, reduciendo el consumo eléctrico de 100 TWh/año a solamente 0,01 TWh/año, además de reducir la huella de carbono de 70 MT de CO a solamente 0,01 MT CO₂.

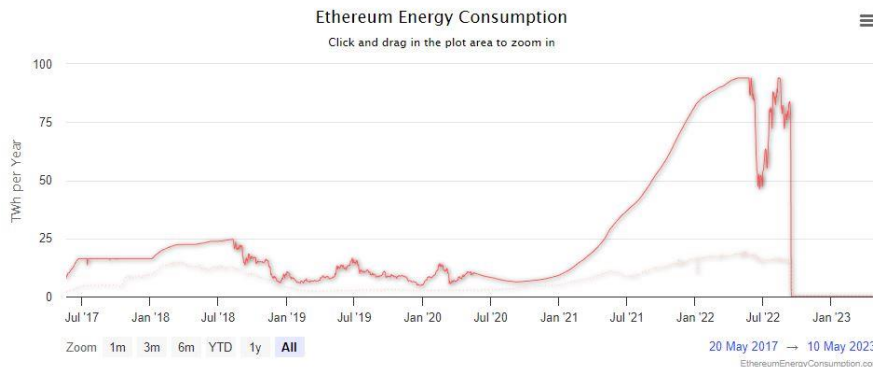


Figura 30: Ethereum gasto de energía. (<https://digiconomist.net/ethereum-energy-consumption>)

Esta medida podría aplicarse en Bitcoin, que es actualmente el mayor contaminador de criptoactivos en el mundo, pero la comunidad recibe con hostilidad este cambio, debido a que la inmutabilidad del software se considera una característica clave de Bitcoin, siendo reacios a un cambio (Espallargas, 2022)

Incompatibilidad-Interoperabilidad

La interoperabilidad es otro de los principales inconvenientes de las cadenas de bloques, negando la comunicación de manera efectiva. Los problemas de

interoperabilidad surgen debido a la utilización de protocolos y lenguajes de programación propios. Además, las redes como base son diseñadas para ser independientes y no para trabajar juntas. Todo esto resulta en que la información de algunas redes no pueda ser compartidas con otras.

Las tecnologías de cadenas de bloques más recientes mejoran respecto a las anteriores, añadiendo características o funcionalidades que las más antiguas no tienen, por ejemplo, se están adoptando protocolos comunes que facilitan la interacción entre cadenas como son “Polkadot” y “Cosmos”, las cuales permiten la comunicación de activos entre blockchains diferentes.

En resumen, existen muchos tipos de cadenas de bloques y la interoperabilidad entre ellas es complicada, aunque se estén realizando mejoras constantes en ellas todavía se está lejos de una adopción generalizada esta tecnología.

Potencial incremento de desempleo

Otro de las consecuencias que puede acarrear blockchain, no tanto para las empresas, sino para la sociedad, es la prescindencia de intermediarios de pagos y procesos, desapareciendo consigo puestos laborales dedicados a ello. Por lo tanto, algunas industrias y profesiones serían afectadas, aunque esto es un factor común en todos los avances tecnológicos.

Actualmente, blockchain ha provocado un aumento en las ofertas de empleo relacionadas con criptomonedas y blockchain, buscando sobre todo desarrolladores capaces de programar en los lenguajes específicos de las blockchains.

Por lo tanto, como cualquier otra tecnología, se ha reportado un incremento en los trabajos de perfil tecnológico, y posiblemente en un futuro provocará el remplazo de otros puestos.

En conclusión, aunque la tecnología Blockchain aporte muchas ventajas y aplicaciones, también presenta algunas limitaciones no sencillas de abordar, haciendo que la aplicación de esta tecnología sea algo dudosa en las empresas, las cuales tendrán que hacer un análisis previo para determinar su rentabilidad.

3.10) Seguridad y privacidad en blockchain

La seguridad y privacidad son aspectos fundamentales de cualquier tecnología, y blockchain no es ninguna excepción. La tecnología de blockchain por su naturaleza descentralizada y pública con sus redes de nodos presenta algunos

desafíos únicos en términos de seguridad. Con el avance en el desarrollo de esta tecnología muchos de ellos se han superado, pero es importante comprender los riesgos que puede acarrear como cualquier otra tecnología sobre todo los proyectos nuevos y en crecimiento [2].

Algunos de estos posibles problemas de seguridad son los siguientes:

- **Ataque del 51%:** Es un ataque al 51% de los nodos de la red. Si alguna entidad tiene una enorme potencia informático y fuera capaz de controlar este porcentaje de nodos, lo cual es improbable, podrían hacer cambios en el libro mayor de transacciones (Merchant, 2022)
- **Ataques de Sybil:** Consisten en conseguir influencia o poder sobre las decisiones de la red, al crearse y utilizar muchas copias o identidades falsas en la red en propiedad de una misma persona, de esta forma se tiene más influencia sobre las decisiones que son votadas entre los mineros (Segura.J , 2020).
- **Dobles-gastos:** Es un tipo de ataque que permite al ciberdelincuente utilizar un mismo token o moneda múltiples veces. Aunque, este tipo de ataque está bastante controlado en blockchain por los mecanismos de consenso de POS y POW.
- **Ataques DDoS,** es un ciberataque en el que se intenta hacer que una blockchain se vea ralentizado o incluso detenida por culpa de esta saturación de peticiones con tráfico malintencionado, es decir, sobrecargar el sistema con muchas solicitudes falsas por gran cantidad de dispositivos o *bots*, normalmente son ordenadores infectados con *malware* para enviar estas solicitudes.
- Una amenaza controlada hoy en día por blockchain son los **algoritmos cuánticos**, que podrían llegar a descifrar la criptografía de los bloques, pero en la actualidad los algoritmos criptográficos son resistentes a la computación cuántica.
- Por último, uno de los ciberataques más comunes son los **ataques de phishing**. *Phising* es una estafa en la que se envían e-mail o mensajes a un particular por diferentes plataformas solicitando las credenciales de los usuarios en hipervínculos falsos, pareciendo fuentes legítimas. Este tipo de ataque es común en todas las tecnologías, no es nada específico de blockchain [40].

Un ejemplo de phishing fue el robo de NFT de OpenSea que perdió una gran cantidad de criptoactivos equivalentes a 1,5 millones de euros. (Castaño, 2022)

Todos los ataques comentados anteriormente, sobre todo el phishing, son llamativos para los ciberdelincuentes debido al anonimato que proporciona blockchain en las redes públicas.

3.10.1) Posibles soluciones en seguridad y privacidad

Para mejorar la seguridad y privacidad en blockchain se pueden aplicar algunas mejoras que reducen el número de ataques o los dificulta.

- **Usar un sistema de validación y de cadenas de confianza.** Este punto es clave para dificultar los ataques comentados anteriormente y es utilizado de una forma u otra en todas las cadenas de bloques, mediante los algoritmos de consenso.
- **Implementar un costo por identidad en los protocolos de consenso.** Al aplicar un coste adicional por identidad se evitarían en mayor medida los ataques de Sybil, haciéndolos muy costosos, perdiendo así la rentabilidad de este tipo de ataques.
- **Sistema de reputación.** Se podría añadir algún sistema que beneficie a los usuarios con mayor tiempo en la red dándoles algo más de poder. Así se recompensaría a estos usuarios por un comportamiento correcto en la red. Además, evitar que si alguien crea cientos de nuevos usuarios obtenga un poder relevante en la red.

3.11) Casos de éxito de implantación blockchain

Existen cada vez más casos de empresas que han implementado con éxito la tecnología Blockchain en diferentes sectores. Algunos ejemplos son:

- **Nestlé:** La empresa de nutrición más grande del mundo ha implementado esta tecnología en uno de sus productos, en el café. Ahora mismo la cadena de suministro del café en Nestlé puede ser rastreada por los consumidores. De esta forma mediante un código QR en el empaque, pueden ver el camino del café desde los cultivos hasta la fábrica en Helsingborg donde se procesan. También contiene todo tipo de información, de los agricultores, certificados de envíos y momentos de cosecha. etc.
- **British Airways:** La aerolínea más importante de Gran Bretaña también ha sido una de las empresas líderes en la implementación de blockchain para sus procesos. En este caso, se ha utilizado con el fin de administrar la información acerca de los datos de vuelo entre diferentes aeropuertos. También están estudiando la implementación del servicio de verificación VChain, para comprobar la validez de la documentación de los pasajeros, verificando la identidad de las personas.
- **FedEx:** Un gigante del envío de paquetería ha implementado blockchain, uniéndose a Hyperledger, que es una iniciativa que permite la construcción de aplicaciones, plataformas, frameworks y bases de códigos para

favorecer el mercado descentralizado. FedEx ha utilizado esta tecnología para mejorar el proceso de resolución de disputas con los clientes, identificando el tipo de datos.

- **Alibaba:** La plataforma de comercio digital china ha establecido la tecnología blockchain para mejorar sus operaciones. Jack Ma, su cofundador es muy optimista con las ventajas que puede traer esta tecnología.

En la actualidad se utiliza para mejorar el seguimiento de bienes de lujo vendidos por la plataforma web.

Todas estas empresas son solo un pequeño ejemplo dentro de la gran cantidad de ellas que han invertido en aplicar la tecnología blockchain a sus procesos o tienen pensado hacerlo, beneficiándose de una mayor trazabilidad de los productos, reducción de costos y mejora de confianza con los clientes entre otras ventajas de su aplicación.

CAPÍTULO 4: Caso práctico de Implementación blockchain en cadena de suministro.

4.1) Posibles empresas para realizar el caso práctico:

A la hora de elegir una empresa se ha llevado a cabo un análisis sobre qué tipo de empresas son las mejores para implantar la tecnología Blockchain. Tras el análisis se concluyó que una de las mejores estructuras de empresa son las **cooperativas**, en este tipo de empresas no se obtienen las materias primas de un único productor, si no, que la empresa tiene un montón de proveedores diferentes en distintas localizaciones. Además, en las cooperativas los participantes son los propios dueños, es decir, los propios productores son los que tienen voz en las decisiones clave. Para ello, es necesario una confianza y transferencia de información entre ellos y el resto de las partes de la cadena de suministro, ya que, todos tienen un interés común en el éxito y en una cadena de suministro eficiente.

Una vez elegido que el tipo de empresa sería una cooperativa, se cerró ampliamente las posibilidades de empresas para el caso práctico. El siguiente punto por determinar es el sector de la empresa. En este caso, para aprovechar el beneficio claro de blockchain, que es la trazabilidad, se ha elegido empresas **alimenticias** para tener un seguimiento estricto en toda la cadena de suministro.

Con el abanico de opciones casi cerrado, lo único pendiente es decidir el tipo de alimento a comercializar. Tras reflexionar, una de las primeras opciones desde un principio por varios motivos era la industria cárnica, debido a dos factores clave:

Primero, es un producto que pueden existir exclusividades o productos gourmet, es decir, el origen de las carnes y de crianza de los animales determina su valor de gran medida, por lo tanto, añadir trazabilidad a este sector asegura la buena calidad del producto. Además, los animales son un producto algo más fácil de tener trazabilidad frente a otro tipo de alimento más pequeño.

Por otro lado, al ser productos caros que no compiten en costes como factor determinante, incorporar un extra de precio al producto por el sistema de blockchain aplicado no es tan destacable como en otros productos

Tras una investigación sobre este sector, se vio que actualmente ya existe una empresa en este sector que trabaja con varias cooperativas cárnicas

implementando la tecnología blockchain en todas ellas. Esta empresa es “Iberchain”. Por lo tanto, se descartó esta idea, aunque esta circunstancia reafirmó que blockchain también se puede aplicar en este tipo de sectores.

La siguiente opción fueron las frutas y verduras frescas. Estos alimentos han de ser cultivados, transportados y almacenados en unas condiciones óptimas, evitando el uso de gran cantidad de químicos como pesticidas y evitando romper la cadena del frío, al igual que con las carnes. Por lo tanto, era también una buena opción, pero fue desechada debido a que en el caso práctico se quería mostrar que existe la posibilidad de conectar la blockchain privada utilizada en toda la cadena de suministro con un servicio web para la venta del producto de forma online. El problema con las frutas y verduras es que el negocio online o web es escaso debido a lo perecederas que son.

Con todos los descartes realizados, y conociendo que la empresa a elegir sería una cooperativa, del sector alimenticio, con un producto preferiblemente no perecedero y que el origen del alimento atraiga en medida a los compradores finales se llegó a la elección de realizar el caso práctico sobre una empresa orientada a la producción y venta de legumbres, frutos secos o conservas.

Surgieron varias opciones de empresas:

La salmantina, Garlan, Luengo, Cidacos y Riberebro

Una vez investigadas todas las empresas comentadas anteriormente, la opción elegida para el caso práctico fue la empresa “**Cidacos**”. Se decidió la empresa Cidacos frente a otras por su tamaño, la cual incluye a gran cantidad de participantes.

4.2) Empresa objetivo: CIDACOS

La empresa objetivo para la implementación de blockchain es **Cidacos**. Es una cooperativa de conservas que se especializa en la producción y enlatado de productos alimentarios, principalmente vegetales y legumbres. La cooperativa trabaja con gran variedad de agricultores y productores repartidos por diferentes regiones de España para obtener las materias primas necesarias para sus conservas, aunque también tiene cultivos en Perú y China.



Figura 31: Logo Cidacos (<https://www.cidacos.com/>)

Cidacos tiene como objetivo crear fuertes lazos entre los productores y los participantes de la cadena de suministro, siendo este un punto clave en lograr un producto de calidad con la mayor eficiencia posible.

Otro de los valores determinantes de la empresa Cidacos es que se involucra en otorgar un producto de fresco y de alta calidad, para ello se necesita un seguimiento del estado del producto, que es llevado a cabo gracias a las existentes pruebas de calidad a lo largo de la cadena de suministro.

Por último, Cidacos se preocupa por la sostenibilidad y la responsabilidad social en su cadena de suministro. Trabaja en estrecha colaboración con los productores para promover prácticas agrícolas sostenibles, minimizar el uso de productos químicos y fomentar la preservación del medio ambiente. Esto es un factor muy beneficioso a la hora de implementar blockchain, permitiendo al cliente final apreciar de dónde vienen los productos y que estado o manipulación han sufrido, frente a otras empresas que no cuidan el medio ambiente, ni el transporte u origen de los productos.

Además, Cidacos distribuye a más de 40 países, por lo tanto, la logística es un factor fundamental para que los productos se encuentren en tantos lugares del mundo, y blockchain es una herramienta perfecta para la logística (Cidacos, 2022).



Figura 32: Mapa distribución Cidacos (<https://www.cidacos.com/>)

En resumen, los productores asociados a Cidacos son agricultores especializados que cultivan una variedad de vegetales y legumbres utilizados en las conservas de la cooperativa. La estrecha relación entre Cidacos y sus productores garantiza la calidad, la trazabilidad y la sostenibilidad en toda la cadena de suministro de la empresa, que será fortalecida por la tecnología blockchain dando al cliente final información sobre los procesos, generando así valor en el producto final.

4.3) Descripción del problema

En este apartado se desarrollarán los actuales desafíos y problemas a resolver que existen en la cadena de suministros de alimentos en las empresas, en concreto en la cooperativa Cidacos.

Las empresas de alimentación sufren varios problemas o debilidades a los que se tienen que enfrentar, entre ellos se pueden destacar los siguientes:

- **Falta de trazabilidad:** Actualmente, la capacidad de trazar o rastrear los productos o lotes en cada instante es bastante limitada. En una empresa con exportación a más de 40 países, determinar el origen del producto es clave. Por otro lado, al ser una cooperativa con distintos agricultores distribuidos por los países de origen (España, Perú, China) no es suficiente con conocer el país de origen, si no que sería necesario conocer el campo de cultivo.
- **Falta de transparencia:** Ligado con el problema anterior, la información acerca de los productos a lo largo de la cadena de suministro normalmente es opaca en muchos aspectos para el cliente final, lo que puede generar desconfianza. Pero no solo para el cliente final, Cidacos tiene muchos proveedores, lo que hace que sea necesario que todos ellos cumplan unos estándares de calidad con el producto y puede ser complicado verificarla.
- **Posibilidad de fraude:** En cierto modo, la falta de transparencia y de trazabilidad puede generar un tercer problema, que la seguridad alimentaria se vea comprometida. Da paso a la posibilidad de que los productos sean falsificados o modificados durante la cadena de suministro llegando al cliente con una calidad inferior o incluso dañina. Este punto es especialmente preocupante para Cidacos, ya que dentro de su estrategia de negocio la seguridad alimentaria es el factor que más importancia tiene.

- **Procesos manuales y exceso de papeleo:** Actualmente, el exceso de papeleo puede llevar a retrasos o ineficiencias en los procesos. Lo ideal sería automatizar lo máximo posible cualquier tipo de trámite de documentación de la cadena de suministro, facturas, transacciones comerciales, recursos humanos y comunicaciones internas o externas,
- **Confianza y cumplimiento de la normativa:** El último punto de mejora de las empresas dedicadas al sector alimentación es la dificultad para asegurar la autenticidad y calidad de los productos que se comercializan, capacidad necesaria para que el cliente tenga confianza en la empresa y para demostrar que se cumple con todas las normativas vigentes.

Todos las debilidades o desafíos comentados anteriormente si no se gestionan de la forma correcta pueden llevar a la empresa a una pérdida de reputación, confianza del consumidor, ineficiencias de los procesos y posibles retrasos en la producción.

La cooperativa Cidacos en búsqueda de una solución que cubra todos los desafíos actuales podría implementar la tecnología blockchain como solución a todos ellos. Blockchain, proporcionaría un registro inmutable y transparente de todas las transacciones y eventos, cosa que no solo aplicable a criptomonedas, también se puede aplicar a los lotes de alimentos desde la producción hasta la distribución. Cada etapa del proceso se registraría en forma de bloques en la cadena de bloques, creando un historial completo y verificable de la procedencia, calidad y condiciones de los productos.

Además, la tecnología blockchain es idónea para Cidacos debido a su naturaleza descentralizada, ofreciendo la capacidad de establecer un consenso y traspaso de información entre todos los participantes de la red, es decir, todas las empresas participantes en la cadena de suministro. La posibilidad de que cada empresa se convierta en un nodo participante en la red asegura que la información almacenada en la cadena de bloques sea confiable, ya que, requiere la validación de los nodos o participantes. Sumando a todo lo anterior que el contenido permanecería seguro gracias a la encriptación característica de blockchain.

4.4) Objetivos clave implementación blockchain

Los principales objetivos o soluciones analizadas con la implementación de blockchain en Cidacos son los siguientes:

- La implementación de blockchain en la cooperativa permitiría mejorar **la trazabilidad de las conservas de Cidacos**, facilitando la identificación precisa de su origen de cultivo, el estado a lo largo de la cadena, su ruta de distribución y los actores involucrados en cada etapa. De esta forma, todos los participantes de la cadena de suministro pueden tener localizado en cada momento el estado de las conservas.
Este es el punto principal de la implementación, pero no es la única ventaja o mejora que ofrece esta tecnología a la cooperativa.
- Mayor agilidad en procesos de **control de calidad, prevención de fraudes y gestión de reclamaciones**. Para conseguir estas ventajas blockchain permitiría que se puedan incluir a empresas de calidad o gobiernos en la propia blockchain, permitiéndolos formar parte de la estructura y que sean partícipes de los procesos para que puedan detectar más fácilmente que se cumplan los requisitos de calidad y las leyes necesarias.
- **Resuelve** las siguientes **dudas al cliente final**: ¿Dónde se ha cultivado? ¿Quién lo ha cultivado? ¿En qué condiciones se ha cultivado y transportado? ¿Dónde ha sido producido?
Con toda la información que se habrá ido recopilando a lo largo de la cadena de suministro gracias a los participantes o sensores, la blockchain permitiría seleccionar la información más relevante y mostrársela al cliente en la venta, así no tendrá ninguna duda acerca del producto y se incrementará la confianza con la corporativa.
Para poder visualizar esta información, uno de los métodos ya implantados en otras empresas es que el producto tendrá algún tipo de identificador escaneable, por ejemplo, un QR o código de barras. Con este identificador el cliente podrá acceder a la información de la blockchain de una forma rápida y al alcance de todo el mundo.
- **Interoperabilidad** con otros sistemas de la cadena de suministro. Se podría llegar a integrar junto a otros sistemas, como sensores IoT o dispositivos de seguimiento para recoger la información con mayor rapidez. También se puede conectar con los sistemas de gestión propios de la empresa para intercambiar datos de forma automatizada y supervisar las condiciones de los productos en tiempo real. Incluso se podría llegar a conectar con otras blockchain. Todas estas posibilidades en el comienzo de blockchain eran muy complicadas de llevarlas a cabo, pero con los años se están facilitando las relaciones entre herramientas, llevando a blockchain al siguiente nivel.

En pocas palabras, la implementación de blockchain en la cooperativa Cidacos permitirá solucionar los desafíos de trazabilidad, transparencia y confianza en

la cadena de suministro de alimentos. Gracias a blockchain se creará un entorno idóneo para el intercambio de información, consiguiendo una gestión mucho más eficaz y dando visibilidad al valor de la calidad de las conservas desde los campos de cultivo hasta el carrito del consumidor final.

4.5) Participantes en la blockchain.

La cadena de suministro involucra a una gran cantidad de participantes que se agrupan según su función en ella, desde cosechar los cultivos o distribuir las conservas procesadas al consumidor final. Cada uno de ellos tiene un papel fundamental y gracias a la implementación de blockchain se facilitará la confianza entre todos ellos.



Figura 33: Participantes blockchain

Para el caso práctico, aunque gran parte de la cadena de suministro esté dentro de la compañía Cidacos, reduciremos el trabajo de la empresa a meramente el procesado y envasado de las materias primas. Se va a realizar de esta forma porque blockchain es mucho más útil cuantos más participantes de distintas empresas existan en la cadena de suministro, permitiendo que existan más nodos en la blockchain privada y evitando el monopolio de decisiones.

Por lo tanto, el primer paso es reunir a todos los participantes que formarán parte de la blockchain, tanto los participantes directos en la producción como agentes externos a ella, pero necesarios en los procesos de la empresa. Todas estas personas estarán autenticadas para acceder a la red y consultar la información en ella:

Productores/Agricultores

Los productores asociados a Cidacos son agricultores que cultivan una amplia gama de ingredientes utilizados en las conservas, como legumbres, tomates, pimientos, guisantes, espárragos, entre otros. Estos productores están ubicados en diversas zonas agrícolas de España, Perú y China aprovechando las condiciones climáticas y los suelos propicios para el cultivo de cada tipo de vegetal.



Figura 34: Mapa producción Cidacos (<https://www.cidacos.com/>)

Cidacos cuenta con una gran cantidad de agricultores para la numerosa amplitud de los campos de cultivos que se observan en la figura 38.

Todos los agricultores de la cooperativa de Cidacos serán el primer eslabón de la cadena de bloques, otorgando una información clave a la blockchain sobre el origen de los cultivos, el seguimiento de su crecimiento o incluso para comunicarse con el siguiente punto de la cadena de suministro.

Plantas de envasado y procesado

Las materias primas no son vendidas directamente al cliente, tienen que pasar por otro punto importante en la cadena de suministro, este punto es la planta de procesado y envasado. En este caso el participante es la propia empresa Cidacos.

Las plantas de envasado y procesado de Cidacos desempeñan un papel fundamental en la cadena de suministro de la empresa. En estas instalaciones es donde los productos agrícolas frescos son transformados en las conservas que llegan a los consumidores. Las instalaciones cuentan con maquinaria moderna para la transformación de los alimentos.

También cuentan con un personal capacitado, dedicado en las plantas de envasado y procesado de Cidacos realizando tareas para garantizar la calidad

de los productos. El personal realiza tareas desde la clasificación y el lavado, hasta el pelado, corte y envasado, dependiendo del producto. Todas las etapas de los procesos son llevadas a cabo siguiendo rigurosos estándares de higiene y seguridad alimentaria.

Cidacos cuenta con varias plantas en España con distintas especialidades:

- **Planta de Autol.** Es una de las principales productoras de champiñones y guisantes de la Rioja.
- **Planta de La Puebla de Montalbán.** Planta situada en Toledo, centrada en la producción del tomate.
- **Planta de Coria.** Planta situada en Cáceres, centrada en la producción de tomate y salsas como ketchup y mahonesa.
- **Planta de Albelda** Planta situada en La Rioja, centrada en la producción de salsas.
- **Planta de Funes,** planta situada en Navarra, centrada en la producción de maíz y legumbres.

También cuenta con plantas en **Perú y China.**

- En concreto la empresa **Green Peru** del Grupo Cidacos, se encarga de cultivar espárragos blancos y verdes, pimientos y aguacate. Cuenta con más de 3700 hectáreas de cultivo y una moderna planta de envasado de productos frescos cerca de los cultivos, además de una de producción de conserva vegetal. (Espárrago, blanco y verde, pimiento)



Figura 35: Planta de Coria (<https://www.cidacos.com/>)

En todas las instalaciones se recoge información de los procesos realizados y las condiciones en las que han sucedido enriqueciendo de información la plataforma. Gracias a recopilar información por todos los participantes y sensores en las plantas se está un paso más cerca de que los clientes decidan comprar los productos de Cidacos, generando más ingresos en Cidacos además de una mayor gestión operativa.

Distribuidores/logística

Cidacos cuenta con logística propia, pero para añadir un nuevo participante a la blockchain supondremos que la distribución y logística de Cidacos será realizada por una empresa externa ficticia llamada “LogiFood”.

La empresa LogiFood se encarga de gestionar la distribución en los productos desde las plantas de envasado y procesado de Cidacos hasta los puntos de venta finales.

De cara a la tecnología blockchain, la empresa tendrá que dar información sobre el registro de envíos, seguimiento total, condiciones de los lotes en todo momento, validar las entregas y los transportistas serán recompensados mediante pagos automatizados.



Figura 36: Logifood participante blockchain. Elaboración propia.

Organismos reguladores de calidad.

El control de calidad de los productos cultivados quizás pase algo más desapercibido, pero es un proceso clave para asegurar la calidad de los alimentos para asegurar el consumo.

En las plantas de almacenamiento, envasado y procesado se llevan a cabo muchas pruebas para permitir que los alimentos pasen a la venta, algunas de ellas son las siguientes:

Los **test microbiológicos** para detectar que no existan patógenos como la Listeria o la Salmonella. También se realizan **análisis fisicoquímicos** para determinar la composición química de los alimentos desde el punto de vista nutricional (proteínas, grasas, azúcares, vitaminas), además, gracias a este análisis se determinan los aditivos y contaminantes como pesticida, metales pesados o alérgenos.

Por último, los **análisis sensoriales** para conocer la opinión del consumidor sobre productos concretos, realizados siempre con procedimientos recogidos en análisis UNE para evaluar las preferencias de los consumidores y prever su intención de compra.

Gracias a blockchain aceleraremos la recolección de información en los procesos de verificación de calidad y certificación, subiendo la información a la tecnología blockchain reduciendo el tiempo de papeleo y minimizando la posibilidad de errores. Gracias a ello se reducen los costos asociados a los procesos de control de calidad y cumplimiento normativo. Cumpliendo así las certificaciones IFS, ISO 14001 y OHSAS 18001, en las factorías de China con IFS e ISO 14001, mientras que en Green Perú con certificaciones IFS, BRC e ISO 14001.



Figura 37: Certificaciones de calidad

En resumen, al proporcionar un seguimiento de los productos y mejora en la gestión documental, la blockchain asegura que los productos lleguen a los consumidores con los más altos estándares de excelencia y cumpliendo con todas las normativas vigentes.

Compañías de seguros

Otro participante son las compañías de seguros, que, aunque forman parte de todas las empresas, en las empresas de alimentos son especialmente necesarias para cumplir con el papel de gestionar los riesgos. Algunos de los seguros que debe tener contratado Cidacos son el seguro de accidentes, seguro de responsabilidad sanitaria, de vehículos comerciales o de salud entre otros mucho.

La blockchain aceleraría los procesos o trámites cuando ocurren eventos que están cubiertos por las pólizas de seguro, ya que, por ejemplo, se pueden activar smart contracts específicos que gestionen automáticamente los procesos de reclamación y pago, evitando demoras y simplificando el proceso

para todas las partes involucradas. Además, en el caso de producirse algún desajuste, se podría determinar en qué punto ha sucedido para evitar fraudes.

Bancos

Otro participante que formará parte de la blockchain son los bancos. Su función principal es la de proporcionar servicios financieros para las transacciones dentro de la cadena. Actúan como intermediarios en las transacciones económicas entre los diversos involucrados, como los productores, las plantas de envasado, los transportistas y otros.

Utilizando contratos inteligentes en la blockchain, los bancos pueden facilitar procesos de financiamiento, pagos y liquidaciones de manera automática, ya que si se cumplen ciertas condiciones como puede ser una entrega de abastecimiento a un supermercado, se generará el pago y la verificación de transacciones junto con la gestión de la documentación necesaria para el flujo de capital.

Clientes

Por último, los clientes son el participante situado en la fase final de la cadena de suministro. Los clientes, una vez las conservas están en el mercado, deben de elegir los productos de Cidacos frente a sus marcas competidoras, y para ello, gracias a la blockchain los consumidores tendrán la oportunidad de acceder a información detallada y verificable sobre el origen, la calidad, el estado durante su trayecto y la autenticidad de los productos, siendo este un factor determinante para la compra.

Toda esta información la podrán consultar fácilmente desde el teléfono, por diferentes vías, como puede ser una lectura de código QR, el cual mostrara toda la información relevante para el consumidor final.

Y como punto final, se podría aportar retroalimentación sobre los productos a través de la blockchain, mediante comentarios o calificaciones, siendo información útil para la empresa.

Por lo tanto, gracias a la incorporación de la blockchain en la cadena de suministros, los clientes son uno de los participantes más beneficiados.

4.6) Características blockchain para Cidacos

Para el caso de uso, se necesitará una blockchain con unas propiedades específicas, las cuales se ajusten lo mejor posible a una cadena de suministro. Una vez determinadas estas propiedades se mostrarán las opciones de cadenas de bloques empresariales adecuadas para esta implementación.

Blockchain Privada

La primera propiedad de la blockchain que se busca es que sea **privada**. De esta forma, se podrá **controlar quien tiene acceso y quien puede participar**, fundamental para una cadena de suministro en la cual es necesario determinar los participantes para mantener la confidencialidad de los datos comerciales, evitando fugas de datos confidenciales.

Aun así, no es el único punto a favor, existen varias ventajas de que sea privada:

- **Mayor eficiencia:** Al limitar los participantes, no se necesita competir por los recursos como en una red pública, lo que hace que las transacciones sean mucho más rápidas.
- **Menor consumo energético:** Las cadenas privadas utilizan algoritmos de consenso con un consumo muchísimo menor al de las públicas con POW. Por ejemplo, el POA (Proof of Authority) del que hablaremos a continuación.
- **Simplicidad de gobernanza:** Al tener menos participantes en la red, los cambios en ella pueden ser discutidos más ágilmente.

Por lo tanto, tendremos que elegir una blockchain que se adapte a esta propiedad, la cual ofrece un mayor control, privacidad y adaptabilidad, perfecta para pocos participantes y datos sensibles.

Algoritmo de consenso - Proof of Authority (POA)

El siguiente punto que debemos tener en cuenta es el algoritmo de consenso o conjunto de reglas para validar las transacciones (apartado 3.5).

En este caso, tras analizar uno de los más conocidos y de los que mejor se adaptaría sería el algoritmo de Proof of Authority (POA). Este algoritmo consiste en que los nodos validadores son seleccionados según su reputación y autoridad, no según los recursos computacionales (Segura, 2019). Este algoritmo de los más adecuado por varias razones:

- **Mayor velocidad y consumo:** En comparación con POW o POS, el POA es mucho más eficiente, dado que no son dependientes de hacer procesos computacionales avanzados, reduciendo así el consumo energético en gran medida.
- **Seguridad:** Al elegir validadores de confianza, las posibilidades de comportamientos maliciosos son mucho menores.
- **Perfecta para aplicaciones empresariales:** Cidacos al tener regulaciones y requisitos propios puede aplicar sus propias políticas en la red POA. Además, existen blockchains especializadas en el perfil empresarial, facilitando la incorporación de esta tecnología.

El algoritmo de consenso POA será el objetivo a la hora de buscar una plataforma para realizar el caso práctico para la cadena de suministro de Cidacos.

Plataformas blockchain para la cadena de suministro.

Con las propiedades comentadas en los apartados anteriores aparecen varias blockchains empresariales que cumplen con los requisitos buscados. En este caso, se han seleccionado las más conocidas para este perfil de empresa.

Vechain

Vechain es una plataforma que fue diseñada para cubrir las carencias de las redes de distribución, mejorando la trazabilidad de la cadena de suministro y la autenticidad de los productos. Se fundó en 2015 específicamente para cubrir las necesidades a nivel empresarial, enfocándose sobre todo en rastrear productos para dar información a los participantes de la cadena de suministro. Otra ventaja a favor es que también ofrecen la posibilidad de compartir la información con los consumidores. Cabe resaltar que Vechain trabaja con Walmart para la trazabilidad de productos y la asociación BMW como herramienta para evitar productos falsos.



Figura 38: Vechain (<https://www.vechain.org/>)

- **Lenguaje de programación utilizado:** Solidity, siendo compatible con Ethereum.
- **Ventajas:**

-Enfocado en trazabilidad de productos, especialmente en alimentación y lujo.

-Utilizan chips NFC y códigos QR para el rastreo de los productos.

-Colaboración con grandes empresas (Walmart y BMW)

Por lo tanto, Vechain es de las primeras plataformas creadas específicamente para el ámbito sobre el que se está trabajando, siendo una buena opción para utilizar.

Hyperledger

Hyperledger es una de las plataformas más utilizadas en la actualidad. Fue desarrollada por Linux en 2016, es una plataforma de código abierto que ofrece varios frameworks y herramientas de blockchain para aplicaciones empresariales, ofreciendo una gran flexibilidad y adaptabilidad debido a su experiencia gracias a la gran cantidad de colaboraciones. Actualmente Hyperledger cuenta con más de 140 miembros y muchas empresas colaboradoras. Citando algunas empresas con las que trabajan son Fujitsu, IBM, Huawei, Deloitte, Oracle o Siemens entre muchas otras.

Hyperledger cuenta con herramientas más específicas como **Hyperledger fabric** o Sawtooth que permiten construir redes privadas y personalizadas que se adapten a la cadena de suministro en cuestión.

La mayor ventaja por la que Hyperledger es la plataforma más utilizada en este ámbito es debido a que se adapta a las empresas integrándose de una forma ágil con los sistemas existentes de estas.



HYPERLEDGER

Figura 39: Hyperledger (<https://wiki.hyperledger.org/pages/viewpage.action?pageId=39619060>)

- **Lenguaje de programación:** Variado según el framework, (Go para Fabric, Python para Sawtooth)

- **Ventajas:**

- Gran adaptabilidad a empresas con sistemas propios, permitiendo una amplia flexibilidad y personalización.

- Ofrece la posibilidad de crear redes privadas con permisos y consenso personalizado.

- Colaboración con un extenso catálogo de empresas.

Hyperledger es la plataforma óptima para la implantación de blockchains por su amplio recorrido y sobre todo porque está especializada en la implantación de esta tecnología en todo tipo de grandes empresas.

Enterprise Ethereum Alliance

Ethereum, además de por su blockchain pública con el sistema de criptomonedas también dispone de su versión Ethereum empresarial, que es una organización o alianza de grandes empresas estupenda para nuevos desarrollos en grandes empresas, facilitando la creación y pruebas de código en blockchain facilitando la innovación. Esta plataforma fue fundada en 2017 y cuenta con 19 asesoría legales que ofrecerán el mejor soporte técnico al legalizar las soluciones de Ethereum.

Con la ayuda de sus miembros, podremos crear una blockchain privada y adaptarla con el consenso que se busca (POA). Como se comentaba anteriormente, Ethereum es una gran empresa que te ayudará e incitará a desarrollar en ella.

Al igual que Hyperledger, es de las plataformas más reconocidas en el mundo del blockchain, con más de 250 miembros en ella, llegando a funcionar hasta en empresas gubernamentales. Entre las empresas que utilizan Ethereum se encuentran algunas como BBVA, pwc, Santander o ING.



Figura 40: Enterprise Ethereum Alliance (<https://entethalliance.org/>)

- **Lenguaje de programación:** Solidity.
- **Ventajas:**

-Es una de las plataformas más grandes del mundo Blockchain.

-Es ideal para recibir apoyo gubernamental.

-Utiliza el lenguaje solidity para el desarrollo de los contratos inteligentes, siendo este lenguaje de los más conocidos en este sector. Por lo tanto, existe una gran comunidad de desarrolladores.

-Interoperabilidad con otras blockchain.

-Colaboración con grandes empresas.

-Ofrecen un espacio para el desarrollo, más que un producto como otras plataformas.

IBM Food trust

IBM Food Trust fue fundada por IBM en 2017 y es considerado un BAAS (*Blockchain as a service*). Es decir, es un servicio que las empresas pueden contratar para unificar la información de todos los procesos de la cadena de suministro. Por lo tanto, IBM Food trust ofrece una plataforma de blockchain en la que construir tu cadena de suministro con soluciones en la nube de una forma sencilla y se encargan de configurar la implementación con blockchain.

IBM Food trust cuenta con grandes clientes, como son Carrefour, Nestlé, Walmart, Dole.etc. Todas ellas lo han aplicado en sus productos del sector agroalimentario, ya que IBM Food trust está especializado en él. Está preparado para que de una forma sencilla se pueda subir toda la información en la blockchain recogida desde el campo hasta la venta del producto. Además, está hace que esa información sea visible para todos los miembros de la red, disponiendo de un historial de cada producto y su ubicación en tiempo real.

Cabe destacar que IBM Food se ha construido a partir de la plataforma de blockchain de Hyperledger Fabric, adaptándola directamente al sector agroalimentario.



Figura 41: IBM Food Trust (<https://www.ibm.com/products/supply-chain-intelligence-suite/food-trust>)

- **Ventajas:**

- Industria líder especializada en el sector de Cidacos.
- Experiencia con grandes empresas del sector.
- Conecta a todos los miembros de la cadena de suministro de una forma sencilla.
- Más económica que construir una blockchain.
- Facilidad para visualizar la información de la cadena de suministro.
- Estándares de datos Global Standards One (GS1)

Otras opciones

Otras opciones viables serían **Corda**, o **Quorum**. Lo único que no están tan especializadas en la cadena de suministro o no tienen el mismo alcance que las plataformas anteriores.

Corda dispone de una gran calidad y un enfoque en el control de la información compartida en las transacciones, por ello, se centra más en empresas del ámbito financiero, aunque está ampliando sus horizontes a otros campos.

Quorum se diseñó utilizando Ethereum como base, por lo tanto, es compatible con la otra plataforma y utiliza los mismos lenguajes.

Existen muchas otras opciones, pero elegiremos una de las anteriores para el ejemplo del caso práctico.

Todas las opciones vistas anteriormente son válidas para crear una blockchain en Cidacos, pero comprobando las ventajas de cada una podemos optar por dos caminos:

Primero, tendríamos la posibilidad de crear una blockchain privada desarrollada desde cero utilizando Ethereum, que sería la que permitiría un desarrollo cien por cien personalizado a Cidacos. O bien, utilizar Hyperledger Fabric, que al ser un framework facilitaría gran parte del trabajo sin llegar a eliminar la personalización en caso de que sea necesaria para la empresa.

Por otro lado, tenemos el segundo camino, que sería buscar una opción más asequible económicamente con una implantación sencilla, rápida y sin la necesidad de contratar un gran equipo de desarrollo. Esta segunda opción sería utilizar IBM Food Trust, que, aunque es algo más limitada que las otras dos, esta desarrollada para el caso específico de aplicación con Cidacos.

Se optará por el segundo camino, eligiendo a **IBM Food trust**, ya que facilitará en gran medida la implementación con blockchain de la cadena de suministro pudiendo ver resultados rápidamente y sin grandes costes asociados, reduciendo la posibilidad del fracaso de la implementación al mínimo. Además, IBM Food trust ofrece todos los valores que buscamos con la implementación, como son la trazabilidad o transparencia de la cadena de suministro, la conexión de todos los participantes de ella, una fácil incorporación de datos por seguir los estándares GS1 y una sencilla gestión de la información como documentos.

4.7) Resumen características blockchain Cidacos

- **Plataforma:** IBM Food trust, es una de las plataformas más establecidas del mundo blockchain en el sector agroalimentario y adaptada a la cadena de suministro, permitiendo una implantación sencilla y con bajo coste.
- **Privada:** Blockchain privada es ideal para un colectivo de empresas.
 - Se requiere verificación de identidad de los participantes antes de añadirlos a la cadena. Solo los autorizados podrán interactuar en la cadena y con los smart contracts.
 - Perfecto para entornos empresariales donde es necesario controlar el acceso a la información.
- **Algoritmo de consenso:** En lugar de utilizar algoritmos como el PoW (Proof of Work), idealmente se prefiere algún método como el PoA en una blockchain privada, pero al contratar IBM Food trust tendremos que usar sobre el que este montada su blockchain privada. En un principio es PBFT (Practical Byzantine Fault Tolerance), que es el usado en Hyperledger Fabric, el cual obliga a todos los nodos a validar las transacciones.
 - Algoritmo mucho más eficiente en términos de energía y velocidad comparado con otros como PoW.
 - PBFT tiene costos significativamente más bajos ya que no requieren recursos computacionales.
- **Lenguaje smart contracts:** Los smart contracts en Hyperledger Fabric se denominan chaincodes y se programan con el lenguaje Go o Node.js.

Estos definirán las reglas de las interacciones en la cadena de suministros.

- **Tokens (Monedas- Activos):** En un principio no se utilizarán tokens para la cadena de suministro de Cidacos.

En resumen, una blockchain privada basada en el BAAS de IBM Food trust con el algoritmo propio de consenso de esta blockchain será una buena primera opción para introducir a Cidacos en el mundo de blockchain por su eficiencia y velocidad de implantación. El tipo de blockchain elegido proporcionaría una estructura tecnológica perfecta para el registro y verificación de transacciones en cada etapa del proceso.

4.8) Cadena de suministro Cidacos incluyendo blockchain.

Una vez se ha explicado la estructura de la empresa, los problemas a solucionar y quiénes serán los participantes que formarán parte de la cadena de suministro, así como cuál es la plataforma más indicada según las necesidades, se realizará un recorrido por todos los procesos de la cadena de suministro de Cidacos. Durante este recorrido, se definirán los smart Contracts más generales que deberían desarrollarse para lograr la implementación de blockchain en Cidacos.

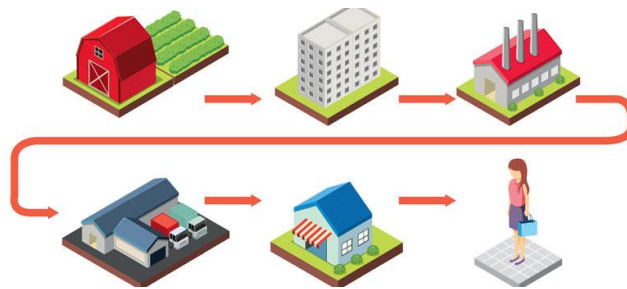


Figura 42: Cadena de suministro agrícola

1. Producción agrícola

La producción comprende el cultivo de legumbres y verduras en las diferentes regiones de producción de la cooperativa Cidacos, donde se realizan actividades como la siembra, el cuidado de los cultivos, la cosecha y la clasificación de las legumbres.

Implementación con blockchain

En la producción, para una correcta implementación de blockchain los productores tendrán que registrar cada lote de cultivo en la plataforma de blockchain. Además de incluir el lote en sí, se tendría que indicar toda la información posible acerca de estos para añadirla a la red. Algunos ejemplos de información que habría que añadir a la red son la ubicación exacta, las condiciones climáticas, las técnicas de cultivo y sobre todo las fechas clave como la siembra y la cosecha.

Smart contracts asociados:

Los smart contracts asociados a ese proceso son los siguientes:

- **Smart contract de registro cultivo-producto:**
En él se registra cada lote de cultivo con detalles sobre ubicación, técnicas y fecha de siembra.
 - Participantes involucrados: Agricultores, Operarios de Campo.
- **Smart contract de recolección:**
Registra la recolección de cada lote con información de los operarios, fecha y cantidad cosechada.
 - Participantes involucrados: Agricultores, Operarios de Campo.



Figura 43: Producción cultivos (<https://www.freepik.es>)

2. Acopio y almacenamiento.

El segundo paso de la cadena de suministros de Cidacos una vez los cultivos son cosechados es el almacenamiento en los centros de acopio. Algunas veces, si los centros de almacenamiento están muy lejos de los campos de cultivo los lotes tendrán que ser transportados hasta ellos. El producto se almacena en los centros de acopio, que son lugares que cumplen con las condiciones adecuadas para preservar la calidad y frescura.

Una vez se encuentran en los almacenes, se inspecciona el estado del producto, aunque también se realizan actividades como la limpieza, el secado y la clasificación de las legumbres y verduras.

Implementación con Blockchain

Los productos recién cultivados y registrados en blockchain se entregan a los transportistas en caso de ser necesario. Los transportistas registran la recepción del lote en blockchain y asumen la responsabilidad de que los productos lleguen en buen estado hasta los centros de acopio de Cidacos. Durante todo el recorrido la ubicación es registrada, asegurando la trazabilidad en tiempo real. Al llegar a los almacenes, se realiza la entrega del producto y se almacena en las condiciones adecuadas que idealmente también tendrán que ser añadidas a la red de blockchain.

Smart contracts asociados:

- **Smart contract de transporte:**
Smart contract que se activa cuando un transportista recoge los productos del campo.
Se registra el transporte de productos entre la ubicación de recogida y de entrega, con detalles sobre la ruta, el transportista y estimaciones de los tiempos de entregas, más las fechas reales.
 - Participantes involucrados: Operarios de campo, transportistas.
- **Smart contract de almacenamiento:**
Se registra la entrada y salida de productos en almacenes, manteniendo un historial de ubicaciones y tiempos.
 - Participantes involucrados: Transportistas, personal de la planta de almacenamiento.



Figura 44: Planta de Coria (<https://www.cidacos.com/>)

3. Procesamiento y envasado

Cuando los lotes de productos se encuentran en las plantas de procesado y envasado llegan a un punto crítico en la cadena de suministro, ya que en este punto dependerá que el producto final tenga la calidad adecuada, con un producto fresco y una presentación acorde con la marca.

En las plantas de procesado y envasado, los productos sufren varios procesos:

Limpieza y preparación: Primero, las legumbres y verduras son sometidas a procesos de limpieza para evitar posibles impurezas restantes. Una vez han pasado la limpieza inicial, la mayoría de los productos tienen que ser preparados para los siguientes procesos mediante tratamientos adicionales como el pelado en caso de las verduras.

Cocinado: Cuando tenemos el producto listo y sin impurezas llega el momento clave para que los productos de Cidacos sean únicos, este es el cocinado. El cocinado dependerá del producto, en el caso de las legumbres tendrán que sufrir procesos de cocción u horneado para estar listos para envasar.

También en el cocinado se incluye la mezcla de todos los ingredientes añadidos al producto para conseguir la composición deseada, como pueden ser sal, azúcar o conservantes.

Envasado: El alimento ya preparado y cocinado pasa a ser envasado con envases adecuados a cada uno para preservar la calidad del alimento, protegiéndolo contra agentes externos y aumentando así el tiempo hasta su consumición.

El envasado se sella herméticamente y se aplican las etiquetas correspondientes a cada lote, incorporando la marca e información necesaria como son las fechas de caducidad, la información nutricional e identificadores como códigos de barras.

Inspección de calidad. Por último, en las plantas de Cidacos existen laboratorios que analizan muestras de los productos de forma exhaustiva para revisar que los estándares de calidad se cumplan en cuanto a sabor y seguridad alimentaria.

Implementación con Blockchain

En las plantas de procesado, el objetivo principal en cuanto a blockchain se refiere es ir tomando la máxima cantidad posible de datos e introducirlos a la red de blockchain. Los datos que se irán recopilando en la blockchain son

la información de todos los procesos que sufre cada lote. En este caso, tras recibir el lote y comenzar el procesado se incluirán información sobre el tipo de limpieza que sufre el producto y la fecha en la que se realiza, acto seguido se incluirá la fecha de cocinado junto a la información de todos los añadidos al producto. Por último, se incluirá la fecha de envasado junto a los identificadores del envase o producto final.

En caso de que los productos no salgan de inmediato de las plantas de procesado también se incluirá información acerca del tiempo que el producto permanece en almacenado.

Smart contracts asociados

Los smart contracts asociados son los siguientes:

- **Smart contract recepción en planta de envasado:**
Cuando los productos llegan a la planta de envasado, este contrato registra la entrega y verifica la calidad de los productos.
 - Participantes involucrados: Personal de Planta de Envasado, Transportistas.

- **Smart contract de procesamiento:**
Cuando los productos se procesan se registra el proceso de transformación y envasado de productos, incluyendo ingredientes, métodos, fechas de envasado.
 - Participantes involucrados: Personal de Planta de Envasado.

- **Smart contract de control de calidad:**
Los smart contracts de calidad se utilizarán en distintos momentos de la cadena de suministro, para asegurar que el producto y los procesos realizados sobre el sean los adecuados y no lo estropeen.
Por ejemplo, se realizarán pruebas en los ingredientes base que se utilizan en la producción del producto final. Estas pruebas son importantes de realizar para verificar la calidad de los ingredientes de forma independiente mejorando calidad y seguridad alimentaria. Esto puede incluir pruebas de microbiología, detección de pesticidas, análisis de alérgenos y pruebas de pureza.
También se podrán realizar durante el proceso de cocinado, para asegurarse de que los productos se estén elaborando de acuerdo con los estándares establecidos. Estas pruebas pueden incluir la medición de parámetros como la temperatura, el tiempo de cocción, la viscosidad y otros atributos relevantes para el proceso.

Se registrarán todas las pruebas de calidad realizadas con sus resultados, las fechas de realización y el lote sobre el que se ha realizado.



Figura 45: Planta La Puebla de Montalbán

4. Distribución y logística.

En esta etapa, se planifica y gestiona el transporte de las legumbres y productos recién procesados hasta los puntos de venta o clientes. Esto implica la coordinación de rutas de transporte, el almacenamiento temporal en almacenes de distribución y la entrega final.

Implementación con blockchain

Los productos procesados y registrados en la blockchain se entregan a los transportistas desde la planta de envasado. En ese momento la empresa de logística, en concreto los transportistas registran la recepción de los lotes a distribuir en blockchain y asumen la responsabilidad de que los productos lleguen en buen estado a los puntos de venta.

La empresa de logística se encarga de dar la trazabilidad e información sobre el producto durante todo el viaje, sobre todo, registrando la ubicación de los lotes en todo momento.

Al llegar a los puntos de venta se realiza la entrega del producto incluyendo en blockchain la información de la entrega al vendedor. En este momento termina la responsabilidad del cuidado desde la empresa de Cidacos, pasando a ser responsabilidad del vendedor.

Smart contracts asociados

- **Smart contract de transporte:**
Smart contract que se activa cuando un transportista recoge los productos de la planta de procesado.
Se registra el transporte de productos entre la ubicación de recogida y de entrega, con detalles sobre la ruta, el transportista y estimaciones de los tiempos de entregas más las fechas reales.
 - Participantes involucrados: Personal planta de envasado, transportistas.
- **Smart contract de distribución:** Se activa cuando los productos procesados se entregan en los puntos de venta.
Registra la distribución a diferentes puntos de venta, con información sobre volúmenes, destinos y el transportista.
 - Participantes involucrados: Transportistas, puntos de venta.

5. Comercialización y venta.

Por último, las legumbres y verduras de Cidacos al llegar a los puntos de venta se ponen a disposición de los consumidores a través de supermercados, mercados mayoristas, tiendas especializadas y otros canales de venta. En esta etapa, se llevan a cabo actividades de promoción, precios, gestión de inventario y atención al cliente.

Implementación con blockchain.

Dependiendo del tipo de contrato de venta que disponga la empresa con los distribuidores del producto (supermercados/minoristas) en caso de ser posible y tener control de la venta al consumidor final se intentará registrar esa información en blockchain. En caso de que no se tenga esa información porque el producto se venda directamente al supermercado o minorista y no a cliente entonces la información de venta será como si el distribuidor fuera el consumidor.

Toda la información recopilada durante la cadena de suministro gana valor en la venta del producto gracias a la posibilidad de mostrar la información recopilada al cliente final mediante códigos QR en el producto. De esta forma el consumidor podrá tener información de todas las fechas de transporte, los cuidados que ha tenido el producto y las pruebas de calidad para cumplir con los estándares, asegurando así su calidad.

Smart contracts asociados:

- **Smart contract de venta:** Este contrato registra la venta del producto al cliente final, incluyendo la ubicación de venta, el precio y la fecha de venta.
 - Participantes involucrados: Tiendas, consumidores.



Figura 46: Productos Cidacos en supermercado

6. Procesos comunes en la cadena de suministro:

Entre todos los puntos anteriores se dan determinados smart contracts principales asociados a los procesos de la cadena de suministro, pero existen otros smart contracts que se irán repitiendo:

- **Gestión de calidad y trazabilidad:** Aunque los controles de calidad se han descrito únicamente en la planta de procesamiento y envasado realmente estos pueden realizarse en cualquier proceso de la cadena de suministro. Además, se pueden implementar sistemas de control de calidad para garantizar que las legumbres y verduras cumplan con los estándares y regulaciones establecidos.

Smart contracts asociados:

- **Smart contract de calidad:** Ya comentado anteriormente. También se podría utilizar este smart contract en caso de implementar procesos automatizados de calidad para registrar los resultados en la blockchain.
- **Smart contract de auditoría:** Se registran las auditorías y verificaciones realizadas por entidades externas, asegurando la veracidad y transparencia de la cadena de suministro.

- **Gestión financiera y administrativa:** Uno de los puntos en los que puede ayudar de forma destacable la blockchain es en la gestión de aspectos financieros, como la facturación, los pagos a los proveedores y la gestión de los costos asociados a la cadena de suministro. Toda la gestión financiera más la realización de tareas administrativas, como la generación de documentos, contratos y registros relacionados con la cadena de suministro son una ventaja clave.

Smart contracts asociados:

- **Smart contract de pago:** Registra acuerdos de facturación y pago entre los participantes de la cadena de suministro, automatizándolos cuando se cumplen ciertas condiciones previamente acordadas. Por ejemplo, una vez se ejecute el smart contract de recepción en el punto de venta, se recoge la información acerca del transporte y se produce la factura junto al pago correspondiente. De esta forma, se generan registros transparentes y automáticos de transacciones financieras.
 - **Smart contract documentación:** Los smart contracts de documentación serán específicos dependiendo de los documentos necesarios para la empresa. Un ejemplo de documentación que podría generar este smart contract sería automatizar los albaranes tras las entregas de mercancía. Otra posibilidad sería que se lanzara automáticamente cada mes para generar reportes acerca de los datos recopilados por los sistemas de calidad, para así hacer comparaciones mensuales.
- **Smart contract de seguro:** Registra contratos de seguros para la cadena de suministro, permitiendo la automatización de reclamaciones y pagos en caso de incidencias.

4.9) Tecnologías necesarias para habilitar la blockchain en la cadena de suministro de Cidacos.

En la actualidad, Cidacos cuenta con servicios de gestión y aplicaciones para gestionar la producción y los lotes, el objetivo será amplificar y mejorar el aspecto tecnológico de la cadena de suministro para así disminuir al máximo el factor humano.

Para la implementación de blockchain se deberá de disponer o mejorar las siguientes tecnologías:

- Plataformas IoT (Internet of things): Son todos los dispositivos que permiten recopilar datos en tiempo real, como son los sensores.
- Sistemas de gestión empresarial (ERP): Esta herramienta permite gestionar los procesos como por ejemplo el inventario, la producción o las ventas.
- Servicio de infraestructura en blockchain: La blockchain creada para ir guardando y visualizando toda la información de la cadena de suministro de Cidacos. En este caso se contratará en IBM Food trust.

Plataforma IoT Sensores:

Sensores: Se implantarán sensores en la mayoría de los procesos de la cadena de suministro para recolectar una mayor cantidad de datos sin esfuerzo humano. Principalmente se usarán en la producción (campos de cultivo), en el transporte y en el procesado.

Los sensores utilizados en el cultivo serán los siguientes:

Sensores o sondas de humedad de suelo Buitech, el cual permitirá recoger niveles de humedad a varios niveles de profundidad. Este sensor es capaz de observar la infiltración del agua en capas de 10cm hasta en un total de 6 capas. Este dispositivo es autónomo gracias a su panel solar y altamente resistente a la intemperie.



Figura 47: Sonda de humedad multinivel Buitech (<https://buitech.es/producto/sensores-de-humedad-de-suelo-multinivel/>)

Sensores de clima 4 en 1 Buitech, estos sensores son capaces de recoger hasta cuatro parámetros: temperatura, humedad ambiental, presión barométrica y de vapor. Al igual que los sensores de suelo, estos también cuentan con un panel solar para hacerlos autónomos y reduciendo su mantenimiento.



Figura 48: Sensor de clima Buitech (<https://buitech.es/producto/sensor-clima-4-en-1-autoinstalable/>)

Por último, en la producción será necesaria por cada campo de cultivo **un panel de control Buitech Lite** para recoger los datos de todos los sensores, almacenar la información y transmitirla a la web. Por lo tanto, este panel de control es el nexo de todos los sensores recopilando todos los datos y subiéndolos a la nube. Al igual que el resto de los sensores también es autónomo gracias a su panel solar.



Figura 49: Panel de control Buitech Lite (<https://buitech.es/programacion-remota/>)

Con estos 3 dispositivos podremos gestionar los campos de cultivos con información en tiempo real, o análisis del histórico de datos, además de poder automatizar reglas para el funcionamiento del riego según los valores detectados por los sensores y prever el clima futuro como posibles heladas.

El siguiente dispositivo recomendable para la cadena de suministros es para el transporte, este será un sensor de **temperatura TS de SEEMOTO**. Este sensor se incluirá en la carga de cada camión detectando las temperaturas a las que está expuesta la carga de verduras o legumbres durante el trayecto, pudiendo así asegurar que el reparto no ha roto la cadena de frío en ningún momento.



Figura 50: Sensor de temperatura TS Seemoto (<https://www.seemoto.com/>)

Además de este sensor de temperatura perfecto para conocer el estado al que se transportan los alimentos, es necesaria una **pasarela de visualización**, en este caso una **Seemoto DGW**. Este dispositivo se utiliza para recoger los datos del sensor de temperatura y transmitirlos a la nube, además de añadir a la información la ubicación GPS en cada momento. Gracias a los dos dispositivos en el proceso de transporte se podrán recoger información acerca de la temperatura del producto y la ubicación en todo momento del camión de transporte, así como la ubicación de recogida y de entrega junto a las fechas de transporte.



Figura 51: Pasarela de visualización Seemoto DGW (<https://www.seemoto.com/>)

Por último, tendríamos los sensores utilizados en la cadena de procesamiento y de envasado, que son los encargados de recoger información acerca de las fechas de procesado y envasado de los lotes, además de las condiciones por las que han pasado los productos. Esta información ya la recogen las plantas de Cidacos actualmente por lo que no será necesaria la compra de material añadido.

Es posible que los sensores comentados hasta el momento ya dispongan de ellos los agricultores miembros de la cooperativa o los transportistas de la empresa *Logifood* lo que reduciría los costes de implantación,

ERP Cidacos:

Oracle JD Edwards:

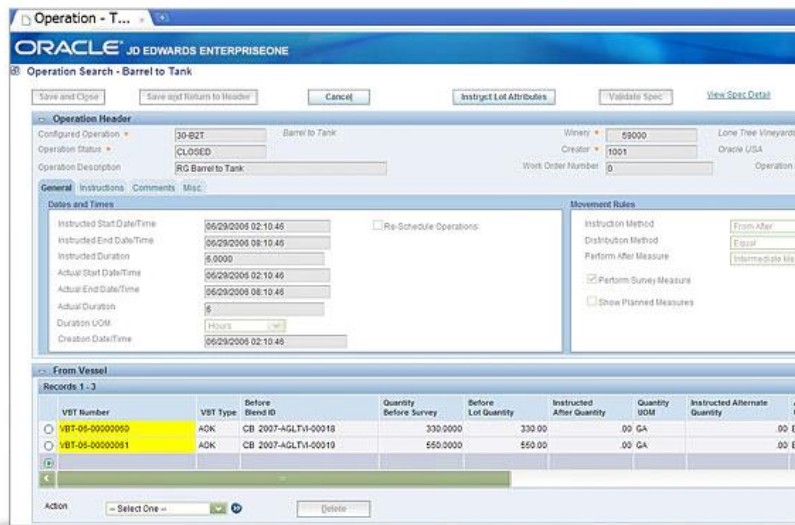


Figura 52: Oracle JD Edwards

Cidacos realizó una automatización en sus plantas de procesado y envasado gracias a la empresa subcontratada de Neteris. Actualmente las plantas utilizan el software de gestión de Oracle JD Edwards y lo conectan con todos los dispositivos móviles Intermec de la empresa. Así Cidacos tiene un control de stock en tiempo real, una mejora de trazabilidad y un etiquetado conforme a la normativa GS1. Este escenario es perfecto, ya que gracias a este trabajo previo de automatización realizado en las plantas de Cidacos permite que la implantación con blockchain sea mucho más sencilla por su facilidad para recoger todos los datos que ya disponen en los procesos de transformación [37].



Figura 53: Dispositivos móviles Intermec

Infraestructura blockchain:

Se ha elegido la utilización de **IBM Food trust**, la cual tiene unos costes mensuales asociados a cambio de facilitar la implantación de la cadena de suministro de Cidacos en blockchain y ofreciendo servicios de trazabilidad y gestión de documentos.

Gracias a los sensores y aplicaciones externas, el servicio de IBM recogerá toda la información y la añadirá al registro distribuido de la blockchain.

Con toda la información recopilada IBM Food trust ofrece los siguientes servicios:

Servicio de trazabilidad:

Al iniciar el servicio de IBM Food trust se dispondrá de un dashboard inicial con información general acerca de la organización:

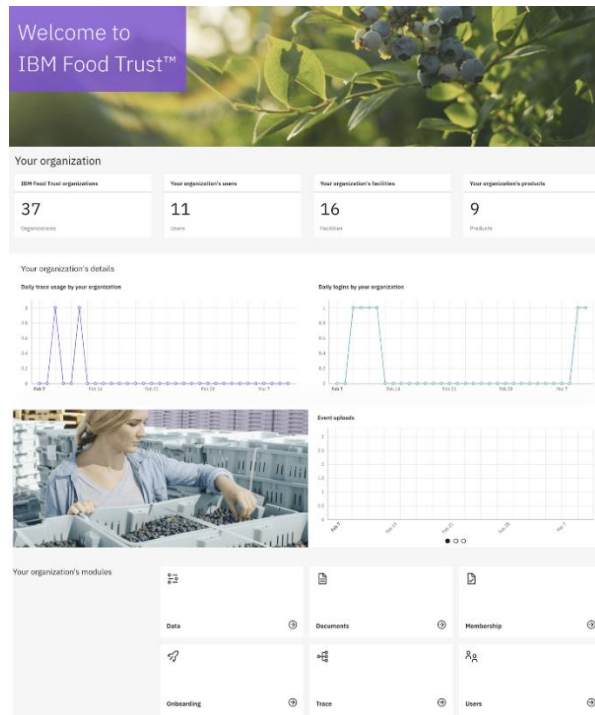


Figura 54: Dashboard IBM Food trust

Dentro del servicio de IBM existe la posibilidad de hacer búsquedas de productos reales de Cidacos en la red de blockchain mediante el identificador, el nombre del producto o número de pedido.

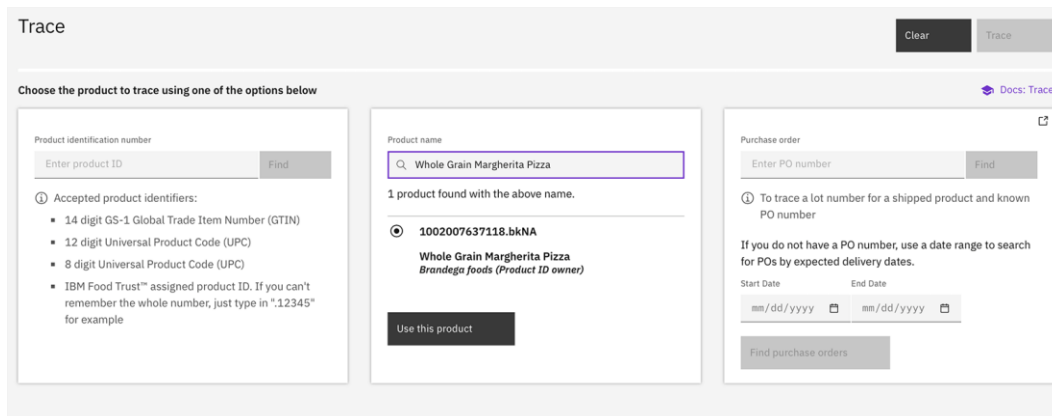


Figura 55: Panel de búsqueda trazabilidad IBM Food trust

Después, se podrá filtrar la información gracias a la fecha, el lote, los pallets y el número de serie en caso de que sea necesario.

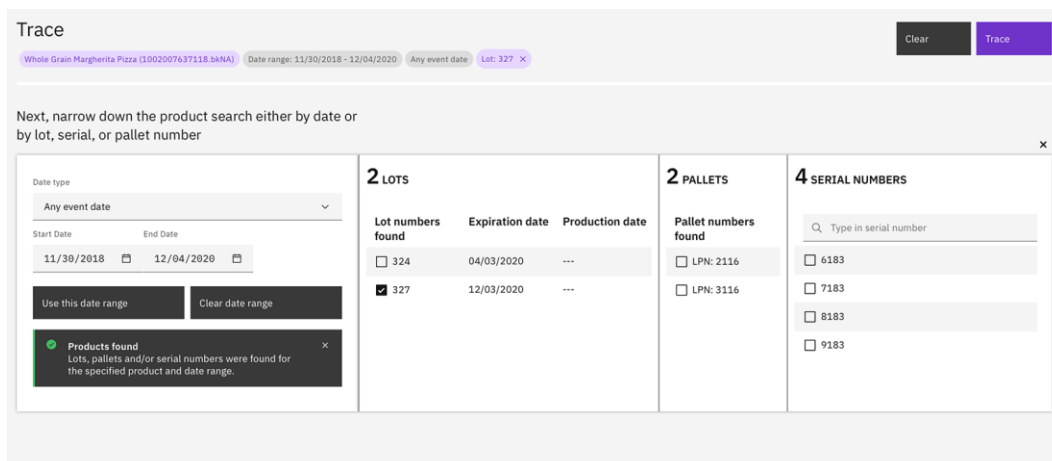


Figura 56: Panel de búsqueda IBM Food trust (2)

Una vez encontrado el producto, se dispone de una vista que permite consultar la traza del producto, incluyendo toda la información de los componentes que se han ido utilizando para conseguir el producto final. En el caso de garbanzos en conserva, por ejemplo, se podría ver la información sobre la legumbre, el envase utilizado y los productos añadidos para su conserva. Por lo tanto, rápidamente se puede ver toda la información desde el campo hasta la tienda.

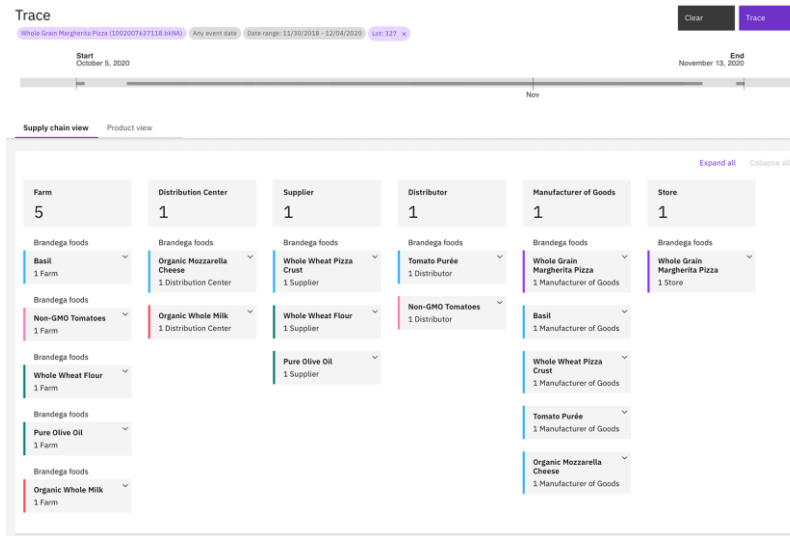


Figura 57: Trazabilidad de un producto IBM Food trust

Por último, existen distintas pantallas para ver las fechas de los ingredientes, el estado del producto a tiempo real, las fechas de cada proceso y un esquema del producto para ver de una forma sencilla el producto final y todos sus ingredientes.

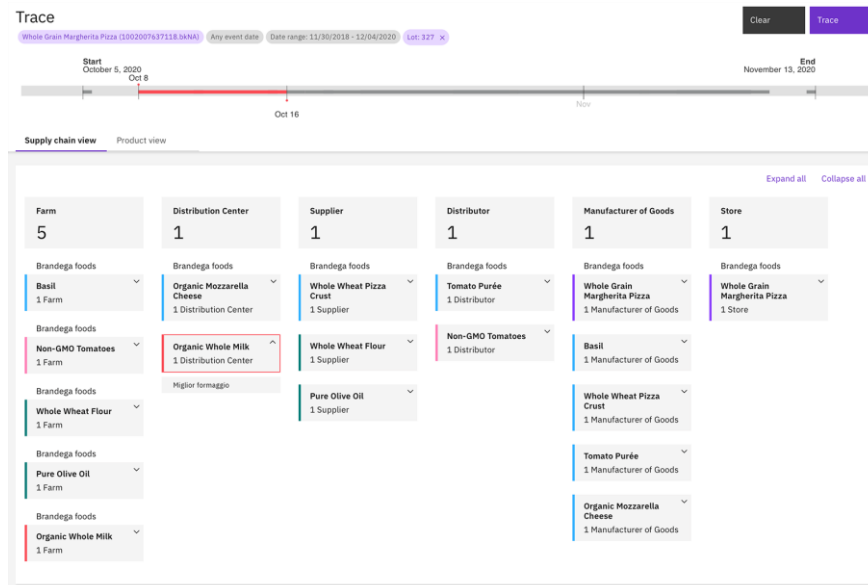


Figura 58: Trazabilidad de un ingrediente IBM Food trust

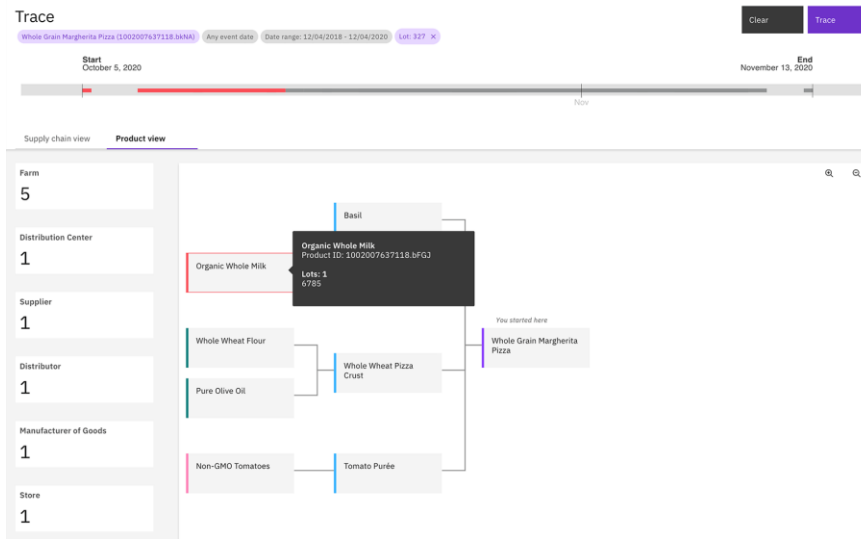


Figura 59: Esquema trazabilidad ingredientes IBM Food trust

Servicio de gestión de documentos:

IBM Food trust también permite gestionar los documentos de una forma sencilla, evitando así la documentación manual y exponiendo toda la información de una forma digital enlazada en la misma aplicación. Se podrá ver la información de un ingrediente o producto concreto si se accede al detalle a través de las pantallas mostradas anteriormente y desde ahí, accediendo al subapartado de documentos. En este subapartado se mostrarán todos los documentos y certificados del producto deseado.

Figura 60: Ventana documentos y certificaciones en detalle de un producto. IBM Food trust

También Cidacos dispondrá de un listado o librería con toda la documentación publicada, en la que podrá buscar, editar o crear nueva documentación.

Document library Docs: Manage documents

Document category: All | Document type: First select a category | Owning organization: All | Facility: Enter facility name | Expiration from: mm/dd/yyyy to: mm/dd/yyyy

Product: Enter product name | List: First select a product

Clear Find

Owning organization	Document type	Document title	Focus	Last updated	Expiration date
Eastside Markets	GLOBALG.A.P. Certificate	Floral Gardens Global C.A.P. Integrated Farm Assurance Scheme	ID: 7055812837404.growe0_323e8524	12/02/2020	10/01/2021
Eastside Markets	SQF	Westside 1 SQF Level 2 Certificate	ID: 8029177006457_retail2_a90a712	12/02/2020	11/05/2021
Eastside Markets	BRC Global Standard	Eastside 1 BRC Certificate	ID: 8029177006457_retail2_323e8524	12/02/2020	11/20/2021
Eastside Markets	SQF	Westside 1 SQF Level 2 Certificate	ID: 8029177006457_retail2_a90a712	12/02/2020	11/04/2020
Eastside Markets	BRC Global Standard	Westside 1 BRC Certificate	ID: 8029177006457_retail2_a90a712	12/02/2020	05/14/2021
Eastside Markets	SQF	Westside 2 SQF Level 2 Certificate	ID: 8029177006457_retail3_a90a712	12/02/2020	12/12/2020
Eastside Markets	BRC Global Standard	Westside 2 BRC Certificate	ID: 8029177006457_retail3_a90a712	12/02/2020	08/17/2020
Brandega foods	SQF	Miglior Formaggio SQF Level 2	Miglior formaggio	12/02/2020	09/10/2021
Brandega foods	Generic Certificate	Miglior formaggio Organic Certificate	Miglior formaggio	12/02/2020	04/28/2021
Brandega foods	SQF	Brandega Food Pizza SQF Level 2	Brandega Food Pizza	12/02/2020	07/08/2021

Items per page: 10 | 1-10 of 20 items | 1 of 2 pages

Figura 61: Biblioteca de documentos y certificados IBM Food trust

Miglior Formaggio SQF Level 2 Last updated 12/02/2020, 6:19 PM

Owning organization: Brandega foods | Document category: Certificate | Document type: SQF

Delete Edit

File: cbc9592c34d10bb5e12e331a161cefba.png Download

Focus

Facility: Miglior formaggio

Sharing (1)

Demo Organization

Properties

Title: Miglior Formaggio SQF Level 2

Expiration date: 09/10/2021

Issue date: 09/10/2020

Timestamp: 11/14/2020

Announced: Announced

Audit start date: 08/31/2020

Audit type: Level 2

Product handling included: true

Scope: Fresh Produce Wholesaling and Distribution

Figura 62: Detalle de documento-certificado. IBM Food trust

Fresh insights:

La idea principal de la implantación es aplicar sensores en todos los procesos de la cadena de suministro, como los sensores de temperatura para el transporte comentados anteriormente. El objetivo de añadir sensores es recopilar la máxima información sobre los productos en todo momento, y para ello, IBM Food trust también permite recoger toda esta información, como los datos sobre la cadena de frío de los alimentos, permitiendo así que el alimento esté en las condiciones perfectas durante todo el recorrido. Lo positivo de este punto, es que se permite una cadena de frío multiempresa, es decir, se podrá gestionar la cadena de frío en todo momento de una forma general entre todas las partes que formen la cadena de suministro en lugar de gestionar cada una sus propios procesos de manera específica como hasta ahora.

Esta herramienta es perfecta para ver el estado del alimento en todo momento, pudiendo reflejar las fechas de caducidad y el estado o riesgo que sufre un alimento en algún momento de la cadena de suministro. Estos datos son ideales para detectar ineficiencias o mejoras en la frescura de los productos, muy útil por ejemplo para las verduras con las que trabaja Cidacos.

Consumer:

Por último, Cidacos no es la única en revisar la información, ya que, el consumidor final también podrá acceder a esa información. Con este objetivo, IBM Food trust permite personalizar de forma sencilla una aplicación o *dapp* con la que los clientes podrán ver los datos de la historia del producto que hayan sido autorizados para ver. A través de la aplicación, los clientes utilizarán el QR del etiquetado del producto y tendrán acceso a todos los datos para comprender la calidad y el cuidado de la marca hacia los productos.

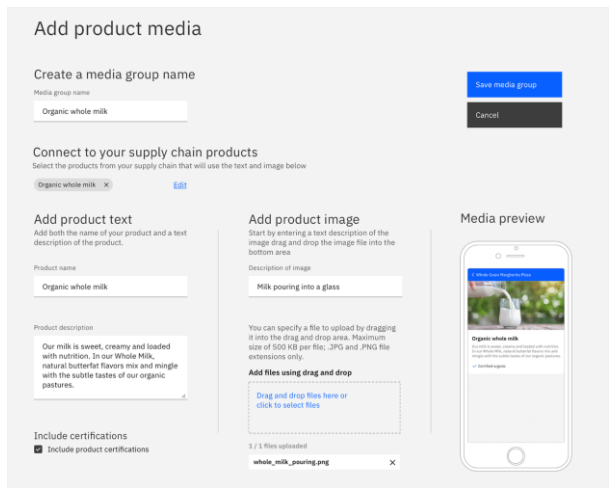


Figura 63: Panel de gestión aplicación para consumidor. IBM Food trust.

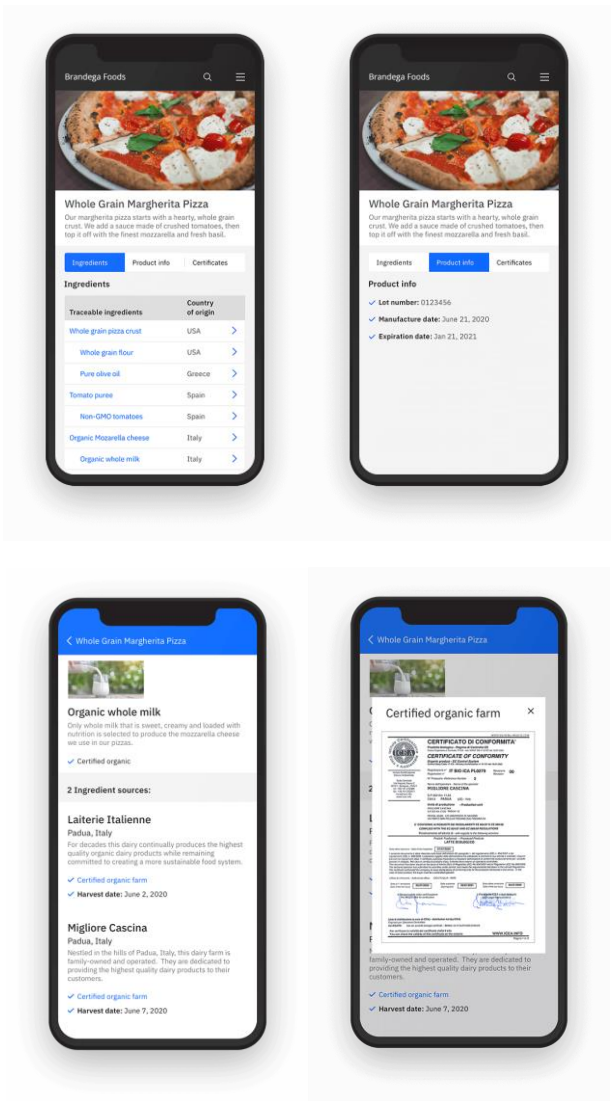


Figura 64: Ejemplo dapp descentralizada. IBM Food trust

Por lo tanto, estas serán las tecnologías necesarias para implantar blockchain en Cidacos. Inicialmente no son muchas las necesidades tecnológicas, dado que Cidacos ya dispone de un ERP con trazabilidad sobre los productos, es posible que ya dispongan de sensores en algunas cosechas o camiones y, por otro lado, el servicio IBM Food Trust facilitaría en gran medida la implantación sin necesidad de otros servicios o tecnologías.

4.10) Ejemplo práctico del recorrido de un lote.

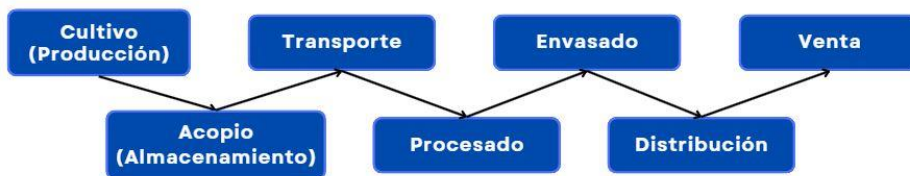


Figura 65: Diagrama cadena de suministro. Elaboración propia.

Se ejemplificará el proceso del producto en la cadena de suministro aplicando los smart contracts generales definidos con anterioridad para mostrar como cambiaría la cadena de producción al utilizar la blockchain en Cidacos.

Paso 1: Cultivo y recolecta

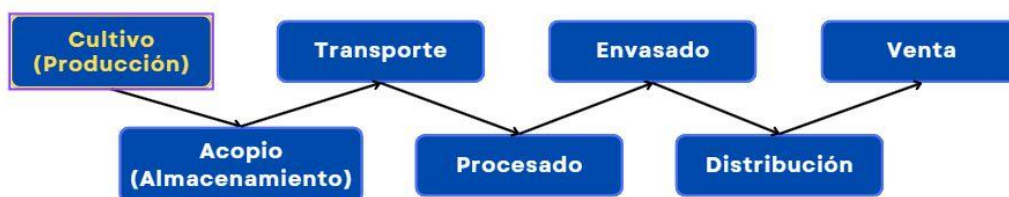


Figura 66: Diagrama cadena de suministro (Cultivo). Elaboración propia.

El proceso comienza en los campos de cultivo de Funes (Navarra), en los cuales se cultivan las legumbres y verduras, por ejemplo, los garbanzos. Durante el crecimiento de los garbanzos tanto los agricultores como los sensores inteligentes irán recopilando información valiosa, como el método anti-plagas utilizado por los agricultores, las condiciones climáticas y la humedad del suelo en Funes.

El proceso para conseguir un lote de garbanzos para el consumidor final comenzará con la siembra de ellos. Para este proceso, los agricultores utilizan el ERP de Cidacos o la plataforma de IBM Food trust para indicar la localización exacta, las hectáreas cultivadas, la raza de garbanzo y toda la información que dispongan acerca del cultivo. Toda la información al añadirse a los datos de Cidacos provocará que se lance directamente el **smart contract de cultivo**, guardándola en la blockchain, volviéndola inalterable y facilitando la trazabilidad.



Figura 67: Smart contract cultivo. Elaboración propia.

Después de la cosecha, los garbanzos se llevan a los centros de almacenamiento cerca de los campos de Funes, en donde se recopilará más información como el peso total de garbanzos recogidos. Esta vez, la información obtenida se guardará en la blockchain gracias al **smart contract de recolección**.



Figura 68: Smart contract recolección. Elaboración propia.

Adicionalmente, existen ayudas gubernamentales en la agricultura dependiendo del producto que cultives. En este caso supongamos se han cultivado garbanzos castellanos y esta raza está bajo ayuda del estado, por lo tanto, podríamos activar un **smart contract de solicitud de ayuda**, el cual una vez tengamos la información sobre la cantidad de garbanzo cultivada y cosechada, se active rellenando la documentación necesaria para hacer la solicitud correspondiente.



Smart contract solicitud ayuda:

- Input: Datos recogidos en contratos anteriores.
- Output: Solicitud ayuda gubernamental.

Figura 69: Smart contract solicitud ayuda. Elaboración propia.

En esta cosecha, el lote de garbanzos ha salido según lo esperado, pero hay que tener en cuenta que sí hubiera habido un riesgo climático como una helada y hubiera destrozado los cultivos, tendríamos respaldo de los seguros agrícolas, por lo que se habría lanzado el **smart contract de seguros** haciendo la reclamación del seguro de rendimientos con toda la información ya recogida anteriormente sobre el cultivo.

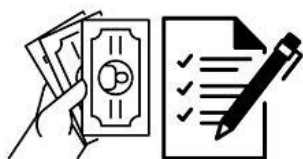


Smart contract seguro:

- Input: Datos recogidos en contratos anteriores.
- Output: Reclamación seguro de rendimientos contratado.

Figura 70: Smart contract seguro. Elaboración propia.

El último **smart contract** general que se activaría en este paso es el **de pago**, con el cual todos los operarios de campo podrían recibir sus ingresos por el trabajo realizado, haciendo directamente la transacción necesaria.



Smart contract de pago:

- Input: Datos de cantidad cosechada y de entrega.
- Output: Transacción de Cidacos al proveedor adecuada al input.

Figura 71: Smart contract de pago. Elaboración propia.

Paso 2: Acopio y transporte

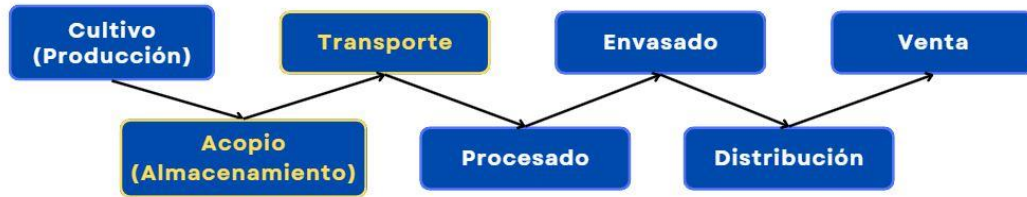


Figura 72: Diagrama cadena de suministro (Acopio y transporte). Elaboración propia.

En el segundo paso se comienza con el lote de garbanzos castellanos recolectados en Funes actualmente almacenados en sus silos. Con los garbanzos recolectados los transportistas cargarán la cantidad de garbanzos necesaria para su transporte. Una vez cargado en el camión y pesada la carga, ambos participantes, el agricultor de la cooperativa y el transportista de “Logifood” darán el visto bueno y se lanzará el **smart contract de transporte**, el cual recopila la información de origen del lote (Funes), destino del lote (planta de procesamiento de Cidacos en Funes), transportista a cargo y fecha de la recogida.

Durante todo el camino, los sensores instalados en el camión irán dando información sobre las condiciones de la carga y la ubicación en todo momento, añadiéndola a blockchain gracias al **smart contract de transporte**. En el caso de los garbanzos no es necesario que mantengan unas condiciones específicas, pero en las verduras u otros productos perecederos es necesario que no rompan la cadena del frío.



Figura 73: Smart contract transporte. Elaboración propia.

Una vez el lote de garbanzos ha llegado en correctas condiciones a la planta de procesado y envasado de Cidacos en Funes se puede dar por terminado el **smart contract de transporte** y se activará el de **almacenamiento** recogiendo la información acerca de la llegada del lote de garbanzos, entre esta información

se debe confirmar el estado del producto para tener constancia de que está en buenas condiciones.

Una vez se ha lanzado el **smart contract de almacenamiento**, dependiendo de si ha llegado el producto en correctas condiciones, la empresa Cidacos automáticamente lanzara el **smart contract de pago** a la empresa de transporte “Logifood”, realizando todos los pagos de forma automática con la información del sistema.

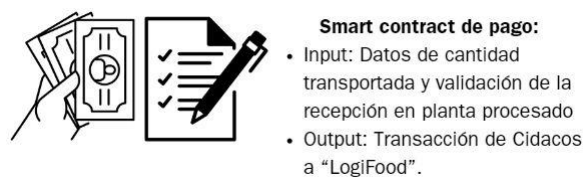


Figura 74: Smart contract de pago. Elaboración propia.

Paso 3: Procesamiento y envasado.

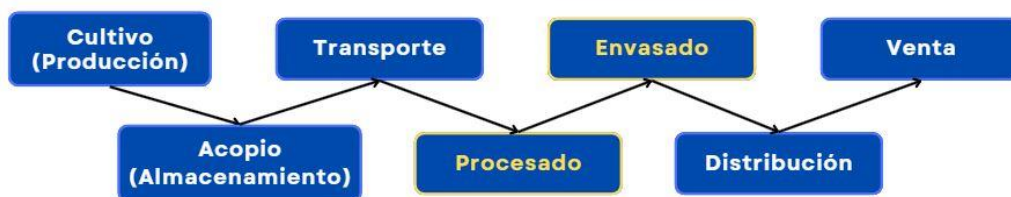


Figura 75: Diagrama de cadena de suministro (procesado y envasado). Elaboración propia.

Los garbanzos que fueron cultivados en Funes por los agricultores de la cooperativa y fueron transportados por la empresa Logifood ya se encuentran preparados en la planta de procesado y envasado de Cidacos en Funes.

Ahora los garbanzos entrarán en la cadena de procesado, pasando por los diferentes procesos como son, la selección y clasificación para eliminar posibles impurezas, el lavado y remojo para eliminar pequeños residuos, el añadido de ingredientes o conservantes y la cocción para que estén listos para el consumo.

Una vez hayan pasado todos estos procesos y se haya guardado la información correspondiente gracias a los sensores IoT o al personal de la fábrica, se recopila toda ella gracias al **smart contract de procesamiento** y los garbanzos de Funes estarán listos para el envasado.



Figura 76: Smart contract de procesado. Elaboración propia.

El envasado es un paso clave en la cadena de suministro, ya que será el cual permitirá mostrar la información sobre el producto al cliente final. Por lo tanto, cada paquete de garbanzos será envasado y etiquetado, vinculándolo con la información que tenemos en la blockchain de este producto hasta el momento mediante un código QR o RFID. Además, se añadirá la información sobre el envasado, es decir, la fecha de envasado y de vencimiento junto a la identificación del lote de garbanzos de Funes del que proviene gracias al **smart contract de envasado**.



Figura 77: Smart contract de envasado. Elaboración propia.

Paso 4: Distribución- Almacenamiento

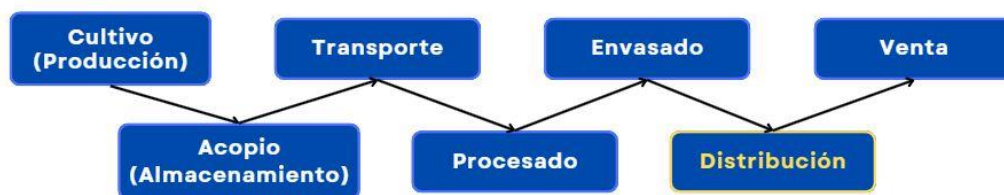


Figura 78: Diagrama de cadena de suministro (Distribución). Elaboración propia.

Una vez los lotes de garbanzos ya están envasados, deberán ir a los distintos almacenes logísticos de alimentos alrededor de los puntos de venta o directamente a los almacenes de mayoristas y minoristas.

Dependiendo del destino de los lotes se activarán unos smart contracts u otros. Normalmente los lotes tras ser procesados van a un almacén para su posterior

distribución y venta a supermercados o minoristas, para ello se almacenan en almacenes propios de Cidacos o subcontratados cercanos a los compradores.

Además, en los almacenes propios se van recogiendo las condiciones en las que se encuentra el lote, así como la ubicación del almacén y se implementarían en **el smart contract de almacenamiento** junto con todas las fechas de llegada y salida del almacén. Este caso es el más común cuando se realizan exportaciones a otros países o regiones separadas del lugar de producción, es decir separadas de Funes- Navarra.

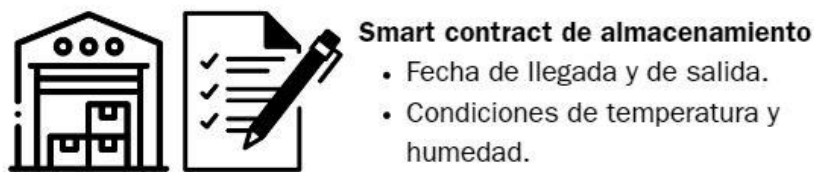


Figura 79: Smart contract de almacenamiento. Elaboración propia.

En el caso práctico, se va a seguir un lote que se distribuye directamente a un supermercado de Mercadona en Pamplona. Si se distribuye directamente a supermercados o minoristas se obviará el paso anterior, transportando los alimentos directamente a los almacenes propios de la empresa Mercadona que ha comprado el lote. En esta situación, se realizarán los **smart contracts de transporte** comentados previamente hasta llegar a los almacenes de Mercadona, en los cuales se activará el **smart contract de distribución**, que recopilará información acerca de los volúmenes de producto entregados, las fechas y el transportista a cargo.



Figura 80: Smart contract de distribución. Elaboración propia.

Paso 5: Venta

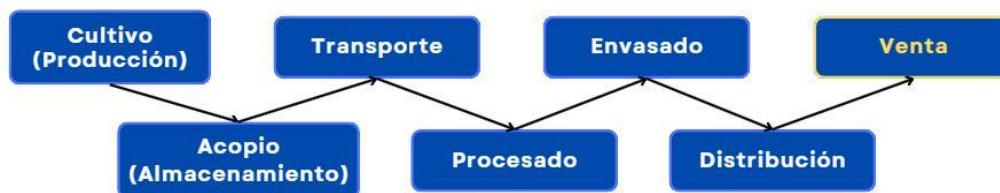


Figura 81: Diagrama de cadena de suministro (venta). Elaboración propia.

Una vez se ha completado la distribución, el último paso en el que se utilizará la blockchain es con el **smart contract de venta**. Gracias a este smart contract, tras entregar la mercancía al comprador en cuestión, automáticamente el smart contract generará las facturas correspondientes y las enviará al comprador, en este caso Mercadona.

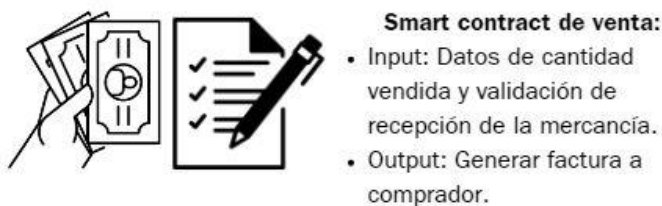


Figura 82: Smart contract de venta. Elaboración propia.

En este punto Cidacos deja de recopilar información sobre el estado de los productos hasta que no llegan al consumidor final.

Compra por el consumidor final

Una vez el lote de garbanzos se encuentra en posesión de un vendedor externo a la empresa Cidacos es muy complicado recopilar más información sobre las ventas al consumidor final. En este caso concreto no se podría recopilar esta información, ya que pertenece a Mercadona.

De todas formas, una vez el producto ha llegado al alcance del consumidor es el momento en el que se verán los resultados de la utilización de blockchain en la cadena de Cidacos. Recordemos que el objetivo principal es diferenciar los

productos de Cidacos aportando mucha más información que los competidores al consumidor final, en este ejemplo sobre el lote de garbanzos.

El consumidor tendrá acceso de una forma muy sencilla mediante un QR en el envase del producto a gran cantidad de información que ha ido recopilándose a lo largo de todos los procesos en la cadena de bloques y que puede ser filtrada por la empresa Cidacos para solo mostrar la deseada, aunque, la más determinante para el cliente será la procedencia de los ingredientes, las prácticas de la producción y las condiciones en las que ha estado hasta llegar a sus manos. Esta transparencia brinda a los consumidores confianza en la autenticidad y calidad de los productos de Cidacos que están comprando.



Figura 83: Etiquetado con QR en conserva. Elaboración propia.

Comentarios del consumidor

Como última implementación, podría ser que en el propio enlace del QR se incorpore un apartado de recopilación de comentarios del tipo de producto escaneado. De esta forma se creará un sistema para la empresa de recibir retroalimentación del cliente, y una vez el cliente disponga del producto tendrá la posibilidad de añadir valoraciones y comentarios sobre él. Las valoraciones se guardarán en la blockchain, siendo información muy valiosa para Cidacos o para otros consumidores, ya que permite detectar mejor las necesidades del mercado.

Con el objetivo de esquematizar toda la implementación de blockchain en el ejemplo de la cadena de suministro y ver toda la información registrada se ha construido la siguiente tabla:



Figura 84: Cadena de suministro Cidacos. Elaboración propia.

1- Cultivo o producción		
Smart contracts	Datos en blockchain	Participantes
S.m. de cultivo	-Tipo de cultivo -Ubicación del cultivo -Condiciones del producto. -Fecha de cultivo -Proveedor del cultivo	Agricultores
S.m. de recolección	-Fecha de siembra -Peso de lote	Agricultores
S.m. de ayudas	-Generación solicitud ayuda con datos existentes.	Gobierno
S.m. de seguros	-Reclamación seguro con datos existentes.	Seguros contratados
S.m de pagos	-Transacción al proveedor del cultivo con datos existentes.	Agricultores, Cidacos

2- Acopio y transporte		
Smart contracts	Datos en blockchain	Participantes
S.m. de transporte	-Fecha de carga y de entrega -Producto transportado -Condiciones en el camión -Ubicación tiempo real y ruta -Transportista a cargo.	Agricultores, transportistas.
S.m de pagos	-Transacción transportista.	Transportista, Cidacos

3- Procesado y envasado		
Smart contracts	Datos en blockchain	Participantes
S.m. de procesamiento	-Métodos y condiciones de procesado. -Ingredientes añadidos.	Planta de procesado de Cidacos
S.m de envasado	-Fecha de envasado -Etiquetado QR	Planta de envasado Cidacos

4- Almacenamiento- Distribución		
Smart contracts	Datos en blockchain	Participantes
S.m. de almacenamiento	-Fecha de llegada y de salida. -Condiciones de almacén en todo momento.	Almacenes
S.m. de distribución	-Fecha de carga y de entrega -Volúmenes de producto transportado -Condiciones en el camión	Transportistas.

	-Ubicación tiempo real y ruta -Transportista a cargo.	
S.m de pagos	-Transacción a transportista.	Transportista, Cidacos

5- Venta		
Smart contracts	Datos en blockchain	Participantes
S.m. de venta	- Fecha de venta. - Cantidad de producto vendida - Validación de recepción de la mercancía - Generación de facturas a cliente.	Cidacos, Cliente.

Tabla 3: Resumen información smart contracts en Cidacos

4.11) Otras fuentes de venta.

Se ha tratado sobre la implantación de Cidacos en la blockchain privada de IBM Food trust y la recopilación de los datos de sus productos gracias a ella, pero existen otras formas de dar valor a la información recopilada además de la cadena de suministro natural explicada. Una de esas posibilidades es desarrollar una tienda online y conectarla con la blockchain para vender los productos de Cidacos incluyendo la compra por criptodivisas. La venta de productos online por criptomonedas podría utilizarse especialmente para productos exclusivos con mayor valor.

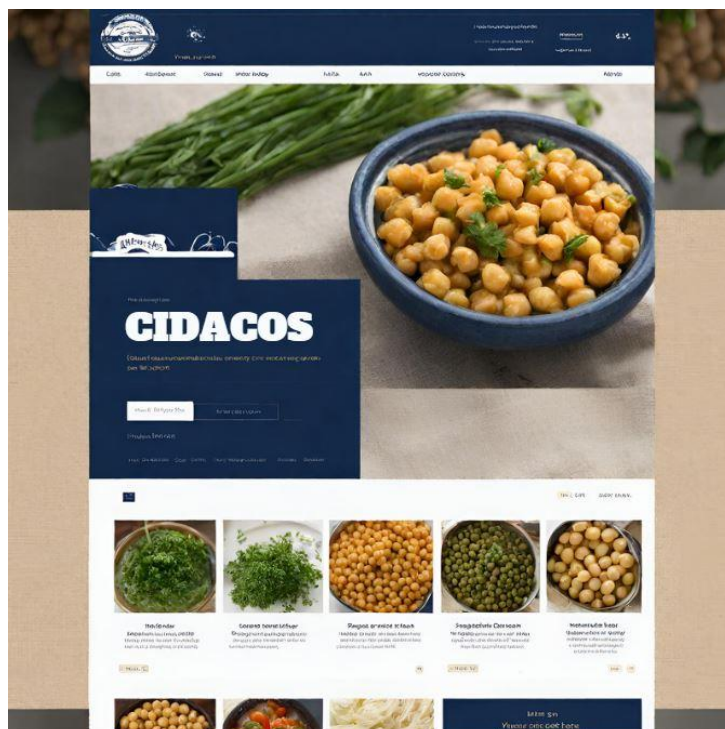


Figura 85: Ejemplo página web blockchain pública Cidacos. Elaboración propia

Esta forma de venta sería ideal para probar la interconectividad con otros servicios web y para tener un punto de visualización extra de la venta de los productos de Cidacos, pudiendo mostrar los datos de la blockchain de una forma más elegante y cuidada a los compradores.

Uno de los ejemplos más recientes que permiten la compra de sus productos por criptomonedas es Tesla, que permite su compra por la moneda *dogecoin*¹² y consideró la idea de permitir la compra por bitcoin.

4.12) Análisis económico de implantación

En este apartado se llevará a cabo un análisis de los costes que tendría que cubrir la empresa Cidacos en caso de realizar la implantación de blockchain en su cadena de suministro. Los datos que se mostrarán serán aproximaciones de la realidad, debido a que para determinar unos costes exactos será necesaria más información acerca de la empresa.

¹² Información Tesla compra por criptomonedas https://www.tesla.com/es_es/support/dogecoin

Para determinar los costes, primero se listará unos supuestos sobre sus capacidades:

- Disposición de cultivos de 10.000 hectáreas entre todas las plantas de España, Perú y China.
- Disposición de flota de camiones de 10 camiones.

Costes de los sensores IOT

El primer coste analizado serán los sensores utilizados en los campos de cultivo de Cidacos. Los costes unitarios aproximados son los siguientes:

- Sensores o sondas de humedad de suelo Buitech - 730€
- Sensores de clima 4 en 1 Buitech - 1400€
- Panel de control Buitech Lite - 1500€

El número de sensores dependerá del tamaño de las parcelas cultivadas y del tipo de cultivo, ya que en caso de tener más de un cultivo sería ideal tener un sensor de humedad por cada tipo de cultivo. En este caso solo se tendrá en cuenta el tamaño de cultivo, que como se ha indicado era de 10000 hectáreas repartidas por distintos países y lugares.

Para determinar el número de sensores se asumirá que es necesario un sensor de humedad para cada 40 hectáreas, un sensor de clima cada 100 hectáreas y un panel de control para enviar la información recogida por los sensores cada 200 hectáreas.

En total, tendríamos los siguientes costes asociados:

- Sensores humedad: $730 \text{ €} * (10000 \text{ hectáreas} / 40) = 182.500\text{€}$
- Sensores de clima: $1400 \text{ €} * (10000 \text{ hectáreas} / 100) = 140.000\text{€}$
- Panel de control: $1500 \text{ €} * (10000 \text{ hectáreas} / 200) = 75.000\text{€}$

El segundo coste asociado será el de los sensores implementados en todos camiones de distribución. Los costes unitarios aproximados son los siguientes:

- Sensor de temperatura TS de SEEMOTO - 240 €
- Pasarela de visualización Seemoto DGW - 575 €

Suponiendo que los camiones no tienen instalados aun estos sensores, el coste asociado a comprar ambos dispositivos para cada camión sería el siguiente:

- Sensor de temperatura TS de Seemoto: 240 €*10 camiones= **2.400€**
- Pasarela de visualización Seemoto DGW: 575 €*10 camiones= **5.750€**

Los últimos sensores para tener en cuenta serían todos los utilizados en la industria y almacenaje, aunque supondremos que ya los dispone actualmente Cidacos para su gestión actual.

Costes de mano de obra instalación sensores:

Los sensores agrícolas tendrán que ser instalados por la propia empresa proveedora de los dispositivos.

Se supondrá que el coste aproximado de la instalación de todos los dispositivos será un 7,5 % el coste total de ellos.

- Mano de obra instalación sensores agrícolas: $397.500 * 0.075 =$
29.812,5 €

Software de blockchain utilizado en Cidacos:

El software contratado para la implantación de blockchain en la cadena de suministro será IBM Food trust. La plataforma de IBM tiene distintas tarifas dependiendo del tamaño de empresa, sus ganancias y las necesidades.

	Small (<\$50M)	Medium (\$50M - \$1B)	Large (\$1B+)
Base cost	\$100	\$1.000	\$10.000
Certifications	\$200	\$600	\$4.200
Standard Support	\$3.500	\$3.500	\$3.500
Total, with add-ons	\$3.800	\$5.100	\$17.700

Figura 86: Tarifas IBM Food Trust

En este caso, por los ingresos anuales de la compañía podemos considerar la tarifa media, con un coste base de 1000\$, incluiremos los costes asociados de gestión de certificados y el ayuda estándar al menos los primeros tres meses para asegurar una correcta implementación, lo que hace un total de **5100\$** los

primeros meses y luego se reducirá a **1600\$** para el resto de los meses del año.

Si los costes no son un problema IBM Food trust ofrece una incorporación guiada para nuevas empresas por un precio de 5000\$ lo que aceleraría la incorporación.

Costes de desarrollo en aplicaciones de gestión actuales:

Para que IBM Food trust pueda incorporar a la blockchain toda la información recogida por los sensores o plataformas de gestión a nivel de procesos será necesaria la importación de esos datos. Para la importación se puede hacer de tres formas distintas [3]:

- **Automatización:** La mejor opción sería conectar los servicios actuales de Cidacos, como pueden ser su ERP de gestión de inventarios, o los aplicativos que recojan la información de los sensores y se conecten a las APIs de IBM Food trust. Para ello los servicios actuales tienen que cumplir con los estándares GS1, los cuales sí que cumple gracias a la automatización realizada por el equipo subcontratado de Neteris [38].
- **Carga vía Excel:** La segunda opción sería utilizar ficheros de Excel con los datos de los productos, instalaciones, eventos y transacciones para importarle directamente en la plataforma.
- **Carga manual:** La carga manual será la menos recomendada para la carga de toda la información, pero útil para casos puntuales. Esta carga se permite realizar desde la plataforma de IBM.

La opción ideal sería automatizar los servicios existentes con el servicio de IBM Food trust para enviar los datos de forma estructurada y segura. Para cumplir la automatización, será necesario contar con personal de desarrollo de software para hacer esta implementación entre servicios.

Los costes aproximados asociados al desarrollo para conectar ambos servicios seguirán la siguiente distribución:

- **Análisis de requisitos:** 1 semana
- **Diseño de la arquitectura de integración:** 2 semanas
- **Desarrollo de la solución:** 5 semanas
- **Pruebas y depuración:** 2 semanas
- **Implementación y despliegue:** 2 semanas.

En total serían tres meses de trabajo desarrollo, lo que es un aproximado de 1440 horas de desarrollo.

Suponiendo que hubiera que subcontratar el desarrollo a una empresa externa con un coste aproximado de 50 euros la hora, tendríamos un coste de $1440 \times 50 = 72.000\text{€}$ para la conexión de ambos servicios.

Costos totales implantación	
Sensor agrícola humedad	182.500 €
Sensor agrícola temperatura	140.000 €
Panel de gestión sensores agrícolas	75.000€
Mano de obra instalación sensores agrícolas	29.812,5 €
Sensores de temperatura transporte	2.400 €
Pasarelas de visión transporte	5.750 €
BaaS IBM Food trust ayuda adicional 3 meses	10.500 \$
Desarrollo interconexión ERP con IBM	72.000 €
Costes totales	517331,55€

Costos mensuales	
Tarifa IBM Food Trust mensual	1600 \$

Tabla 4: Costes implantación blockchain en Cidacos.

Los costes aproximados de la implantación son ligeramente elevados principalmente por la necesidad de sensores agrícolas, aunque es posible que los proveedores de Cidacos ya dispongan de ellos por lo que los costes se reducirían en gran medida.

La implantación de la herramienta IBM Food Trust tendría unos costes bajos en comparación con todo lo que ofrece a la empresa, siendo el coste más alto el desarrollo para el intercambio de datos con el sistema de Oracle que utiliza actualmente Cidacos.

4.13) Resumen cumplimiento objetivos iniciales implantación

Tras el estudio de la empresa Cidacos, sus características, tecnologías, puntos de mejora y la implantación de la tecnología blockchain de forma óptima para la empresa, se van a repasar las problemáticas iniciales de Cidacos y los objetivos clave de la implantación para comprobar el desempeño.

Para comenzar, dos de los objetivos principales como son la mejora de trazabilidad y la falta de transparencia han sido resueltos de forma satisfactoria gracias a la aplicación de blockchain. Con la cadena de suministro en IBM Food Trust Cidacos sería capaz de rastrear todos sus productos en los 40 países en los que trabaja pudiendo determinar el origen de cada producto y la situación y ubicación de cada lote en todo momento. Además, tendrá información en todo momento el estado de los lotes pudiendo asegurar su calidad.

Otra de las mejoras conseguidas en Cidacos es la reducción de la posibilidad de fraude y verificación de la seguridad alimentaria. Estas cualidades gracias a la inclusión de empresas de calidad externas en la blockchain y análisis de la propia empresa, sumado a la transparencia de información, facilitan a Cidacos evidenciar que los productos siguen todos los procesos en correctas condiciones y cumplen con todos los requisitos de calidad y normativas vigentes.

Relacionado con el punto anterior, gracias a blockchain y la herramienta de IBM se podría asegurar el cumplimiento de la normativa mediante la gestión de certificados y cualquier otro tipo de documento relacionado con los lotes de alimentos en la propia plataforma, lo que reduce en gran medida el exceso de papeleo.

Por último, gracias a toda la información recopilada a lo largo de la cadena de suministro se podrá resolver cualquier duda que tenga el consumidor final sobre los alimentos de Cidacos utilizando su dispositivo móvil.

En conclusión, la consecución de los objetivos para evitar los problemas de Cidacos en su cadena de suministro se lograría aplicando blockchain.

4.14) Debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades blockchain

Una vez concluido el estudio de blockchain y la implantación a Cidacos, además de un pequeño resumen de la consecución de los objetivos de la aplicación, se mostrará un análisis DAFO para evaluar la tecnología en la cadena de suministro. Con este análisis podremos comprender de forma resumida el contexto de la empresa, las implicaciones estratégicas de la aplicación de blockchain, además de los beneficios y riesgos que conlleva.

Debilidades	Amenazas
<ul style="list-style-type: none"> • Posible falta de madurez de la tecnología. • Legalidad. • Dependencia de participantes en la cadena de suministros. • Costos de implementación. • Interoperabilidad. • Dependencia de software externo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Existencia de participantes con malas intenciones dentro de la cadena. • Desconfianza entidades públicas y privadas. • Competencia. • Posibles fallos técnicos.
Fortalezas	Oportunidades
<ul style="list-style-type: none"> • Trazabilidad y transparencia completa de la cadena de suministro. • Mejora en la gestión documental. • Reducción de fraude. • Mejora en la eficiencia operativa. • Confianza y credibilidad. 	<ul style="list-style-type: none"> • Innovación continua. • Colaboración empresarial y expansión del mercado. • Incorporación de feedback en la cadena de suministro. • Visibilidad de la empresa.

Tabla 5: DAFO Implantación blockchain en Cldacos

CONCLUSIÓN

En el trabajo de fin de grado se propusieron varios temas y objetivos para su análisis y comprensión relacionados con la tecnología blockchain. Para comenzar, se ha descrito el origen y el concepto de los fundamentos de la cadena de suministro y su gestión, destacando su evolución a lo largo del tiempo y la importancia en la gestión de los procesos empresariales. A continuación, se llevó a cabo un viaje por la tecnología blockchain, explorando sus características principales y distintivas, como son la inmutabilidad, descentralización y transparencia de los datos, así como una explicación de los contratos inteligentes que utiliza para la automatización y ejecución de acuerdos o reglas. Posteriormente, se ha dado un ejemplo de aplicación práctica de la tecnología para una empresa como es Cidacos, examinando como esta herramienta puede mejorar la trazabilidad, la transparencia y aumentar el valor de las legumbres y verduras que comercializan. Por último, se han detallado los costes de aplicación de esta tecnología además de evaluar los desafíos y oportunidades de la aplicación en las empresas.

A lo largo del trabajo se revelan algunos hallazgos y aspectos relevantes sobre el análisis realizado. Lo primero de todo que se puede comprobar es la velocidad en la que la cadena de suministro ha sufrido una evolución de esa magnitud, en tan solo un siglo se han desarrollado metodologías y herramientas que han cambiado por completo el panorama industrial en los aspectos de gestión y producción. Más adelante, al adentrarse en blockchain se puede observar su complejidad, pero por otro lado la notable flexibilidad que ofrece gracias a los contratos inteligentes los cuales también permiten que tenga influencia y se adapte a muchos sectores desde el financiero hasta el sanitario mostrando su versatilidad.

Por otro lado, se realizó un análisis de la cadena de suministro de Cidacos, desde el cultivo hasta la venta final de los productos, en ella se fueron demostrando todos los potenciales smart contracts vinculados a cada proceso para automatizar acuerdos mejorando la autonomía y la eficiencia de la cadena. Uno de los hallazgos relacionados con esta implantación es la relativa facilidad que supone implantar un servicio BaaS como IBM Food Trust en una empresa como Cidacos, ya que la mayoría de la información la tienen o la pueden recoger por la infraestructura actual que disponen. Una ventaja que resaltar de blockchain sobre la implantación es la importancia de incluir a todos los participantes de la cadena en la red de blockchain, garantizando una

trazabilidad general. Otro de los hallazgos relacionado con la implantación en Cidacos y relacionado con los anteriores es lo relativamente económica que es en el caso de utilizar un BaaS, dado que es una empresa consolidada que ya cuenta con cierta trazabilidad de los productos, lo que quiere decir que la implantación añadiría más valor al producto de una forma rentable contribuyendo a mejorar la competitividad de la empresa en el mercado.

Uno de los temas a debatir sería el conflicto entre el uso de una base de datos convencional y la blockchain. Sobre este punto, tras el análisis durante el proyecto está claro que blockchain ofrece unas fortalezas claras como la inmutabilidad, transparencia y descentralización. Estas características la hacen una herramienta muy valiosa en algunos sectores, sin embargo, al aplicar la blockchain en la cadena de suministro surgen también desafíos importantes. Uno de ellos el costo asociado y el mantenimiento de la red de blockchain, que puede ser un obstáculo significativo sobre todo para pequeñas empresas con recursos limitados, en concreto si se desarrollan las blockchain totalmente personalizadas para la empresa. Por otro lado, las bases de datos tienen una mayor escalabilidad y velocidad de transacción, que puede ser un punto clave para grandes cantidades de datos como puede ser una cadena de suministro de una empresa con gran volumen de productos.

Como recomendación o reflexión una vez realizado el proyecto, existen varios puntos clave para determinar si es una buena solución. La primera de las recomendaciones es que la implantación de blockchain depende del tipo de empresa en gran medida para sacar el valor correspondiente. Las medianas y grandes empresas que están más estandarizadas en cuanto a los procesos pueden aplicar un BaaS como IBM Food Trust por un precio asequible debido a que los costes solo serán para añadir la herramienta. En cambio, las pequeñas empresas tienen que primero estandarizar la cadena de suministro con sensores y procesos claros para poder después añadir toda la información de forma ordenada en la blockchain. Por lo tanto, la aplicación de blockchain es una buena mejora en empresas medianas y grandes para aportar valor gracias a las fortalezas de la herramienta. Otro de los puntos clave antes de implantar la tecnología es la verificación previa de que todos los participantes de la cadena están de acuerdo y formaran parte de ella, para evitar problemas como el sucedido con la plataforma TradeLens¹³ que, aunque fue desarrollado con éxito no llegó a aplicarse debido a la falta de algunos participantes en la red.

Para terminar, la herramienta blockchain es una herramienta totalmente válida y que aplica mejoras claras, aun así, la implementación en las empresas dependerá su condición, ya que los clientes quieren trazabilidad, pero muchos

¹³ <https://piernext.portdebarcelona.cat/tecnologia/el-cierre-de-tradelens/>

no estarán dispuestos a pagar un sobrecoste muy alto sobre los productos por esta característica en productos de primera necesidad. Por lo tanto, es un factor diferenciador para ganar a la competencia en el caso de que la implementación no sea especialmente costosa para la empresa, porque si su implementación no significa un gran sobrecoste en el producto final la empresa adquirirá valor sobre el producto y una ventaja competitiva clara. En el caso de productos de lujo o gammas de alimentos *BIO* por ejemplo, el sobrecoste podría llegar a ser mayor, debido a que las características de blockchain sí que serían un factor más determinante.

Como conclusión, la adopción de blockchain aunque dependa de las condiciones de las empresas, representa una innovación revolucionaria, siendo una poderosa herramienta para diferenciar los productos y asegurar la trazabilidad. Sin embargo, para asegurar la máxima efectividad, puede que la estrategia más acertada sea su implementación inmediata, para hacer a Cidacos pionero en el uso de blockchain como herramienta y obtener más visibilidad y rentabilidad de ella. Al final, es importante tener en mente que, si todas las empresas usan esta herramienta, se perdería la oportunidad de diferenciarse en el mercado. Por ello, la adopción tendría que ser inicialmente por los productos más exclusivos de Cidacos, o en este caso aquellos con el sello orgánico (BIO), para aprovechar al máximo sus características y así consolidar la posición de Cidacos como una empresa líder en la industria.

BIBLIOGRAFÍA

1. *¿Qué es la Industria 4.0 y cómo funciona?* (s. f.). Ibm.com. Recuperado 10 de diciembre de 2023, de <https://www.ibm.com/es-es/topics/industry-4-0>
2. *¿Qué es la seguridad de blockchain?* (s. f.). Ibm.com. Recuperado 19 de mayo de 2023, de <https://www.ibm.com/es-es/topics/blockchain-security>
3. *About IBM Food trust.* (s. f.). Ibm.com. Recuperado 8 de abril de 2024, de <https://www.ibm.com/downloads/cas/8QABQBDR>
4. Advanced Solutions International, Inc. (s. f.). cscmp.org. Cscmp.org. Recuperado 19 de mayo de 2023, de <https://cscmp.org/>
5. Alharby, M., Aldweesh, A., & van Moorsel, A. (2018). *Blockchain-based smart contracts: A systematic mapping study of academic research* (2018). 2018 International Conference on Cloud Computing, Big Data and Blockchain (ICCB).
2018 International Conference on Cloud Computing, Big Data and Blockchain (ICCB).
6. Arbós, L. C. (2012). *Logística. Gestión de la cadena de suministros: Organización de la producción y dirección de operaciones*. Ediciones Díaz de Santos.
7. Ballou, R. H. (2004). *Logística Administración de la cadena de suministro*. Pearson Education.
8. *Barómetro de empleo marzo 2023.* (2023, abril 4). Foro de Logística. <https://forodelogistica.com/barometro-de-empleo-marzo-2023>
9. *Bitcoin - Dinero P2P de código abierto.* (s. f.). Bitcoin.org. Recuperado 6 de febrero de 2024, de <https://bitcoin.org/es/>
10. Bowersox, D. J., & Closs, D. J. (1996). *Logistical managements: The integrated supply chain process*. McGraw-Hill Publishing.
11. Cabeza, D. (2012). *Logística inversa en la gestión de la cadena de suministro*. Marge books.
12. Castaño, J. (2022, febrero 23). *Los hackers entran en el mercado de NFTs y roban 1,5 millones de euros*. La Vanguardia. <https://www.lavanguardia.com/tecnologia/actualidad/20220223/8074273/hackers-entran-mercado-nfts-roban-1-5-millones-euros-usuarios-opensea-pmv.html>
13. Chopra, S., & Meindl, P. (2014). *Supply chain management: Strategy, planning, and operation* (6a ed.). Pearson.
14. Christopher, M. (1992). *Logistics and supply chain management: Strategies for reducing costs and improving service*. Financial Times Prentice Hall.
15. Cidacos, S. A. (2022). *CONSERVAS EL CIDACOS, S.A. y sociedades dependientes Estado de información no financiera - ejercicio 2022*.

- Cidacos.com. <https://www.cidacos.com/wp-content/uploads/2023/06/EINF-CIDACOS-2022-WEB.pdf>
16. de Catalunya, C. L. (2017, mayo 24). Evolución de la logística durante el último siglo. Clusterlogistic.org. <https://clusterlogistic.org/es/evolucion-de-la-logistica-durant-lultim-segle/>
 17. Del Val Román, J. L. (2016). Industria 4.0: la transformación digital de la industria. En *Valencia: Conferencia de Directores y Decanos de Ingeniería Informática*
 18. Drucker, P. (1962). *El continente negro de la economía*. http://ual.dyndns.org/biblioteca/admon_de_la_produccion/Pdf/Unidad_08.pdf
 19. Espallargas, A. (2022, abril 21). *Bitcoin podría reducir su consumo de energía en un 99,9% con un simple cambio de código*. GQ España. <https://www.revistagq.com/noticias/articulo/bitcoin-reducir-consumo-energia-cambio-de-codigo>
 20. *Ethereum* (s. f.). ethereum.org. Recuperado 6 de febrero de 2024, de <https://ethereum.org/es>
 21. *Evolución de la logística y su línea del tiempo hasta 2021*. (s. f.). Beetrack.com. Recuperado 19 de mayo de 2023, de <https://www.beetrack.com/es/blog/evolucion-de-la-logistica>
 22. Fornell, J. (2020, julio 9). ¿Qué es una red P2P? *Bit2Me Academy*. <https://academy.bit2me.com/que-es-una-red-p2p/>
 23. Fox, A. (2022, septiembre 7). Mayo Clinic to use blockchain for hypertension clinical trial. *Healthcare IT News*. <https://www.healthcareitnews.com/news/mayo-clinic-use-blockchain-hypertension-clinical-trial>
 24. Gervais, A., Karame, G. O., Wüst, K., Glykantzis, V., Ritzdorf, H., & Capkun, S. (2016). On the security and performance of proof of work blockchains. En *Proceedings of the 2016 ACM SIGSAC conference on computer and communications security* (pp. 3-16).
 25. Gómez, C. E., Estrada, F.-D. A., Pawel, C., William, C.-L. M., Nacional, U., & Y A Distancia -Unad, A. (2018). *SupplyChain, evolución desde la década de los 50's*. Edu.co. Recuperado el 19 de Mayo de 2023, de <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/18409/93237478.pdf?sequence=1>
 26. Haber, S., & Stornetta, W. (1991). How to time-stamp a digital document. *J. Cryptol*, 3, 99-111.
 27. *Hyperledger Fabric*. (2023, julio 31). [Hyperledger.org](https://www.hyperledger.org/projects/fabric). <https://www.hyperledger.org/projects/fabric>
 28. Iberdrola. (2019, octubre 10). «Blockchain» en el mercado energético. <https://www.iberdrola.com/innovacion/blockchain-energia>

29. IBM. (2020, diciembre 8). Blockchain in healthcare and life sciences industries. [ibm.com. https://www.ibm.com/blockchain/resources/healthcare/](https://www.ibm.com/blockchain/resources/healthcare/)
30. Las 5 ceremonias Scrum: claves para la gestión de procesos. (2017, diciembre 20). Deloitte Spain. <https://www2.deloitte.com/es/es/pages/technology/articles/ceremonias-scrum.html>
31. Lean Enterprise Institute. (2004). *Lean lexicon: A graphical glossary for lean thinkers* (A. Schroeder, Ed.). Lean Enterprise Institute.
32. LeanSherpa. (2015, abril 17). El sistema de producción de Toyota. La historia. LeanSherpa. <https://leansherpa.es/la-historia-de-toyota-y-de-lean-parte-i/>
33. Maldonado, J. (2020, febrero 25). Minería Bitcoin ¿Cómo se crea un bloque? *Bit2Me Academy*. <https://academy.bit2me.com/mineria-bitcoin-como-se-crea-un-bloque/>
34. Manuel Rajadell, J. L. S. (2010). *Lean Manufacturing: La evidencia de una necesidad*. Ediciones Diaz de Santos.
35. Merchant, M. (2022). ¿Qué es un ataque del 51% y cómo detectarlo? *Cointelegraph.com*. <https://es.cointelegraph.com/news/what-is-a-51-attack-and-how-to-detect-it>
36. Nakamoto, S. (2008). Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system. *Decentralized business review*.
37. Neteris Consulting SL. (s. f.). *Caso de Uso Logística Cidacos*. *Neteris.com*. Recuperado 8 de abril de 2024, de <https://info.neteris.com/logistica-movilidad-cidacos>
38. Neteris Consulting SL. (s. f.). *Caso de Uso Logística Cidacos*. *Neteris.com*. Recuperado 8 de abril de 2024, de <https://info.neteris.com/logistica-movilidad-cidacos>
39. Ohno, T. (1991). *El Sistema de Producción Toyota: Mas alla de la producción a gran escala*. Routledge.
40. *Qué es Blockchain Security: desafíos y ejemplos*. (2022, marzo 11). *Ciberseguridad*. <https://ciberseguridad.com/guias/nuevas-tecnologias/blockchain/security/>
41. *Qué son los Hash en la blockchain*. (2021, octubre 29). *Gastcoin*. <https://gastcoin.com/es/que-son-los-hash-en-la-blockchain/>
42. Rodríguez, N. (2020, agosto 26). *Qué Es Un Contrato Inteligente? Guía Completa*. *101 Blockchains*. <https://101blockchains.com/es/que-es-un-contrato-inteligente/>
43. Roig, M. V., & Castillo, C. (2022). Evolución de la logística: pasado, presente y futuro. *Oikonomics: Revista de economía, empresa y sociedad*, (17), 1-8.

44. Rushton, A., Croucher, P., & Baker, P. (2022). *The handbook of logistics and distribution management: Understanding the supply chain*. Kogan Page Publishers.
45. Santander, N. (2023). Santander pone a disposición de sus clientes empresas una plataforma 100% digital que facilita la compra y venta de divisas. Santander. <https://saladecomunicacion.santander.cl/noticias/negocios/detalles/santander-pone-a-disposicion-de-sus-clientes-empresas-una-plataforma-100-digital-que-facilita-la-compra-y-venta-de-divisas>
46. Sector del transporte y logística en España. (s/f). Investinspain.org. Recuperado el 19 de octubre de 2023, de <https://www.investinspain.org/es/sectores/logistica-transporte>
47. Segura, J. (2018, julio 6). ¿Qué es Prueba de participación / Proof of Stake (PoS)? *Bit2Me Academy*. <https://academy.bit2me.com/que-es-proof-of-stake-pos/>
48. Segura, J. (2019, abril 1). ¿Qué es PoA (Proof of Authority – Prueba de Autoridad)? *Bit2Me Academy*. <https://academy.bit2me.com/que-es-proof-of-authority-poa/>
49. Segura, J. (2020, marzo 26). ¿Qué es un Ataque Sybil? *Bit2Me Academy*. <https://academy.bit2me.com/que-es-un-ataque-sybil/>
50. *Transacciones por segundo criptomonedas*. (s. f.). Blockchair.com. Recuperado 12 de marzo de 2024, de <https://blockchair.com/es/ethereum/charts/transactions-per-second>
51. Uribe, E. H., & Ayala, L. E. V. (2007). Del manifiesto ágil sus valores y principios. *Scientia et technica*, 13(34), 381-386.
52. Vanci, M. (2020, julio 31). *Industria inmobiliaria pierde interés en aplicación de blockchains, según especialista*. CriptoNoticias - Noticias de Bitcoin, Ethereum y criptomonedas; CriptoNoticias. <https://www.criptonoticias.com/comunidad/adopcion/industria-inmobiliaria-pierde-interes-aplicacion-blockchains-segun-especialista/>
53. *Ventajas y desventajas del sector logístico*. (2017, diciembre 22). Instituto Europeo de Posgrado – Instituto Europeo de Posgrado; Instituto Europeo de Posgrado. <https://iep.edu.es/ventajas-y-desventajas-del-sector-logistico/>
54. *What is blockchain*. (s. f.). Amazon.com. Recuperado 19 de mayo de 2023, de <https://aws.amazon.com/es/what-is/blockchain/>
55. Womack, J. P., Jones, D. T., & Roos, D. (2007). *The machine that changed the world: The story of lean production—Toyota's secret weapon in the global car wars that is now revolutionizing world industry*. Simon and Schuster.

