



Universidad de Valladolid

Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales

Trabajo Fin de Grado

Grado en Administración y Dirección de Empresas

Logística y Blockchain: Estudio de su implantación en Bosch

Presentado por:

Gonzalo Casares Hernández

Tutelado por:

Héctor Pérez Fernández

Valladolid, 10 de julio de 2024

RESUMEN

El presente trabajo estudia de manera general las tareas y objetivos de la logística, para plantear la aplicación de la blockchain como punto de inflexión tecnológico en el funcionamiento integral de las empresas y sus cadenas de suministro. Con sus ventajas e inconvenientes, se tratará de averiguar si esta tecnología genera en dicho área beneficios significativos, no sólo económicos, sino de eficiencia operativa.

La estructura del trabajo es puramente deductiva, tratando de explicar, para quienes no somos expertos, el funcionamiento de una tecnología tan innovadora como prometedora y su potencial práctico concretado en una empresa industrial de fabricación de maquinaria: Bosch Manufacturing Solutions.

PALABRAS CLAVE

Logística, blockchain, cadena de suministro, tecnología distribuida, trazabilidad, descentralización, eficiencia operativa, contratos inteligentes, innovación.

ABSTRACT

This paper studies in a general way the tasks and objectives of logistics, in order to consider the application of blockchain as a technological turning point in the integral operation of companies and their supply chains. With its advantages and disadvantages, it will try to find out whether this technology generates significant benefits in this area, not only economically, but also in terms of operational efficiency.

The structure of the paper is purely deductive, attempting to explain, for non-experts, the functioning of a technology that is as innovative as it is promising and its practical potential in an industrial machinery manufacturing company: Bosch Manufacturing Solutions.

KEY WORDS

Logistics, blockchain, supply chain, distributed technology, traceability, decentralisation, operational efficiency, smart contracts, innovation

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN	3
II. MARCO TEÓRICO	4
2.1 LOGÍSTICA	4
2.2 BLOCKCHAIN	10
2.2.1 BLOCKCHAIN EN LA EMPRESA	14
III. PROFUNDIZACIÓN: BLOCKCHAIN EN LA LOGÍSTICA Y LA SCM	17
3.1 PROCESAMIENTO DEL TRANSPORTE	19
3.2 TRAZABILIDAD	21
3.3 CONTRATOS INTELIGENTES	23
IV. ESTUDIO DE CASO: BMG-2ES	27
4.1 ROBERT BOSCH GmbH	27
4.2 ROBERT BOSCH EN ESPAÑA	28
4.3 LOGÍSTICA y SCM EN ROBERT BOSCH	30
4.3.1 LOGÍSTICA 4.0 EN BOSCH	32
4.3.2 BLOCKCHAIN EN LA LOGÍSTICA DE BOSCH	34
4.4 LOGÍSTICA Y SCM EN BMG-2ES	34
4.4.1 ENTRADA DE MATERIALES	36
4.4.2 SALIDA DE MATERIALES	38
4.4.3 WAREHOUSE MANAGEMENT	39
4.5 PROPUESTA DE APLICACIÓN DE BLOCKCHAIN EN BMG-2ES	40
4.5.1 GESTIÓN DOCUMENTAL	41
4.5.2 PROCESAMIENTO DEL TRANSPORTE	42
4.5.3 TRAZABILIDAD	43
4.5.4 PLANIFICACIÓN	44
4.5.5 ENCAJE CON LOS OBJETIVOS	45
4.5.6 PRINCIPALES DESVENTAJAS	46
V. CONCLUSIONES	47
5.1 LIMITACIONES DEL TRABAJO	49
VI. BIBLIOGRAFÍA	51

1. INTRODUCCIÓN

En la era moderna de la globalización y la digitalización, la logística y la gestión de la cadena de suministro (SCM) enfrentan constantes desafíos relacionados con la eficiencia operativa, la transparencia y la seguridad de la información. La tecnología blockchain ha surgido como una innovación disruptiva con el potencial de transformar profundamente estos sectores al ofrecer una infraestructura segura y descentralizada para el intercambio de datos y la trazabilidad de productos a lo largo de toda la cadena de suministro.

La implementación de la cadena de bloques en la logística y la SCM promete abordar numerosos problemas persistentes, como los retrasos en la entrega, la falta de transparencia en las transacciones y la dificultad para rastrear productos desde su origen hasta su destino final. A través de la creación de registros digitales inmutables y transparentes, blockchain podría revolucionar la manera en que se gestionan y optimizan las operaciones logísticas, ofreciendo nuevas oportunidades para la eficiencia y la colaboración entre los actores de la cadena de suministro.

El objetivo principal de este estudio es explorar cómo esta tecnología puede ser implementada de manera efectiva y eficiente en la logística y la gestión de la cadena de suministro y si realmente es conveniente. Los objetivos específicos incluyen, en primer lugar, analizar los fundamentos teóricos y conceptuales de la logística y la SCM y de la tecnología blockchain y su aplicabilidad. En segundo término, identificar los beneficios potenciales y los desafíos asociados con la adopción de blockchain en la gestión de la cadena de suministro. Igualmente, se planteará de manera específica la implementación de esta tecnología en una empresa industrial como BMG-2ES (Bosch Manufacturing Solutions) y apreciar sus posibles aplicaciones. Por último, se buscará obtener conclusiones en un primer estudio de la conveniencia o no de adoptar esta innovación,

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Logística

En un mercado donde la competencia cada vez es mayor, las empresas necesitan encontrar nuevas formas de destacar. Una opción es ampliar el concepto de calidad más allá del producto mismo: un pedido se puede considerar exitoso cuando el cliente dice: "Obtuve exactamente lo que quería, como lo quería. Volveré la próxima vez". Si esto se logra con un esfuerzo mínimo por parte de todos los involucrados, entonces podemos hablar de una gestión de pedidos excelente (Jeztke, S., 2014). En este sentido, la logística desempeña un papel crucial.

En el siglo XX, la logística se convirtió en un área formal de estudio e investigación. Sin embargo, en la literatura no se encuentra una definición generalizada del término ni, sobre todo, de las tareas que componen esta actividad. Tratando de agrupar ideas, podríamos decir que la logística es la disciplina holística encargada del uso y el control de los flujos de información, fondos y mercancías dentro y fuera de la propia empresa. Su misión esencial radica en garantizar la llegada oportuna de productos a su destino, bajo condiciones ideales y con una gestión eficiente. El surgimiento de estas prácticas no es un fenómeno contemporáneo. Sin embargo, la producción en masa, la globalización y la introducción de tecnologías como los teléfonos inteligentes, Internet, y los nuevos métodos para la gestión de la cadena de suministro han redefinido la industria.

El avance de la digitalización y la llegada de la era de la información, han cambiado la logística radicalmente. Se han desarrollado sistemas de gestión de almacenamiento y transporte, códigos de barras y RFID, así como sistemas en tiempo real para el seguimiento y la localización. Es por ello que podemos hablar hoy de Logística 4.0, basada en la tecnología digital, la inteligencia artificial, el Internet de las cosas (IoT) y la automatización robótica de procesos (RPA). Además, la Comisión Europea, adelantándose a su tiempo, acuñó el término Logística 5.0, para hacer referencia a aquella que intenta promover otros objetivos cruciales para el futuro del sector, como el bienestar humano, la sostenibilidad y la resiliencia. Incluso estrategias

que fortalecen el sector ante interrupciones repentinas en la cadena de suministro, como la aparición de la pandemia de Covid-19.

Así pues, en la actualidad, la logística se ha convertido en un pilar indispensable para la competitividad empresarial y el funcionamiento fluido de la economía global (Undesser, M., 2021). La aceleración de la globalización, el auge del comercio electrónico y la creciente demanda de entregas rápidas la han catapultado a un rol central en la estrategia empresarial moderna. La capacidad de gestionar de manera eficaz el flujo de bienes y la información asociada puede, hoy en día, determinar el éxito o fracaso de las organizaciones en un entorno empresarial cada vez más dinámico.

El Consejo de Profesionales en Gestión de la Cadena de Suministro (CSCMP) define la logística como “la función dentro de la gestión de la cadena de suministro que se encarga de planificar, implementar y controlar el flujo y almacenamiento de bienes, servicios e información de forma eficiente y efectiva entre el origen y el destino final, con el objetivo de satisfacer las necesidades del consumidor”.

Esta labor integral comprende, en definitiva, **cuatro procesos**:

1. Planificación de la demanda

Es crucial, para cualquier empresa, equilibrar la oferta y la demanda mediante una planificación efectiva. En palabras del legendario empresario Henry Ford, "El secreto del éxito radica en la preparación previa". La gestión logística facilita este proceso al evaluar y prever la demanda de bienes y servicios, garantizando así un flujo continuo de operaciones.

2. Almacenamiento y gestión de inventarios

En un mercado volátil, es esencial contar con sistemas de gestión de almacenes eficiente para almacenar y manipular adecuadamente los bienes. Esto optimiza la capacidad de almacenamiento, reduce costos y minimiza pérdidas por manejo inadecuado de los productos.

Además, como el final de la producción no coincide con la entrega al cliente o consumidor final, el almacén debe ser capaz de actuar como amortiguador y salvar las diferencias de tiempo entre producción y venta.

3. Gestión del transporte

La planificación eficaz del transporte asegura que los bienes lleguen a su destino final puntualmente. Esto no sólo optimiza la distribución de productos, sino también el flujo inverso de bienes, mejorando la eficiencia y la satisfacción del cliente.

4. Información y Control

La implementación de tecnologías avanzadas proporciona perspectivas basadas en datos para una gestión logística más eficiente. Estas herramientas permiten prever demandas, optimizar tiempos de transporte y tomar decisiones más rentables, asegurando una gestión fluida y transparente de la cadena de suministro.

Los objetivos principales de la logística están encaminados a la búsqueda de las conocidas como las ocho R (**The Eight R**) (Jetzke, S., 2014):

1. Los bienes correctos

Cuando una empresa se embarca en la creación o elección de un artículo, es esencial investigar y comprender las preferencias de los clientes y las tendencias del mercado para garantizar la demanda del producto y su disponibilidad. Para ello es necesario realizar estudios de mercado, analizar los datos históricos de ventas y colaborar con los proveedores para anticipar la producción a la demanda con precisión.

Utilizando técnicas como la previsión de la demanda, las empresas pueden estimar con mayor precisión las necesidades futuras de productos, reduciendo el riesgo de que se agoten las existencias o de que se produzcan situaciones de exceso de existencias.

2. La cantidad exacta

Equilibrar los niveles de existencias es esencial para satisfacer la demanda de los clientes y minimizar al mismo tiempo los costes de mantenimiento del exceso de existencias. De esta forma, técnicas como el modelo de Wilson, los principios de Just-in-time y el análisis del punto de pedido ayudan a determinar la cantidad óptima de pedido y cuándo realizarlo para mantener los niveles de inventario y la satisfacción de la demanda.

Igualmente, la previsión colaborativa con proveedores y clientes puede mejorar la precisión en la predicción de las fluctuaciones de la demanda, permitiendo una mejor planificación y gestión del inventario. Además, Siegfried & Jetzke (2014) afirman que el propósito de la logística radica en la prevención del desperdicio. Esta acción conlleva a la disminución de los gastos y al incremento de la satisfacción del cliente, lo que no sólo conlleva un aumento de los beneficios, sino también del éxito general de la empresa.

3. Las condiciones óptimas

Mantener la calidad del producto en toda la cadena de suministro, incluyendo factores como la frescura, es fundamental para la satisfacción del cliente y la reputación de la marca. La aplicación de medidas de control de calidad, como inspecciones periódicas y el cumplimiento de las normas y reglamentos del sector, garantiza que los productos cumplan unos criterios de calidad predefinidos.

Finalmente, emplear prácticas adecuadas de manipulación y almacenamiento, incluidos entornos con temperatura controlada para los productos perecederos, ayuda a preservar la integridad del producto desde la producción hasta la entrega.

4. El lugar idóneo

Unas redes de distribución eficientes y la ubicación estratégica de los almacenes o centros de distribución son esenciales para que la entrega sea puntual y las operaciones logísticas, rentables. Así, cada vez es más frecuente el empleo de técnicas como la optimización de redes y el análisis de ubicación de instalaciones puede ayudar a determinar la ubicación óptima de los centros de distribución para minimizar los costes de transporte y los plazos de entrega.

Todo ello ayudado por la implementación de tecnologías como los sistemas de gestión de almacenes (WMS) y los sistemas de gestión del transporte (TMS) optimiza las operaciones y aumenta la transparencia en toda la cadena de suministro, permitiendo un seguimiento simultáneo más efectivo.

5. El momento oportuno

La puntualidad en las entregas es, en especial con el auge del comercio por internet, un factor vital para la satisfacción y fidelidad de los clientes. Así, la aplicación de programas de transporte y entrega eficientes, respaldados por la optimización de rutas y la capacidad de seguimiento en tiempo real, facilita que los productos lleguen a su destino a tiempo.

Además, colaborar estrechamente con los socios de transporte y aprovechar las soluciones tecnológicas, como el seguimiento por GPS y las alertas de entrega, mejora la visibilidad y permite una gestión proactiva de los horarios de entrega.

6. El precio justo

Las estrategias de fijación de precios deben equilibrar la competitividad con la rentabilidad y la percepción del valor por parte del cliente. Es decir, no hablamos sólo de un precio aceptable para el cliente, sino también para la empresa en términos de coste, valor y competitividad. Para ello, es necesario llevar a cabo un análisis exhaustivo de los precios, teniendo en cuenta estos factores, la demanda del mercado y la disposición del cliente a pagar ayuda a formar estrategias óptimas de fijación de precios.

Igualmente, emplear algoritmos de precios dinámicos y estrategias promocionales puede ayudar a maximizar los ingresos y la rentabilidad sin dejar de ser competitivos en el mercado.

7. Los datos precisos

Una documentación precisa y completa es esencial para garantizar el cumplimiento de la normativa y los estándares del comercio internacional, como los Incoterms y los requisitos aduaneros; así como para superar correctamente los procesos de auditoría y las transacciones financieras.

La implantación de sistemas de documentación electrónica y capacidades EDI (intercambio electrónico de datos) agiliza el procesamiento de documentos, reduce los errores y acelera los tiempos de autorización de transacciones y registros.

8. El análisis correcto de la información

El acceso a información precisa y oportuna es esencial para tomar decisiones informadas y optimizar los procesos logísticos y empresariales en general. Así, la utilización de herramientas de análisis de datos y optimización empresarial permite analizar grandes cantidades de datos para extraer información práctica e identificar tendencias o patrones en las operaciones de la cadena de suministro. Además, mejorar el flujo de información a lo largo de la cadena de suministro es crucial para una cooperación fluida, lo que puede minimizar los riesgos causados por la asimetría de información entre proveedores y clientes. Por último, hoy en día podemos decir que la gestión logística también se encarga de preservar la integridad ética en toda la organización. Es tarea del departamento de logística supervisar y controlar cualquier conducta que pueda comprometerla.

Derivado de todo esto, podemos indicar que las cuestiones en las que hay que situar el foco son: Sobreproducción, tiempos de espera, transporte, procesamiento deficiente, existencias innecesarias, movimientos innecesarios, tiempos de preparación y daños. Es decir, en realidad, el objetivo de la logística es la realización eficiente de los pedidos de los clientes. Eficiencia, no obstante, también significa hacer las cosas más sencillas. "Sencillo" en el sentido einsteniano (Jetzke, S., 2014): "Haz las cosas lo más sencillas posible, pero no más sencillas". La logística debe contribuir a resolver dificultades, pero no puede ver ni gestionar los procesos desde todas las perspectivas. Por ello, es una disciplina fuertemente conectada con otras como la producción, el marketing o las ventas.

En cualquier caso, a la vista de lo volátil y rápidamente cambiante que es el entorno de producción, la logística ya no podrá hacer frente a los retos del futuro con una infraestructura técnica convencional. Esta es la conclusión a la que llegaron los expertos del Fraunhofer IML (Instituto de Flujo de Materiales y Logística), cuando se reunieron para debatir el destino de la logística en el marco de la cuarta revolución industrial.

Hasta ahora, la planificación se ha basado en considerar los riesgos potenciales desde el inicio del ciclo de vida del sistema logístico, que generalmente abarca varios

años. Se trataba de calcular el rendimiento límite para simular la capacidad máxima que los diferentes componentes del sistema podrían ofrecer en funcionamiento. A pesar de que estos cálculos están muy enfocados a los objetivos, son muy limitados en lo que a su adaptación a entornos cambiantes se refiere. Por ejemplo, la demanda individual de los clientes, en lugar de pedidos masivos.

Por ello, el futuro implica romper con las estructuras rígidas y preestablecidas, y adoptar la visión de las nuevas tecnologías, donde el espacio logístico ideal está vacío y se adapta a las necesidades en tiempo real. En definitiva, el futuro se encuentra en los sistemas ciberfísicos, que constan de módulos autónomos y descentralizados que pueden actuar de manera independiente. Así lo defienden autores como Michael Henke o Michael ten Hompel (Henke & Ten Hompel, 2014); que hablan de la reorganización radical de la logística, adaptándose continuamente a un entorno de producción y comercio cada vez más inestable. Igualmente, señalan que, en el ámbito de la cadena de suministro, la integración en la nube podrá proporcionar beneficios adicionales en términos de almacenamiento de datos y toma de decisiones.

En conclusión, los enormes avances en tecnologías de la información y la comunicación han impregnado todos los ámbitos de la vida, creando también retos técnicos para la logística y la gestión de la cadena de suministro. La interconexión digital de objetos, la descentralización, el autocontrol... podrían permitir progresos como el seguimiento digital de medios de transporte y el acceso a datos del vehículo en tiempo real, datos sobre el flujo de tráfico... Todos ellos elementos que, en definitiva, revolucionan y elevan el proceso logístico a niveles de eficiencia sin precedentes.

2.2 Blockchain

Desde que la criptomoneda Bitcoin se ha popularizado, la tecnología subyacente, conocida como blockchain, ha recibido una atención significativa. Diversos sectores como la industria, la ciencia, la política e incluso la gestión pública han estado profundamente involucrados en su estudio, buscando impulsar su desarrollo y adopción. En los últimos años, se han formulado diversas conceptualizaciones sobre su aplicación, resultando en la creación de numerosas aplicaciones para distintos ámbitos.

Tanto es así que, desde hace tiempo, se está construyendo una infraestructura blockchain a nivel europeo: la European Blockchain Partnership. Esta iniciativa reúne a cerca de treinta países europeos y la Comisión de la Unión Europea. Su objetivo principal es facilitar operaciones transfronterizas y servicios digitales administrativos de manera eficiente y segura. Tales avances muestran que la tecnología blockchain tiene un potencial mucho mayor que la creación y gestión de criptomonedas.

Introducida por primera vez en el artículo "Bitcoin: A Peer-to-peer Electronic Cash System" de Satoshi Nakamoto, la **blockchain** es lo que se denomina una Tecnología de Registro Distribuido (DLT: Distributed Ledger Technology). Éstas son estructuras de base de datos que permiten la verificación y el almacenamiento de datos de manera sincronizada en redes peer-to-peer (de igual a igual), donde no hay un ente administrador superior ni un almacén centralizado de datos (Bundesagentur, 2021). La blockchain es una DLT utilizada para almacenar registros de transacciones digitales de manera segura y transparente.

Las **transacciones**, en este ámbito, son intercambios de activos digitales entre participantes de la red. Cada una incluye información relevante, como la cantidad de activos transferidos, las direcciones de las partes involucradas (llamadas "direcciones de billetera"), una marca de tiempo y una firma digital (Bundesagentur, 2021). Estas transacciones se registran en bloques y se agregan de manera secuencial en cadena, creando un historial. Es decir, la blockchain funciona como un libro mayor público y descentralizado que registra todas las transacciones dentro de una red. Su característica principal es la capacidad para crear un registro inmutable y transparente de transacciones, lo que implica que, una vez que una nueva se incorpora a la cadena de bloques, no se puede alterar sin el consenso de la mayoría de los participantes de la red.

Las blockchains se fundamentan en dos conceptos básicos de criptografía: la criptografía de clave pública, que se utiliza para las firmas digitales, y las funciones hash criptográficas (Di Pierro, M., 2017).

En la criptografía de **clave pública**, un algoritmo genera un par de claves matemáticamente vinculadas: una pública y una privada. Estas claves se utilizan para crear una firma digital. En este proceso, el remitente firma o encripta un mensaje con

su clave privada, que sólo él conoce, y envía el mensaje firmado al destinatario. Este último puede verificar la autenticidad del mensaje al comprobarlo con la clave pública del remitente, pero no alterarlo, al desconocer la privada.

El **hash** es una función criptográfica que convierte datos de entrada (como una transacción o bloque) en una cadena de caracteres alfanuméricos de longitud fija. Esta cadena, conocida como hash, será un número de 256 bits único para cada conjunto de datos de entrada y se utiliza para garantizar la integridad de la información de la cadena, puesto que identifican cada transacción y cada bloque.

Los **bloques** son unidades de datos encadenados en un orden cronológico comprensible. Cada uno consta de un índice (un número la posición del bloque en la cadena), una marca de tiempo, una referencia al hash del bloque anterior, el hash derivado del bloque en sí, un conjunto de transacciones y el nonce (que explicaremos más adelante). La secuencia de hashes vinculados crea una cadena segura e interdependiente: la cadena de bloques.

Por tanto, se puede considerar la blockchain como una tabla (Di Piero, M., 2017) en la que cada fila representa una transacción, y hay tres columnas: La primera almacena la marca de tiempo de la transacción, la segunda los detalles de la misma; y la tercera el hash de la transacción actual más el de la anterior. Cuando se añade un nuevo bloque a una cadena, el último hash calculado se comunica a todas las partes involucradas. No es necesario que todas mantengan una copia completa del historial de transacciones. Sin embargo, todas tendrán conocimiento del último hash, lo que permite que cualquiera pueda verificar la integridad de los datos. Cualquier intento de alterar los datos resultaría en un hash diferente y, por tanto, inválido.

Los participantes en la blockchain son conocidos como "**nodos**": ordenadores o dispositivos que se comunican entre sí para verificar y confirmar las transacciones entrantes (Bundesagentur, 2021). Existen nodos de red pasiva, que únicamente tienen la capacidad de aceptar, verificar y reenviar transacciones; y nodos de red minera que, además, pueden garantizar que una transacción esté incluida en la cadena de bloques. Estas transacciones son encadenadas de forma criptográfica de manera inmutable y luego almacenadas de manera distribuida. Por tanto, la blockchain se convierte en un

"mecanismo de confianza distribuida", ya que varias partes mantienen un registro de transacciones y cada una puede verificar su orden y sus marcas de tiempo.

Por ejemplo, en la red Bitcoin, no hay cuentas bancarias ni saldos de cuenta como en los sistemas financieros tradicionales. En cambio, existe una lista pública de todas las transacciones realizadas con Bitcoin hasta la fecha, conocida como la blockchain de Bitcoin. Los bitcoins en sí mismos son referencias a transacciones anteriores. En lugar de tener cuentas, los bitcoins se transfieren a direcciones que son representaciones criptográficas de claves públicas. Esto significa que solo la persona que posee la clave privada correspondiente puede acceder y utilizar los fondos asociados a esa dirección. Dependiendo de los parámetros específicos de la red, una transacción puede ser verificada instantáneamente o transcrita en un registro seguro, colocándose en una "cola" de transacciones pendientes de validación por los nodos.

Además, existen unas reglas y procedimientos que definen cómo los participantes de una red blockchain llegan a un acuerdo sobre el estado de la misma: el **protocolo de consenso**. En él, se establece cómo se validan y agregan nuevos bloques a la cadena, así como cómo se resuelven los conflictos y se garantiza la seguridad y la integridad de la red. De esta manera, la tecnología blockchain permite la gestión segura de un registro compartido con diferentes configuraciones, en el que dos partes pueden intercambiar datos como dinero, contratos, escrituras, registros médicos, datos de clientes, o cualquier otro activo digital.

Cada bloque debe ser validado antes de ser integrado en la cadena. Esta es, quizá, una de las mayores innovaciones de la cadena de bloques. El mecanismo de consenso más utilizado es: la "**prueba de trabajo**" (PoW). Los mineros (nodos de red minera) buscan la solución a un rompecabezas matemático derivado del encabezado del bloque y que, al combinarse con otros datos del mismo, produzca un hash que cumpla con los requisitos del protocolo de consenso, como tener un número específico de ceros al principio. Este número arbitrario se conoce como **nonce** ("number used just once"). (Shekhar, S., 2018)

Este proceso implica realizar cálculos repetitivos y consumir una cantidad significativa de poder computacional, por lo que las respuestas correctas son difíciles de

falsificar: deben demostrar que se ha invertido una cantidad suficiente de potencia informática para ser halladas. Si un minero malintencionado intenta enviar un bloque alterado a la cadena, la función hash de ese bloque y de todos los bloques subsiguientes cambiaría. Los otros nodos detectarían estos cambios y rechazarían el bloque de la cadena mayoritaria, evitando así cualquier intento de corrupción.

Otro mecanismo destacado es la “**prueba de autoridad**”, en la que se establece un acuerdo entre un grupo limitado de participantes con autorización. Cuando un bloque es validado, éste se distribuye a través de la red. Cada nodo agrega el bloque a la cadena mayoritaria, la cual permanece inmutable y completamente auditable en la red.

2.2.1 Blockchain en la empresa

La estructura y funcionamiento de la tecnología de cadena de bloques presenta varias características de contraste con una base de datos electrónica tradicional o un sistema de contabilidad convencional (Parrondo, L., 2018; Schlatt, V., 2016):

1. Descentralización

La mayoría de las innovaciones en esta tecnología se fundamentan en un principio básico: la descentralización. Aunque varios expertos argumentan que la descentralización no es en sí misma una ventaja, sino más bien la causa de otras ventajas, es innegable que esta característica conduce a una mayor transparencia en el seguimiento de transacciones o movimientos.

La descentralización hace que la red sea entre iguales (P2P): una red de ordenadores que trabajan conjuntamente a nivel global para mantener una blockchain segura, correcta y coherente. Cada participante comparte un mismo conjunto de datos, lo que garantiza que todos dispongan de la información real. Cualquier modificación se propaga instantáneamente a todos los participantes. Sin embargo, este modelo no se aplica cuando las transacciones se registran en papel u otros sistemas locales centralizados. Esta mejora en la transparencia no compromete la privacidad, ya que los datos pueden ser compartidos solo con titulares de acceso autorizado mediante el uso

de cadenas de bloques privadas o consorciadas, respaldadas por técnicas de criptografía.

Por lo tanto, una cadena de bloques correctamente configurada es tanto **transparente** como **privada**, al menos en igual medida que una base de datos tradicional. Además, la descentralización del almacenamiento de datos fortalece la seguridad del sistema al hacerlo más resistente a los ataques y al proporcionar redundancia en el almacenamiento de datos.

2. Consenso

El registro de transacciones sólo puede actualizarse mediante acuerdo general. La forma de alcanzar este acuerdo, como se ha observado, varía según el "protocolo" o método de validación que rige la cadena en consideración. Por ejemplo, en el caso más común, la prueba de trabajo, el acuerdo se lograría mediante el consentimiento de la mayoría de los nodos de la red. En este contexto, el tamaño de la red afecta directamente la solidez del acuerdo. Atacar la red de Bitcoin requeriría un poder informático tan vasto que sería prácticamente inviable. Por tanto, la **seguridad** de la cadena de bloques constituye una ventaja adicional significativa. Sin embargo, las redes más pequeñas serán menos seguras.

3. Inmutabilidad

La característica de inalterabilidad que proporciona blockchain resulta especialmente beneficiosa en temas relacionados con la propiedad y la identidad. Esto **elimina la necesidad de confiar** en socios o intermediarios, ya que la incapacidad de modificar los datos en la cadena permite a los participantes verificar cada transacción y los datos pertinentes de manera autónoma.

4. Trazabilidad

El registro de transacciones también conlleva una mejora significativa en la capacidad de seguimiento, ya que está constantemente accesible gracias a la tecnología blockchain. Por lo tanto, puede emplearse para seguir la procedencia de los productos y autenticar su legitimidad, o para asegurar que las transferencias de bienes entre

múltiples partes hayan ocurrido. La disponibilidad de datos históricos de transacciones transparentes y fiables contribuye a **mitigar posibles casos de fraude**.

5. Eficiencia

Si la tecnología blockchain se emplea para sustituir procedimientos basados en papel, puede generar considerables mejoras en la eficiencia y la velocidad. La presencia de un único registro y la ausencia de copias locales desactualizadas pueden acelerar significativamente los procesos. Cada participante puede verificar los datos sin necesidad de conciliación, lo que reduce los tiempos de confirmación. Asimismo, la validación instantánea disminuye el riesgo de errores humanos.

En resumen, el uso de esta tecnología no solo puede hacer que las transacciones sean más seguras, sino también más **rápidas**, sin comprometer la **integridad** de la documentación asociada. Estas ventajas pueden llevar, en última instancia, a uno de los aspectos más significativos para las empresas: la disminución de los gastos. La tecnología de cadena de bloques puede proporcionar una reducción en las tareas administrativas, la reconciliación de datos entre diferentes registros, la verificación de transacciones, la eliminación de intermediarios, la mitigación del riesgo de errores humanos y la interrupción del flujo de datos; al mismo tiempo que mejora la eficiencia y la calidad del proceso.

2.2.1.1 El internet de las cosas

El concepto de Internet de las Cosas (IoT) implica la integración de dispositivos electrónicos en objetos cotidianos, permitiéndoles intercambiar datos a través de la red. Este avance presenta desafíos en cuanto a su gestión dentro de la infraestructura actual de internet, dada la cantidad masiva de dispositivos y datos potencialmente involucrados. Para abordar esta problemática, se plantea el uso del registro blockchain como una solución viable. Así, la tecnología de Internet de las Cosas (IoT) desplegada en la cadena de suministro posibilita la transmisión instantánea de datos acerca del estado de cada componente del sistema, independientemente de su ubicación geográfica. (Sánchez, V., 2021)

Podemos destacar, esencialmente, dos tipos de IoT:

1. Tecnologías que permiten a los objetos adquirir información contextual. Esto implica recopilar datos de objetos conectados y enviarlos a un repositorio de datos para análisis y acción. Los sensores pueden ser simples o inteligentes, detectando una variedad de propiedades físicas; o actuadores.

Así, los sensores inteligentes se adaptan a las condiciones ambientales y activan sistemas complejos cuando es necesario. En cambio, los actuadores trabajan convirtiendo la energía en movimiento, para llevar a cabo acciones físicas o mecánicas en respuesta a los datos recopilados por los sensores. Por ejemplo, en vehículos, miden el flujo de aire a través del motor.

2. Tecnologías que permiten a los dispositivos procesar información contextual. Éstas incluyen tanto hardware como software. El hardware, como procesadores y microcontroladores, actúa como el "cerebro" de los dispositivos, mientras que el software proporciona la capacidad de cálculo y control. Las tecnologías de procesamiento de información contextual van más allá de la mera recogida de datos, al analizarlos y utilizarlos para realizar acciones específicas, tomar decisiones o proporcionar inteligencia útil.

3. PROFUNDIZACIÓN: BLOCKCHAIN EN LA LOGÍSTICA Y LA SCM

En los últimos tiempos, han surgido aplicaciones de la tecnología blockchain que van más allá de su función inicial en el contexto de las criptomonedas. Aunque algunas áreas se encuentran aún en desarrollo, el potencial que ofrecen es considerable, especialmente en sectores empresariales donde la privacidad y la seguridad son de vital importancia. En este trabajo, consideramos que la logística y la gestión de la cadena de suministro son áreas en las que la blockchain se integra bien por varias razones (Hackius, N., 2017):

1. La administración de las cadenas de suministro contemporáneas, que involucra todos los aspectos desde la producción hasta la distribución de bienes, se enfrenta a una complejidad notable. Desde la fabricación hasta la entrega, con numerosas

etapas intermedias, la cadena de suministro puede abarcar cientos de procesos, ubicaciones geográficas diversas (a menudo internacionales), una variedad de transacciones financieras y la participación de múltiples partes interesadas durante períodos que pueden extenderse a lo largo de meses.

2. Dada la complejidad y la falta de transparencia que caracterizan a las cadenas de suministro actuales ha surgido un interés creciente en el potencial de la tecnología Blockchain para transformar tanto la gestión de la cadena de suministro como la industria logística en su conjunto. En este contexto, y teniendo en cuenta las características únicas de la tecnología Blockchain hasta la fecha, se pueden identificar varias aplicaciones principales en esta industria.
3. A lo largo del ciclo de vida de un producto, los datos generados en cada etapa pueden registrarse como transacciones, creando un historial permanente del producto (Guido, S., 2018). La tecnología blockchain puede contribuir eficazmente a:
 - a. Registrar cada activo a medida que fluye a través de los puntos de la cadena de suministro.
 - b. Rastrear pedidos, recibos, facturas, pagos y otros documentos oficiales.
 - c. Rastrear activos digitales (garantías, certificaciones, derechos de autor, licencias, números de serie, etc.) de manera unificada y paralela con activos físicos.
4. Además, su naturaleza descentralizada permite compartir información sobre el proceso de producción, entrega, mantenimiento y desgaste de productos entre proveedores y vendedores, facilitando nuevas formas de colaboración en líneas complejas.

Derivado de estas ventajas, pueden existir una serie de desafíos logísticos, como retrasos en la entrega, pérdida de documentación, origen desconocido de los productos y errores, pueden minimizarse o evitarse mediante la implementación de la tecnología blockchain. Existen tres aplicaciones principales de la tecnología blockchain al área logística que vamos a ver a continuación.

3.1 Procesamiento del transporte

La tecnología blockchain ofrece una plataforma segura y descentralizada para almacenar una amplia gama de identidades digitales, que van desde individuos y organizaciones hasta activos, títulos y derechos de voto. En esencia, permite la representación y gestión confiable de cualquier tipo de información digitalizable, así como la ejecución de transacciones entre partes sin intermediarios.

El transporte de carga, especialmente a nivel internacional, involucra una serie extensa de trámites y procedimientos. Por ejemplo, enviar productos refrigerados desde África Oriental a Europa requiere la aprobación de aproximadamente 30 instituciones y organizaciones, que deben coordinarse en más de 200 ocasiones (Hackius, N., 2017). Además, documentos como el conocimiento de embarque o la prueba de entrega pueden ser susceptibles de pérdida, manipulación, fraude... De acuerdo con los datos proporcionados en los sitios web oficiales de DHL, aproximadamente el 10% de los documentos de embarque presentan información errónea, lo que podría desencadenar controversias legales.

Para hacer frente a estas ineficiencias y digitalizar los registros en papel, empresas como IBM y Maersk, por ejemplo, colaboraron en el desarrollo de una aplicación basada en blockchain (Delmás, E., 2018). Esta solución permitía conectar la amplia red global de transportistas, puertos y aduanas, proporcionando a cada parte involucrada la capacidad de acceder a información completa sobre el estado de la carga en cuestión. Esta iniciativa, conocida como TradeLens, fue anunciada como concluida a finales de 2022. Sin embargo, las empresas impulsoras señalaron que, a pesar de haber desarrollado una plataforma viable, no lograron obtener la colaboración global necesaria de la industria para que fuera comercialmente viable. Por lo tanto, continúan trabajando en mejorarla para lanzarla de nuevo.

De acuerdo con el análisis del Foro Económico Mundial, la eliminación de obstáculos en la cadena de suministro a escala global podría generar un incremento del 5% en el Producto Interno Bruto (PIB) mundial. No obstante, existen una serie de **ventajas** que no deben pasarse por alto para el uso de la tecnología blockchain en este sentido:

1. La digitalización de los registros **mejora la eficiencia** logística.
Esto agiliza los procesos de trámites aduaneros y de documentación, permite identificar con mayor facilidad los problemas o errores de procesamiento y abre la posibilidad de colaborar sin confianza, eliminando la necesidad de intermediarios. Todos los participantes tendrían acceso a un libro mayor distribuido, lo que garantiza un intercambio de información seguro.
2. La adopción de soluciones digitales como TradeLens permite la **trazabilidad** completa de los bienes en tiempo real, lo que aumenta la transparencia y reduce la posibilidad de fraudes documentales o robos de carga. En definitiva, aumenta la seguridad.
3. Se reducen los **costes** operativos.
Al minimizar la cantidad de trámites manuales y el riesgo de errores asociados, se puede reducir significativamente el coste total de los procesos logísticos. Esto puede traducirse en mayor competitividad en el mercado.
4. Se optimiza la **gestión de inventario**.
La visibilidad en tiempo real del estado de los contenedores permite una mejor planificación de inventario y una gestión más eficiente de la cadena de suministro, lo que ayuda también a minimizar costes de almacenamiento y evitar la obsolescencia de productos.
5. Se facilita el **comercio internacional**.
Al simplificar los procedimientos, se fomenta el comercio internacional y se puede impulsar el crecimiento económico y el desarrollo global.
6. Además, permite y fomenta el ejercicio de prácticas más **sostenibles**.
Se elimina el papel y la información puede ser pública e instantáneamente accesible al respecto de la empresa.
7. Por último, permite utilizar mecanismos de privacidad, lo que permitiría facilitar la gestión de la protección de datos y organizar licitaciones donde las empresas participantes no necesiten revelar su identidad al presentar sus ofertas.

En resumen, a pesar de los desafíos asociados con los trámites aduaneros en el transporte de mercancías, la adopción de soluciones digitales y tecnológicas ofrece una serie de ventajas significativas que pueden mejorar la eficiencia, la seguridad y la rentabilidad de las operaciones logísticas a nivel internacional. Además, la utilización de blockchain implicaría la generación de un registro de información que puede ser utilizado como una fuente de datos para análisis de Big Data, facilitando las labores de mejora continua de la gestión logística empresarial, aprendiendo del historial.

3.2 Trazabilidad

En caso de que ocurra un brote de enfermedades transmitidas por alimentos, los minoristas enfrentan serias dificultades para determinar el origen de los ingredientes perjudiciales y a qué tiendas se distribuyeron. Actualmente, el proceso de rastreo puede llevar semanas y la recuperación de la confianza del consumidor aún más tiempo.

Para abordar este problema, la tecnología blockchain facilita un registro inmutable y permanente de transacciones vinculadas entre sí; de manera que:

1. Permite a los consumidores y partes interesadas verificar la **autenticidad** y procedencia de un producto, ya que pueden rastrear su historial desde su origen hasta su destino final.

La autenticidad de artículos de gran valor se ve comprometida debido a certificados en papel que pueden extraviarse o ser alterados fácilmente, dificultando la identificación de productos genuinos en industrias como la joyería, el vino y los bolsos.

Empresas como Everledger están abordando este desafío mediante el desarrollo de registros en blockchain, una tecnología que ofrece registros digitales inmutables y transparentes. Esto permite un seguimiento detallado desde la fabricación hasta la venta final, dificultando la falsificación. (Hackius, N., 2017)

En el ámbito médico, donde los medicamentos falsificados representan un grave problema, la implementación de blockchain puede introducir transparencia en la cadena de suministro, protegiendo a los pacientes y dificultando la manipulación y el fraude en productos de origen ilegal.

2. Permite rastrear la procedencia de los bienes y garantizar su seguridad y calidad, facilitando la **identificación rápida** de productos contaminados, por ejemplo, en caso de brotes de enfermedades alimentarias. Igualmente, podría facilitar el control de fechas de caducidad al consumidor.
3. Fomenta **prácticas sostenibles** y éticas al facilitar la verificación de que los productos se producen de manera responsable desde el origen y respetando ciertos estándares ambientales y sociales.
4. Permite **identificar problemas** más rápidamente, al ofrecer información en tiempo real.
5. Facilita el proceso **sin intermediarios**, ya que no es necesaria la confianza interpartes.

En la actualidad, no obstante, la noción de trazabilidad va más allá de la mera ubicación, implicando un **seguimiento exhaustivo** del producto que abarca sus condiciones en tiempo real, como la humedad, la temperatura o el movimiento. Con la ayuda de sensores y dispositivos IoT, los objetos pueden recopilar datos de su entorno, como temperatura, ubicación, estado de funcionamiento, entre otros, de manera automática y en tiempo real. Estos datos pueden ser almacenados localmente en el dispositivo o transmitidos a través de una red.

La tecnología blockchain proporciona un mecanismo seguro y descentralizado para almacenar y gestionar estos datos. Los dispositivos IoT pueden estar equipados con capacidades para interactuar directamente con una red blockchain, permitiendo que los datos recopilados se registren como transacciones en la cadena de bloques. Por ejemplo, en el caso de un sensor de temperatura instalado en un almacén, el dispositivo IoT puede recopilar datos de temperatura y registrar automáticamente estas lecturas como transacciones en una cadena de bloques. Cada vez que se detecta un cambio en la temperatura, se puede generar una nueva transacción en la cadena de bloques, creando así un registro inmutable y transparente de todas las lecturas de temperatura a lo largo del tiempo.

La integración de IoT con blockchain ofrece varios beneficios, como la eliminación de intermediarios, la reducción de costos de transacción, la mejora de la seguridad y la integridad de los datos, y la creación de un historial transparente y verificable de eventos. Por su parte, Blockchain ofrece su base de datos inmutable, descentralizada, transparente, segura y fiable.

Como consecuencia de ello, empresas como Walmart e IBM han colaborado en la creación de un sistema de seguimiento de productos a gran escala basado en blockchain (Delmás, E., 2018). Esta tecnología permite el seguimiento de los movimientos de los productos de manera más eficiente. En contraste con métodos anteriores que dependían de códigos de barras o tecnologías de identificación automática, que requerían bases de datos centralizadas y una relación de confianza entre los participantes, esta plataforma compartida representa una mejora sustancial. En los primeros ensayos, datos como el origen de los productos, números de lote, información de fábrica, procesamiento, fechas de vencimiento y detalles de envío se registraron en blockchain y estuvieron disponibles instantáneamente para todos los miembros de la red. Esta información sería crucial en caso de problemas como un brote de enfermedad alimentaria, permitiendo a las empresas rastrear el origen en cuestión de segundos.

Finalmente, el blockchain también podría contribuir a **reducir el desperdicio** de alimentos al utilizar datos recientes sobre la vida útil como parámetros para optimizar la cadena de suministro. (Hackius, N., 2017)

3.3 Contratos inteligentes

Una de las aplicaciones más destacadas de la tecnología blockchain es la introducción de los denominados "contratos inteligentes" (*smart contracts*). Estos contratos permiten la ejecución automatizada basada en la blockchain de relaciones condicionales. Por ejemplo, "si se han recibido los bienes, páguese el importe de la factura". (Gateschi, V., 2018)

En 1996, Nick Szabo (*Smart Contracts: Building Blocks for Digital Free Markets*, Extropy Journal of Transhuman Thought, 16) introdujo el concepto y lo definió como un protocolo de transacción basado en ordenador, que implementa los términos de un contrato. Los smart contracts deben entenderse como programas informáticos que pueden tomar decisiones si se cumplen determinadas condiciones.

Para hacerlo, el contrato puede utilizar información externa como entrada, que luego desencadena una acción específica basada en reglas definidas en el contrato. Se crean los scripts correspondientes con los detalles del contrato para este propósito en una dirección específica en la cadena de bloques. Si ocurre el evento externo especificado, se envía una transacción a la dirección, tras lo cual los términos del contrato se ejecutan. En términos simples, las partes involucradas pueden especificar las condiciones de sus transacciones a través de la interfaz de usuario correspondiente de la blockchain, como una aplicación.

Los contratos inteligentes automatizan las interacciones humanas haciendo cumplir y ejecutando, verificando e inhibiendo contratos a través de algoritmos. Por tanto, las posibles aplicaciones son muy amplias. Por ejemplo, en el caso de la venta de un bien entre particulares, un contrato inteligente permitiría establecer las condiciones acordadas y activar la transferencia de la propiedad de manera automática y segura, sin intermediarios ni confianza e, incluso, sin contacto entre las partes.

Todas las interacciones con el sistema blockchain, como realizar pagos, intercambiar la llave digital o abrir y cerrar una cerradura inteligente, pueden realizarse por el inquilino y el propietario mediante un teléfono inteligente. Los recibos de pago, la distribución y gestión de autorizaciones, así como el reembolso de depósitos, se realizan de forma transparente, segura e inalterable a través de blockchain.

Las principales **oportunidades** serían (Casado-Vara, R. 2019):

1. Los contratos inteligentes permiten la **automatización** de procesos.
Esto elimina la necesidad de intermediarios y de realizar tareas repetitivas (aumentando la eficiencia) y reduce el riesgo de error humano.

2. La ejecución del contrato puede depender directamente de un **evento externo** definido.
3. Toda la información relacionada con el contrato inteligente es **transparente** y accesible a las partes, lo que elimina la necesidad de confianza inter-partes.
4. La descentralización y el cifrado de la tecnología blockchain aportan **seguridad** al contrato frente a fraudes de todo tipo.
5. Una vez ejecutado el contrato, la información registrada en la blockchain es inmutable, lo que garantiza su integridad y facilita su auditabilidad.
6. Los **costes se reducen** notablemente, ya que no necesitan intermediarios ni cumplimiento manual y la estandarización es sencilla.
7. La ejecución es automática y en tiempo real, cuando se cumplen las condiciones preestablecidas. Por ello, el proceso es más rápido, las partes reciben lo que han contratado al mismo tiempo y se reducen los conflictos entre ellas.
8. Se **eliminan las barreras geográficas**, al ser contratos accesibles a través de internet y, por tanto, los contratos pueden ser utilizados por cualquier persona en cualquier lugar y requieren interacción mínima entre las partes.
9. La tecnología blockchain permite una **adaptabilidad** en escala fácil y eficiente, lo que significa que los contratos inteligentes pueden manejar grandes volúmenes de transacciones sin problemas.

Por otro lado, existen algunas **desventajas** que cabe destacar tres:

1. La **implementación es compleja** y requiere conocimientos especializados en tecnología blockchain y programación, para lo que actualmente existe escasez de trabajadores cualificados.
2. Existe mucha **inseguridad jurídica**.
Se plantean múltiples dudas, especialmente sobre la aplicación del derecho contractual convencional y las normas de protección del consumidor. Además,

dan lugar a problemas de responsabilidad, en tanto que el contrato es ejecutado por un ordenador directamente.

3. La implementación de estos contratos y la infraestructura blockchain pueden requerir **inversiones significativas** en tiempo, dinero y recursos.

Una de las primeras start-up que implementó contratos inteligentes en la gestión logística fue ShipChain. ShipChain ha desarrollado un sistema basado en tecnología blockchain para rastrear mercancías desde su origen en la fábrica hasta su entrega al cliente final en el destino. La automatización de este proceso se apoya en una moneda digital conocida como "tokens SHIP". Los participantes en la plataforma de ShipChain adquieren estos tokens para abonar la carga y las transacciones realizadas a través de la plataforma. Este enfoque empresarial asegura la inmutabilidad de los datos y las transacciones, facilitando el intercambio de información y aumentando significativamente la transparencia del proceso. (Delmás, E., 2018)

Cuando la ejecución de un contrato inteligente depende de un evento externo a la cadena de bloques o se quiere acceder a esa plena visibilidad de la mercancía, la información necesaria para dicha ejecución debe ser introducida en la cadena de bloques desde una fuente externa de información. Cada "enlace" entre estas fuentes y los contratos inteligentes se denomina "**oráculo**".

Un ejemplo ilustrativo sería un termómetro utilizado para verificar el cumplimiento de la cadena de frío durante el transporte de mercancías. En el contrato inteligente correspondiente, podría especificarse que el pago de la mercancía se realice automáticamente al llegar al destinatario (confirmado mediante una entrada en la cadena de bloques) sólo si el termómetro registra una temperatura determinada en intervalos regulares, garantizando que no se haya superado en ningún momento durante el transporte. Así, los oráculos facilitan la conexión entre las transacciones en la cadena de bloques y la ocurrencia de condiciones y eventos del mundo real.

En resumen, la adopción de un enfoque centrado en el desarrollo de procesos comerciales que garantizan mejoras en el proceso de transporte, una trazabilidad completa y la automatización de contratos se alinea perfectamente con los pilares

esenciales de la logística moderna. Esta integración no sólo asegura una gestión eficiente de la cadena de suministro, sino que también se traduce en un cumplimiento más efectivo de los principios de las "8 Rs". Al fomentar la transparencia y la trazabilidad en cada etapa de la cadena de valor, se optimiza el uso de recursos, se minimiza el desperdicio y se potencia la sostenibilidad, generando un impacto positivo tanto en el rendimiento económico como en el medio ambiente.

Estas mejoras teóricas pueden observarse de manera tangible a través del estudio de casos específicos. En este contexto, a continuación, se explorará cómo la implementación de esta tecnología podría optimizar la cadena de suministro de Bosch, desde la gestión de proveedores hasta la entrega final de productos, destacando los beneficios concretos y los desafíos potenciales que podrían surgir durante este proceso de transformación digital.

4. ESTUDIO DE CASO: BMG-2ES

Robert Bosch GmbH es una empresa líder mundial en tecnología y servicios, que opera en España a través de su filial Robert Bosch España S.L.U. Bajo esta entidad, se encuentra Robert Bosch España Fábrica Madrid, una instalación dedicada a la producción y desarrollo de componentes y sistemas tecnológicos, en cuyo marco se encuentra BMG-2ES, una unidad especializada en líneas de montaje industrial.

4.1 Robert Bosch GmbH

Robert Bosch GmbH es una empresa multinacional de origen alemán fundada en 1886 por Robert Bosch en Stuttgart, Alemania. Desde sus inicios, la compañía ha destacado por su compromiso con la innovación y la calidad, y con el bienestar de sus trabajadores, lo que la ha llevado a convertirse en uno de los principales referentes en la industria tecnológica y automotriz a nivel mundial. Bosch tiene su sede central en Gerlingen, Alemania y posee una extensa red de filiales y plantas de producción en más de 60 países alrededor del mundo (Alemania, EEUU, China, India, Brasil, México, España, Tailandia...) (Robert Bosch GmbH, 2023), lo que le permite brindar sus productos y servicios a clientes de diversas regiones.

Al cierre del año 2023, el Grupo Bosch contaba con más de 429.000 empleados y unos ingresos por ventas de 91.600 millones de euros anuales (Robert Bosch GmbH, 2023), distribuidos en cuatro sectores comerciales principales: Movilidad, Tecnología Industrial, Bienes de Consumo, y Energía y Tecnología de la Construcción.

Las operaciones del grupo se ven influenciadas por tendencias globales, tales como el crecimiento de la electrificación, el aumento de la automatización, la digitalización, la inteligencia artificial y la conectividad, así como la creciente importancia de la sostenibilidad, especialmente en relación con la acción climática. Además, la empresa ha recibido numerosos reconocimientos y premios por su innovación, calidad y ética empresarial, por su cultura corporativa basada en valores como la integridad, la diversidad, el trabajo en equipo y el respeto hacia sus empleados y clientes.

4.2 Robert Bosch en España

Bosch inició su presencia en el mercado español en 1908 al conceder la representación de sus productos del sector automotriz a la empresa Hermanos Xaudaró en Barcelona, marcando el comienzo de su expansión global. A lo largo de los años, se llevaron a cabo diversas fusiones importantes, incluyendo Electro Diesel S.A., Constructora Eléctrica Española S.A. y FEMSA. Como resultado, en 1990 se formó la empresa conjunta Robert Bosch S.A., que hoy en día se conoce como Robert Bosch España S.L.U.

Además, desde 1984, Bosch y Siemens Electrodomésticos tienen presencia en Madrid. Pocos años más tarde, BSH adquirió una participación mayoritaria en los fabricantes españoles Balay y Safel, consolidando así su posición también en el mercado de electrodomésticos. Hoy en día, Bosch emplea en España a alrededor de 8.400 personas en 14 emplazamientos y registra ingresos de, aproximadamente, 2.448 millones de euros (Robert Bosch GmbH, 2023). La empresa opera en todos los sectores tradicionales, así como en proyectos relacionados con hogares inteligentes, movilidad conectada y agricultura inteligente.

Dentro de los emplazamientos en España, nos vamos a centrar principalmente en la instalación de Robert Bosch España Fábrica Madrid S.A.U., conocida dentro del grupo como "RBEM", está ubicada en la Calle de los Hermanos García Noblejas, 19, en Madrid. Esta fábrica es parte integral de la red global de fabricación de la división de "*Automotive Electronics*" dentro del área empresarial de movilidad. (Robert Bosch España S.L.U., 2023)

Entre sus diversos productos, RBEM fabrica sensores para sistemas de airbag y de asistencia para estacionamiento, así como unidades de control para aplicaciones industriales en sectores como la hidráulica móvil, accionamientos de transporte, maquinaria agrícola y de construcción. Hasta el momento, el único accionista de RBEM es Robert Bosch España S.L.U.

RBEM también incluye el área de negocio de BMG-2ES (BMG, en España). BMG (Bosch Manufacturing Solutions) se encarga de proporcionar soluciones completas para la fabricación e instalación de máquinas especiales y líneas de montaje. Estos servicios están dirigidos principalmente a las entidades dentro del grupo Bosch, tanto en España como en otros países, aunque también se ofrecen al mercado externo. Además, BMG ofrece una gama de servicios complementarios a sus clientes, como ingeniería simultánea, optimización de líneas de producción, reutilización de inversiones para nuevas generaciones de productos, sistemas de control de producción y capacitación, entre otros.

BMG es, por lo tanto, una empresa con secuencia operativa por proyecto. Esto quiere decir que fabrica un único producto, exclusivo y adaptado a las necesidades del cliente. La mayor dificultad en este tipo de proceso es que obliga a diseñar una secuencia específica para cada proyecto, para lo que se requiere de personal altamente cualificado, lo que implica costes altos en personal. Además, los procesos suelen ser largos y complejos, por lo que el control es especialmente complejo. Los costes variables son altos, pero también lo es la flexibilidad.

La unidad de negocio BMG opera dentro de la división de "*Industrial Technology*" del grupo Bosch y el volumen anual de sistemas de montaje y máquinas especiales que diseña BMG-2ES fue de 62 millones de euros en 2023 (Robert Bosch España S.L.U, 2023).

4.3 Logística y SCM en Robert Bosch

En palabras del Doctor Arne Flemming, vicepresidente sénior de gestión de la cadena de suministro en Robert Bosch GmbH en 2024, *"La gestión de la cadena de suministro en Bosch combina compras y logística. La estrecha colaboración entre estas dos funciones y nuestros socios de fabricación nos permite dar forma a la cadena de suministro en beneficio de Bosch. Hacerlo revela un enorme potencial para aprovechar las sinergias y ahorrar costes. La cooperación multifuncional, abierta y de confianza, especialmente entre asociados y ejecutivos con responsabilidad de la cadena de suministro, es algo que veo como un factor crítico para aprovechar con éxito este potencial"*. Esto denota la importancia que tiene la logística para una empresa del tamaño de Bosch.

En este sentido, el Grupo Bosch es un actor significativo en la escena global de compras, con adquisiciones anuales de materiales, piezas y servicios valorados en 24.000 millones de euros y un transporte de 4.300 millones de toneladas. Con 291 centros de producción distribuidos en todo el mundo y una fuerza laboral de 32.500 profesionales dedicados a la gestión de la cadena de suministro (Robert Bosch S.L.U., 2023), la magnitud de sus operaciones es impresionante.

La estrategia logística de Bosch se fundamenta en dos principios clave: transparencia y eficiencia (Robert Bosch GmbH, 2024). Además, la empresa está activamente comprometida a reducir las emisiones de CO2 y a preservar los recursos naturales. Este enfoque de sostenibilidad también se refleja en el diseño de envases y la estandarización de procesos logísticos, priorizando no sólo la reducción de costes, sino también la conservación de materias primas y otros recursos.

Para mantener su posición competitiva y responder a las demandas del mercado, la Gerencia de Compras Corporativas de Bosch ha delineado una serie de **objetivos estratégicos** (Robert Bosch GmbH, 2024), entre los que cabe destacar:

1. Mejora continua de costes de abastecimiento y garantía de suministro de materias primas. Fortalecimiento de mercados de portes de bajo coste.

Las compras tienen una responsabilidad importante para la posición de costes y

flujo de efectivo de la empresa. Concretamente, 38 millones de euros, un 61% del total de ingresos por ventas. Por ello, trabajan en estrecha colaboración con sus proveedores para asegurar los mejores costes desde el inicio de la producción y les ofrecen condiciones de financiación atractivas.

Además, constantemente llevan a cabo evaluaciones del desempeño global de sus proveedores, considerando no solo los costes, sino también una serie de indicadores clave como la calidad, la fiabilidad en la entrega y la sostenibilidad. Los proveedores más eficientes son reconocidos como proveedores preferidos, lo que les permite una mayor participación en nuevos proyectos y en desarrollo.

2. Desarrollar la cadena de suministro globalmente utilizando el Bosch Production System (BPS) e implementar procesos estandarizados en compras y logística

Para mejorar la satisfacción del cliente y reducir costes, las empresas manufactureras utilizan comúnmente la estrategia conocida como Lean Thinking o Lean Management. Este enfoque se centra en eliminar desperdicios para aumentar la productividad en todas las etapas del proceso, respaldado por herramientas como Just in Time, Total Productive Maintenance y Six Sigma (Gnoni G., 2013).

En este sentido, Bosch ha creado su propio modelo Lean, el Bosch Production System (BPS), implementado en multitud de plantas en todo el mundo. Este modelo evoluciona los sistemas originales, incorporando aspectos como la seguridad y la protección ambiental. El BPS se centra en eliminar desperdicios para reducir costes y garantizar calidad y puntualidad. Un aspecto clave es la responsabilidad personal, donde cada empleado contribuye, según su propia competencia, al Proceso de Mejora Continua (DBE), uno de los objetivos principales de la empresa.

3. Consolidar la reestructuración en Compras de Materiales Indirectos y Servicios mediante los IBT (Internacional Bundling Team) para lograr ahorros planificados.

El precio es un factor crucial para los consumidores y para la competitividad empresarial. La estrategia de fijación de precios por paquetes (Bundling) es especialmente atractiva porque ofrece la conveniencia de una compra integral con valor agregado. Este enfoque ha demostrado ser efectivo incluso en tiempos de recesión

económica (Piaw Liew, L., 2023).

En este contexto, parece que Bosch está buscando optimizar su proceso de compras, específicamente para materiales indirectos y servicios, a través de la implementación de estrategias de agrupación internacional.

4. Mejorar la calidad de los suministros desde una perspectiva integral, que incluya el desarrollo y formación continua de proveedores en todas las divisiones del Grupo Bosch.

Cada proveedor cuenta con un sistema de gestión de calidad diseñado para asegurar que los productos entregados cumplan con los más altos estándares desde el inicio de la producción. En este sentido, los equipos de compras de Bosch colaboran estrechamente con los proveedores para garantizar que se cumplan sus exigencias de calidad, brindando, por ejemplo, sesiones de capacitación.

Adicionalmente, con el objetivo de impulsar la transformación digital en la empresa, en Bosch Purchasing están concentrados en tres áreas clave: análisis, automatización inteligente e innovación digital, mientras establecen conexiones sólidas con sus proveedores.

4.3.1 Logística 4.0 en Bosch

Cada aspecto de la logística en Bosch está intrínsecamente ligado al requisito fundamental de garantizar la disponibilidad ininterrumpida de materiales. Esta premisa clave impulsa la adopción de tecnologías innovadoras de la Industria 4.0 en todos los sitios de almacenamiento a nivel global. Entre estas tecnologías se incluyen actualmente soluciones de identificación por radiofrecuencia (RFID), sistemas de transporte autónomo y sistemas de reconocimiento de imágenes, todos diseñados para asegurar un almacenamiento eficiente e interconectado. Además, se ha implementado un riguroso proceso de gestión de crisis estandarizado, permitiendo a la empresa abordar de manera ágil y efectiva los riesgos emergentes desde su detección inicial (Robert Bosch GmbH, 2024)

Conscientes de esta realidad, la estrategia logística de Bosch se enfoca en la expansión digital y el desarrollo continuo de la cadena de suministro. La inversión en nuevas tecnologías es una prioridad constante para optimizar los procesos y fortalecer la conectividad global.

En la actualidad, el Internet de las Cosas (IoT) está profundamente arraigado en las operaciones laborales, y en Bosch, la logística no es una excepción (Robert Bosch GmbH, 2024). La compañía está inmersa en un proceso de digitalización completa de sus flujos de mercancías, empleando la inteligencia artificial (IA) para mejorar los procesos en una red global que engloba clientes, empresas de servicios logísticos (LSP) y proveedores. El objetivo principal es que toda la cadena de suministro esté completamente digitalizada en un futuro próximo.

Al implementar tecnologías innovadoras y sincronizar los flujos de productos basados en datos en tiempo real, Bosch mantiene constantemente los más altos estándares de eficiencia y calidad. ProCon e InTrack ejemplifican soluciones eficientes para desafíos logísticos. ProCon es un software que resuelve el interrogante constante de cuándo iniciar la producción de un pedido. Este programa proporciona una herramienta automatizada para gestionar, visualizar y optimizar los procesos de producción, así como monitorear la situación actual de la producción en tiempo real.

Por otro lado, InTrack es una plataforma integral de eventos en la cadena de suministro. Ésta ofrece soluciones móviles para la recopilación de datos. Además, conecta a los involucrados en los proyectos, fomentando la transparencia a lo largo de toda la cadena de suministro.

En Bosch, consideran que la transparencia, la confianza mutua y la equidad son esenciales para construir asociaciones sólidas y sostenibles con sus proveedores (Robert Bosch GmbH, 2024). Estos valores son la base de su colaboración, respaldados por normativas y estándares éticos para proteger a sus asociados, empresa, socios comerciales y clientes en todo el mundo. Además, priorizan la seguridad y la protección de datos, integrándolas en todos sus procesos de compra e innovación.

4.3.2 Blockchain en la logística de Bosch

En la era digital, donde los dispositivos de Internet de las cosas (IoT) están presentes en todas partes, la fiabilidad es esencial. La tecnología Blockchain se presenta, como hemos visto, como una solución sólida, proporcionando una plataforma segura para establecer contratos digitales entre dispositivos. Este aspecto cobra especial importancia en el ámbito del IoT, donde la precisión de los datos juega un papel fundamental.

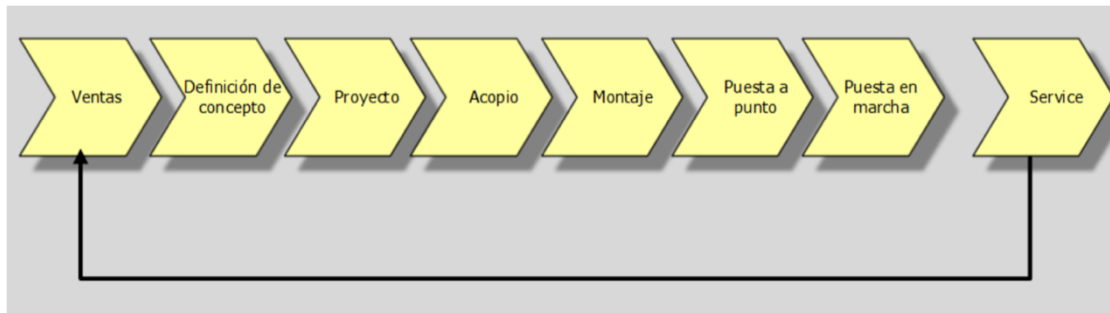
Consciente de esta necesidad, Robert Bosch GmbH ha aprovechado la tecnología Blockchain para abordar el problema de la manipulación ilegal de cuentakilómetros. El proceso implantado comienza con la instalación en el vehículo un dispositivo de conectividad que recopila los datos de kilometraje del mismo y los transmite a un sistema central conectado a la Blockchain. Simultáneamente, Bosch ha creado una aplicación intuitiva para los consumidores, que les permite acceder al historial completo de kilometraje de su vehículo. Además, los usuarios pueden utilizar un servicio en línea para obtener un certificado digital que valide la autenticidad de estos datos, evitando así cualquier intento de manipulación.

La iniciativa de Bosch representa una solución integral de IoT, que mejora la confianza y la transparencia en la industria automotriz.

4.4 Logística y SCM en BMG-2ES

El proceso Order-to-cash (O2C) en BMG2-ES podría resumirse en la estructura de ocho pasos que muestra la Gráfico 1, comenzando con la recepción de un pedido o una carta de intención, tras el correspondiente proceso de licitación; y concluye con la entrega y el servicio de puesta en marcha de la maquinaria correspondiente en cliente.

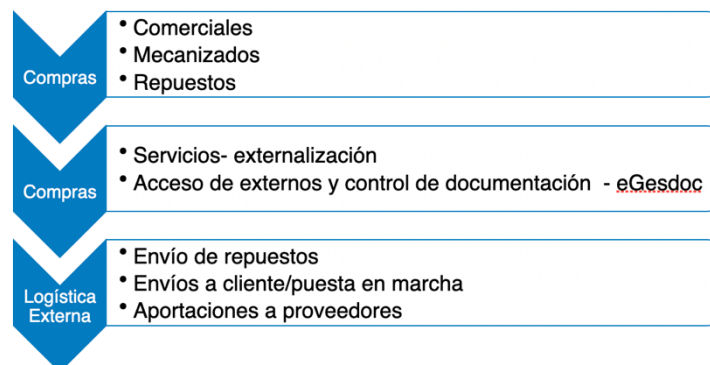
Gráfico 1: Mapa de procesos BMG-2ES



Fuente: BMG-2ES

En la empresa, existe un único departamento conjunto de logística y compras (PUL), cuyas funciones (Gráfico 2) incluyen la realización de compras comerciales, mecanizados y repuestos, la contratación de servicios externos para la producción, y el envío de repuestos, maquinaria completa y aportaciones a los proveedores.

Gráfico 2: Visión del departamento PUL 1



Fuente: BMG-2ES

El mecanizado es un proceso de fabricación que utiliza una herramienta de corte para eliminar el exceso de material de una pieza en bruto, dándole la forma deseada. En este sentido, BMG adquiere materiales en bruto de un proveedor, que los adaptará a las especificaciones de un proyecto a través del mecanizado, ya que BMG no cuenta con la maquinaria necesaria para realizar este proceso internamente.

Los componentes comerciales son materiales estándar que ya existen en el mercado y se adquieren de otros proveedores por motivos de rentabilidad. Por ejemplo, en el caso de los motores.

Las aportaciones son componentes que BMG suministra a sus proveedores para que los utilicen o los integren en la fabricación del conjunto o elemento solicitado. Estas piezas pueden ser tanto mecanizadas como comerciales. La particularidad de estas aportaciones es que, al ser proporcionadas por Bosch, no generan un costo adicional por parte del proveedor, pero Bosch sí las incluye en la factura al cliente final.

4.4.1 Entrada de materiales

Cuando surge la necesidad de crear un proyecto, el personal técnico de BMG-2ES genera un lanzamiento. Este documento es, en esencia, un pedido interno que inicia el proceso de diseño de la maquinaria y sus preparativos. Inmediatamente después, se elabora una lista detallada con todos los componentes necesarios para el proyecto, conocida como Stückliste. Esta lista incluye máquinas, conjuntos principales, subconjuntos, así como piezas pequeñas y componentes comerciales.

La lista de materiales, o nomenclatura, es el documento en el que se especifican todas las posiciones de un conjunto o subconjunto, junto con las unidades y referencias de cada material. Cada lista de materiales se asigna a un proyecto específico e incluye los planos de cada componente mecanizado, así como los conjuntos y subconjuntos. Esto permite determinar si es necesario realizar aportaciones de alguna posición desde el almacén al proveedor. El documento es emitido por los técnicos y posteriormente gestionado por el encargado de compras correspondiente.

El gestor de compras es responsable de manejar las listas de materiales. Su función principal es procesar estas listas y determinar qué componentes comerciales serán adquiridos por el proveedor y cuáles serán gestionados por otros responsables de compras. Normalmente, Bosch compra aquellos materiales para los que puede ofrecer un mejor precio o un menor tiempo de entrega, y luego estos materiales se suministran a los proveedores para que completen el conjunto.

Además, el gestor de compras genera una solicitud de pedido (BANF: "Bestellanforderung") para cada componente especificado en la nomenclatura. Estas solicitudes se añaden a la lista de faltantes, que registra los materiales pendientes de

recibir. Una vez que el gestor específico realiza el pedido, éste permanece en la lista de faltantes hasta que el material llega al almacén de BMG-2ES. Los distintos componentes de las nomenclaturas se adquieren de diversos proveedores. Cada gestor es responsable de sus propios proveedores y, por tanto, debe gestionar las BANFES asignadas a estos.

Una vez que la mercancía llega a BMG, se realiza la entrada en almacén. A partir de este momento, los materiales comerciales se envían directamente al taller para su montaje en la máquina, mientras que los materiales mecanizados se almacenan temporalmente para ser revisados por el departamento de calidad (PUQ: Purchasing Quality), que verifica su idoneidad antes de que entren al taller.

En el caso de que BMG haya realizado una aportación, es importante señalar que previamente el material habrá pasado por el almacén del proveedor para su montaje. Estos materiales permanecen bloqueados hasta que se complete la revisión, tanto de forma física como en el sistema SAP (software empresarial para la gestión de negocios y relaciones con clientes).

En los casos en los que las mercancías no superen adecuadamente los controles de calidad, se genera una reclamación. El material reclamado puede recibir dos posibles calificaciones:

1. Chatarra: Este material deberá ser fabricado de nuevo, ya sea por el mismo proveedor u otro diferente.
2. Error grave: Este material requerirá modificaciones para su adecuación. Las modificaciones pueden ser realizadas en el taller de BMG, por el proveedor original o por un proveedor alternativo.

En algunas ocasiones, los conjuntos se fabrican en su totalidad externamente en las instalaciones de un proveedor. En estos casos, se acuerda el modo de adquisición de materiales para cada situación específica.

4.4.2 Salida de materiales

Los envíos pueden clasificarse en dos tipos: con o sin lanzamiento. Un envío sin lanzamiento se realiza generalmente para aportar algún material a un cliente, ya sea para la puesta a punto de una máquina, reparaciones u otras razones. Estos envíos son de máxima urgencia debido a su alta necesidad en el destino y siempre están asociados a un proyecto específico. Además, deben incluir la siguiente información: destinatario, dirección, costes, contacto, proyecto, material y medidas (añadidas tras el proceso de embalaje).

Una vez que el ingeniero encargado del proyecto realiza la solicitud de envío sin lanzamiento, lleva esta solicitud al almacén junto con el material correspondiente. El almacén embala el material y comunica las dimensiones al departamento de logística. Este departamento generará un albarán, una etiqueta y una factura proforma (en caso de que sea necesario el paso por aduanas, es decir, en envíos fuera de la UE) y gestionará el envío.

Los envíos con lanzamiento, por su parte, pueden incluir maquinaria en sí, o bien repuestos o materiales para modificaciones en el cliente, por cualquier necesidad o mejora. En estos casos, el cliente envía a BMG-2ES una hoja de pedido detallando el repuesto necesario, la dirección de entrega, las condiciones de compra, etc.

El departamento de servicios de BMG recibe esta solicitud y, tras aceptarla, genera una confirmación de pedido (OC). El departamento de logística, por su parte, comprobará la necesidad y generará la documentación específica para realizar el envío, como puede ser la carta de doble uso, para aquellos materiales que la UE establece como obligatorio. Posteriormente, en el almacén, se generan etiquetas para cada posición del pedido y se procede al embalaje. Finalmente, el departamento de logística se encarga de generar un albarán y una etiqueta de envío. En el caso de envíos fuera de la UE, también solicitarán al departamento de controlling la facturación urgente para su inclusión en la documentación del envío.

Es fundamental considerar las condiciones del envío basadas en los Incoterms, que establecen las condiciones económicas, las responsabilidades y los riesgos (como

pérdida o accidentes), así como los requisitos de envío acordados entre BMG-2ES y el destinatario del paquete. En BMG-2ES, los Incoterms más utilizados son:

- DAP (Delivered at Place): BMG asume los riesgos y gastos del envío hasta su llegada al destino.
- FCA (Free Carrier): El destinatario asume los gastos y responsabilidades del envío desde la salida de las instalaciones de BMG.

Finalmente, el albarán debe contabilizarse en SAP para actualizar la variación de existencias, y se procede al embalaje y la salida física del material de las instalaciones de BMG.

BMG realiza siempre cuatro copias del albarán: una en poder de BMG en almacén, otra, firmada por el transportista para dejar constancia de la entrega, se encontrará en la secretaría en BMG, la tercera se queda en el departamento de logística, y la última acompaña a la mercancía hasta estar en poder del comprador.

4.4.3 Warehouse management

En BMG, los materiales se clasifican en tres categorías principales:

- Materiales imputados a proyecto (PD): Estos materiales son solicitados según las necesidades del proyecto. Los BANFes para estos materiales se generan a partir del tratamiento de la Stückliste o mediante BANFes manuales.
- Materiales de noria (V1): Son materiales de necesidad continua que se reponen automáticamente a través del sistema KAN-BAN. Los BANFes automáticos alertan al gestor de compras sobre la necesidad de realizar pedidos, generalmente en lotes mínimos calculados según la demanda diaria y el tiempo de entrega del proveedor. Sin embargo, en ocasiones, los retrasos en la entrega de estos materiales pueden provocar roturas de stock en BMG.
- Materiales sobrantes: Son materiales que fueron imputados a un proyecto en el pasado pero que finalmente no fueron necesarios.

Los cambios de ubicación o imputación se gestionan manualmente en SAP por el departamento de logística para garantizar la coherencia entre los datos. Es necesario que esta coherencia esté presente para poder generar albaranes.

Además, existe la posibilidad de realizar reservas y movimientos para asegurar la disponibilidad de un material específico cuando sea necesario, complementando la cantidad disponible para libre utilización. Estas reservas se realizan después del tratamiento de las nomenclaturas por parte del departamento de compras. Es importante destacar que el punto de pedido automático para los materiales tipo V1 se calcula únicamente sobre el material disponible para libre circulación.

BMG utiliza, junto con sus proveedores, la plataforma web Egesdoc para mantener actualizada la documentación necesaria para la entrada de los trabajadores a la fábrica.

4.5 Propuesta de aplicación de blockchain en BMG-2ES

Las tecnologías se diseñan con características específicas para cumplir propósitos definidos. Aunque pueden ser utilizadas de formas diferentes a su concepción original, es crucial respetar los límites inherentes de cada tecnología. Sin embargo, muchas organizaciones adaptan tecnologías sin considerar adecuadamente sus atributos. (Verhoeven, P., 2018)

Un fenómeno común es el "comportamiento de moda", donde la adopción tecnológica se basa en influencias de adoptantes anteriores y éxitos previos, en lugar de evaluar si realmente se adecúa a las necesidades específicas. Es esencial analizar tanto las ventajas como las desventajas de una tecnología para entender su verdadero impacto en cada caso concreto.

Para abordar específicamente la aplicación de blockchain en la logística de Bosch, este trabajo se centrará en un análisis detallado de cómo esta tecnología puede ser implementada en distintas fases de su cadena de suministro. El estudio se estructurará en torno a la identificación de las áreas clave donde blockchain podría ofrecer ventajas significativas, tales como la mejora en la trazabilidad de los productos,

la reducción de fraudes y errores, y la optimización de la gestión de inventarios y las relaciones con proveedores. Además, se examinarán los beneficios específicos que estas mejoras podrían aportar a Bosch en términos de eficiencia operativa y alineación con sus objetivos estratégicos de innovación y excelencia operativa. Por último, se abordarán también las posibles desventajas y desafíos asociados con la implementación de blockchain, proporcionando una visión equilibrada y crítica sobre su viabilidad y sostenibilidad en el contexto logístico de Bosch.

4.5.1 Gestión documental

La implementación de la tecnología blockchain en la gestión de BMG y sus proveedores ofrece una serie de ventajas significativas. En primer lugar, permitiría establecer una base de datos compartida que incluiría pedidos, documentos técnicos (como lanzamientos, stückliste, nomenclaturas, planos) y contratos con proveedores. Esta base de datos estaría disponible de manera instantánea, segura, inmutable y transparente para todas las partes autorizadas.

Dado que se trata de datos sensibles sobre el negocio de la empresa, lo más adecuado sería utilizar una cadena de bloques privada. De este modo, solo las partes previamente autorizadas por BMG tendrían acceso a la información, garantizando así la seguridad y confidencialidad de los datos.

Una de las principales ventajas de este sistema es la mejora en la gestión de compras. El gestor de compras tendría acceso inmediato a la lista de materiales y podría generar los BANFes de manera eficiente, poniendo esta información a disposición de las partes interesadas de forma instantánea. Este sistema sustituiría el uso del correo electrónico, que es menos seguro y organizado.

En caso de que ocurra algún error durante el proceso, la blockchain permite realizar una verificación sencilla, ya que todo lo ocurrido queda registrado de manera inmutable. Esto reduce notablemente el riesgo de malentendidos, y en caso de que surgieran, la clarificación estaría al alcance de todos, eliminando la necesidad de confianza ciega entre las partes.

Además, la contratación con proveedores podría optimizarse mediante el uso de contratos inteligentes. Estos contratos proporcionarían una mayor transparencia y confianza inter-partes, estableciendo condiciones claras y ejecutables automáticamente en caso de cumplimiento o incumplimiento. Asimismo, permitirían un control más sencillo de la vigencia de las relaciones contractuales, facilitando la prolongación automática de los contratos y asegurando que estén siempre disponibles para consulta y modificación rápida bajo acuerdo mutuo.

Después de que un cliente adquiere una máquina, pueden surgir diversas necesidades, como mejoras o repuestos. El blockchain simplificaría esta comunicación entre las partes y, mediante contratos inteligentes, permitiría incluso automatizar la generación de envíos para repuestos o visitas de mantenimiento requeridas con frecuencia debido al uso intensivo de la maquinaria. Esto no sólo eliminaría intermediarios, sino que también generaría mayores eficiencias y ahorros.

4.5.2 Procesamiento del transporte

La implementación de blockchain también facilita todos los trámites y procedimientos necesarios para la realización efectiva del transporte de mercancías. Esto incluye tanto las mercancías adquiridas por BMG y sus proveedores, como los bienes adquiridos por los clientes. Documentos críticos como conocimientos de embarque, pruebas de entrega, trámites aduaneros y permisos con la administración pueden ser automatizados, reduciendo significativamente la cantidad de información errónea.

Además, la minimización de trámites manuales permite reducir los costos de los procesos logísticos, incrementando la competitividad en el mercado. De hecho, según el Foro Económico Mundial, la eliminación de errores y obstáculos en la cadena de suministro a escala global podría aumentar el PIB mundial en un 5%.

La velocidad en la generación de envíos sin lanzamiento también se vería notablemente mejorada, ya que toda la información necesaria estaría accesible en una

misma base de datos para todas las partes involucradas. Esto es especialmente relevante para envíos urgentes, donde la rapidez es crucial.

Por otro lado, determinados trámites podrían ser automatizados para todos los envíos. Por ejemplo, la contabilización de los albaranes, que es necesaria para la actualización del stock y la liberación de la facturación por parte del departamento de controlling, se podría realizar automáticamente en cuanto la mercancía se prepara para su salida del almacén de BMG.

4.5.3 Trazabilidad

La cadena de bloques permitiría la trazabilidad en tiempo real de todos los componentes adquiridos por los gestores de compras, desde su preparación por parte del proveedor hasta su entrega final al cliente. A diferencia de los códigos QR utilizados actualmente, que sólo permiten el acceso a la información a través de ellos, blockchain facilita el acceso a todas las partes autorizadas en cualquier momento.

Esta capacidad no solo proporciona comodidad y confianza al permitir que todas las partes estén informadas en todo momento sobre el estado de sus mercancías, sino que también facilita la verificación de la autenticidad y procedencia de los materiales. Esto es particularmente relevante para el mantenimiento y fomento de la marca Bosch, como seña de calidad y excelencia. Además, permite identificar productos erróneos y su origen, lo cual es especialmente útil para el departamento de calidad en BMG al comprobar mecanizados. Consecuentemente, fomenta la sostenibilidad al facilitar el control de determinados estándares.

En caso de que PUQ genere una reclamación por materiales calificados como chatarra o con errores graves, esta información también constaría en la cadena de bloques. Conectado a un contrato inteligente, esto podría generar consecuencias contractuales de forma directa e inmediata entre BMG y sus proveedores, lo que implica mayor eficiencia, rapidez y seguridad.

La utilización de elementos del Internet de las Cosas (IoT) permitiría conocer de manera anticipada si existe algún posible daño en la mercancía o cuáles podrían ser las

causas de los mismos. Estos dispositivos podrían mantener constantemente actualizada en la cadena de bloques la información sobre el estado de la mercancía desde el proveedor hasta BMG (como temperatura, golpes, humedad, etc.), simplificando las verificaciones y generando un mayor ahorro de tiempo y costes. En una etapa más avanzada del proceso de implementación de esta tecnología, podría establecerse la verificación de calidad de las piezas mediante inteligencia artificial.

4.5.4 Planificación

La tecnología blockchain facilitaría la planificación eficiente del inventario mediante la automatización de pedidos a través de contratos inteligentes. Estos contratos permitirían que los pedidos se realicen automáticamente al alcanzarse un punto de reorden previamente establecido, liberando tiempo para los gestores de compras y ahorrando costos.

Esta automatización también ayudaría a reducir el desperdicio y los sobrantes, permitiendo un mejor control de las mercancías en almacén. Para una empresa como BMG, que se somete anualmente a auditorías completas, esto reduciría el riesgo de errores y aceleraría la verificación de los datos.

Con una trazabilidad mejorada, las empresas pueden planificar la producción de manera más efectiva, ya que tienen visibilidad completa sobre los inventarios de materias primas y productos terminados, asegurando la exactitud de la información en la cadena de suministro. Esto reduce el riesgo de interrupciones en la producción por falta de materiales o problemas de calidad, facilitando la toma de decisiones informadas.

Además, la recopilación y almacenamiento de datos en blockchain permite un análisis avanzado y preciso de datos históricos y en tiempo real. BMG podría utilizar estos datos para mejorar los modelos de pronóstico de demanda y ajustar la planificación de la producción en consecuencia, reduciendo costos y mejorando la eficiencia operativa.

4.5.5 Encaje con los objetivos

Finalmente, todas estas aplicaciones comentadas, podrían alinearse con los objetivos de la logística (8Rs) y con los marcados por la presidencia de Bosch para sus procesos logísticos, como se detalla a continuación:

1. Mejora de los costes de abastecimiento y garantía de suministro:

- La automatización de pedidos mediante contratos inteligentes en blockchain reduce la necesidad de intervención manual, lo que disminuye errores y costos operativos. Esto asegura que los materiales estén disponibles cuando se necesiten, garantizando el suministro.

- Además, la trazabilidad en tiempo real permite a Bosch monitorear el estado y la ubicación de los materiales en todo momento. Esto facilita la planificación y la respuesta rápida ante cualquier interrupción en la cadena de suministro, mejorando la garantía de suministro.

2. Implementación de procesos estandarizados en compras y logística:

- Blockchain proporciona un registro inmutable y compartido de todas las transacciones, lo que ayuda a estandarizar y verificar los procesos de compras y logística. Todas las partes autorizadas tienen acceso a la misma información, asegurando la transparencia y la coherencia en los procesos.

- Los contratos inteligentes pueden estandarizar y automatizar acuerdos y condiciones con los proveedores, asegurando que todos los procesos se realicen según los estándares establecidos sin necesidad de intervención manual.

3. Generación de ahorros:

- Por una parte, blockchain elimina la necesidad de intermediarios al proporcionar una plataforma segura y transparente para todas las transacciones. Esto reduce los costes asociados con la intermediación y mejora la eficiencia.

- Por otro lado, la visibilidad en tiempo real y la precisión en la información de inventarios permiten a Bosch optimizar sus niveles de stock, reduciendo el exceso de inventario y los costos de almacenamiento.

4. Mejora de las relaciones con los proveedores:

- La transparencia que ofrece blockchain mejora la confianza entre Bosch y sus proveedores. Todos los participantes tienen acceso a la misma información, lo que reduce las disputas y mejora la colaboración.

- Además, la capacidad de rastrear cada componente y transacción en la cadena de suministro asegura que cualquier problema pueda ser identificado y resuelto rápidamente. Esto fomenta una relación más sólida y confiable con los proveedores, ya que la responsabilidad y la calidad están claramente definidas y monitoreadas.

4.5.6 Principales desventajas

La implementación de la tecnología blockchain en la logística y la cadena de suministro (SCM) de una empresa industrial puede ofrecer numerosos beneficios, pero también presenta algunas desventajas y desafíos importantes para una empresa como Bosch:

- Uno de los principales es el coste inicial y la complejidad de la implementación. Configurar y mantener una infraestructura blockchain puede tener un coste alto, si bien es cierto que Bosch es una empresa familiarizada con la tecnología y con alto potencial para desarrollar una solución de este tipo. Además, se necesitan habilidades específicas en blockchain para desarrollar, implementar y mantener esta tecnología. Esto requeriría inversión en formación o contratación de personal especializado.
- Otro punto a tener en cuenta es la complejidad y los desafíos todavía por concretar en el desarrollo de los smart contracts y su adaptación a nivel jurídico. Si bien presentan un gran potencial para transformar la logística y la industria a nivel general, la programación de estos contratos requiere alta precisión para evitar errores, y la legislación aún está en desarrollo sobre determinados puntos que los distinguen de los contratos convencionales.

- La interoperabilidad es otro aspecto crítico. Integrar blockchain con sistemas existentes de gestión empresarial y otros sistemas de tecnología de la información puede ser complejo. Es crucial establecer estándares y protocolos interoperables para garantizar la comunicación fluida entre diferentes plataformas, en caso de necesidad de comunicación con otros proveedores.
- Finalmente, la adopción y la resistencia al cambio dentro de la organización son factores importantes a considerar. La introducción de una tecnología disruptiva, como blockchain, puede encontrar resistencia interna. Sin embargo, en una empresa tecnológica como Bosch, la cultura corporativa y la disposición para aceptar el cambio deberían ser capaces de mitigar este problema.

5. CONCLUSIONES

En el presente trabajo de fin de grado, fundamentado en la asignatura de dirección de operaciones, se ha puesto el foco de atención en la logística y, más concretamente, en la aplicación de la tecnología blockchain. La elección de esta perspectiva se basa en la creciente importancia de la cadena de suministro como área clave para la eficiencia operativa y la capacidad de respuesta de las empresas a un entorno global que cada vez es más competitivo. El blockchain, con su capacidad para ofrecer transparencia, seguridad y eficiencia, se presenta como una solución innovadora e interesante para abordar varios de los desafíos tradicionales en la gestión logística.

En concreto, se ha profundizado en el estudio del blockchain y sus aportaciones al procesamiento del transporte, la trazabilidad y los contratos inteligentes. El procesamiento del transporte mediante blockchain permite mayor rapidez, eficiencia y fiabilidad en la gestión de envíos, reduciendo el riesgo de errores y fraudes. La trazabilidad mejora de manera exponencial sobre esta plataforma, ofreciendo visibilidad completa y en tiempo real del movimiento de bienes desde la compra de materias primas hasta la entrega al cliente. Los contratos inteligentes, por otro lado, automatizan y aseguran las transacciones y acuerdos entre las partes, reduciendo la

necesidad de intermediarios y de confianza entre sí, centrándola en su programación como punto de seguridad.

La profundización en estos aspectos ha revelado que la implementación de la cadena de bloques en la logística puede resultar en mejoras sustanciales en términos de eficiencia operativa, ahorro de costes, aumento de la transparencia, la seguridad, e incluso el fomento de la sostenibilidad, un punto clave en la responsabilidad corporativa del siglo XXI. Sin embargo, también se identificaron desafíos, como la complejidad de adopción o la inversión requerida.

Como ejemplo real de propuesta de adopción de blockchain en la logística, se ha estudiado el caso de Bosch Manufacturing Solutions en España (BMG-2ES). En dicha empresa, la propuesta resulta ciertamente interesante. BMG es una empresa con secuencia operativa por proyecto, como se mencionaba anteriormente. Esto implica costes variables elevados, especialmente en relación con el personal. Por ello, el ahorro, no sólo en costes de manera directa, sino en tiempo, probablemente haría que mereciese la pena un planteamiento de implementación más a fondo. Comenzando por alguna tarea más sencilla y automática y probando su efectividad, Bosch podría situarse a la vanguardia de las empresas industriales en España y en el mundo.

Además, es importante destacar que la aplicación de esta tecnología en el ámbito logístico no se limita al sector industrial. Otras empresas, en sectores como la alimentación, o el farmacéutico, también podrían notar grandes beneficios. Por ejemplo, empresas de alimentación a gran escala, como Mercadona, podrían utilizarla para garantizar la trazabilidad de los productos desde la granja o lugar de producción, hasta la mesa del consumidor, asegurando la calidad y autenticidad de los productos y su conservación óptima durante todo el proceso, así como mejorando el seguimiento en caso de lotes defectuosos y la toma de decisiones de localización y establecimiento de redes de distribución.

5.1 Limitaciones del trabajo

A pesar de la información obtenida para este trabajo, es importante reconocer la existencia de algunas limitaciones que han influido en el alcance del estudio y que es importante considerar a la hora de interpretar los resultados y conclusiones. Una de las principales limitaciones ha sido la imposibilidad de profundizar en todos los aspectos necesarios para realizar una valoración exhaustiva y concluyente sobre la aplicabilidad del blockchain en la logística de BMG-2ES.

El ámbito del blockchain es vasto y complejo, así como el sistema logístico y los costes y necesidades de una empresa plenamente establecida en el mercado y cuya carga de trabajo es muy alta. La integración de esta tecnología en el sistema presenta múltiples variables que requieren un análisis detallado. En este estudio, aunque se han identificado indicios prometedores que sugieren que la implementación del blockchain podría aportar beneficios significativos, no se ha podido confirmar de manera definitiva su viabilidad y eficacia en el contexto específico de BMG-2ES.

Entre las restricciones encontradas, cabe destacar:

1. Alcance limitado del análisis. La investigación se ha centrado en una revisión teórica y en un análisis preliminar, sin poder llevar a cabo pruebas prácticas o estudios de caso detallados que validen los hallazgos de manera empírica.
2. Tiempo y extensión del proyecto. El tiempo disponible para la realización del TFG y la extensión limitada del mismo han restringido la posibilidad de abordar todos los aspectos relevantes con la profundidad deseada.
3. Rápida evolución tecnológica. La tecnología blockchain está en constante evolución, lo que implica que las conclusiones extraídas podrían quedar obsoletas rápidamente a medida que surjan nuevos desarrollos y aplicaciones en el campo.

En conclusión, aunque este trabajo proporciona una base inicial y apunta a un potencial beneficio de la aplicación del blockchain en la logística de BMG-2ES, sería necesario llevar a cabo estudios más detallados y prácticos para obtener una valoración definitiva y fiable.

De esta manera, futuras investigaciones deberían enfocarse en superar estas limitaciones, incluyendo estudios de implementación real y análisis de datos empíricos que validen los resultados teóricos obtenidos y valoren la posible vinculación de nuevas tecnologías digitales, como la inteligencia artificial, para salvar las carencias actuales que pudiera tener la tecnología blockchain.

6. BIBLIOGRAFÍA

Antonios Litke, D. A. (2019). Blockchains for Supply Chain Management: Architectural Elements and Challenges Towards a Global Scale Deployment. *MDPI*.

(s.f.). *Blockchain: how it works*. Deloitte.

Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen. (2021). *Die Blockchain-Technologie: Grundlagen, Potenziale und Herausforderungen*. Bonn.

Bundesverband der Deutschen Industrie e.V. (2017). *Herausforderungen und Perspektiven für die Logistik 2025*. Berlin: Industrie-Förderung GmbH, Berlin.

Delmás, E. (2018). *Logistics-oriented analysis of the integration of Blockchain and the Internet of Things*. Berlin: Technischen Universität Berlin.

el Maouchi, M., Ersoy, O., & Erkin, Z. (2018). TRADE: A Transparent, Decentralized Traceability System for the Supply Chain. *ERCIM-Blockchain*.

Ezreal Twell, H., Nurulnathirah Binti, A. K., Amy Izzati, B. Y., & Lewis Liew, T. P. (2023). Bundling Pricing Model. *Politeknik Kuching Sarawak*.

Guido Perboli, S. M. (2018). Blockchain in Logistics and Supply Chain: A Lean Approach for Designing Real-World Use Cases. *IEEE Access*.

Hackius, N., & Peters, M. (2017). Blockchain in logistics and supply chain: Trick or treat? *epubli GmbH*, 3-18.

Indian Institute of Materials Management. (2019). *Logistics and Warehousing Management*. Mumbai.

Jetzke, S. (2014). *Grundlagen der modernen Logistik Methoden und Lösungen*. Salzgitter: Carl Hanser Verlag GmbH & Co.

Kepler, J. (2021). *Logistische Herausforderung zur Implementierung von Industrie 4.0*. Linz: Universität Linz.

Minsait by Indra. (2017). *Cómo impacta Blockchain en la Logística 4.0*.

- Parrondo, L. (2018). Tecnología blockchain, una nueva era para la empresa. *Revista de Contabilidad y Dirección*, Vol. 27, pp.11-31.
- Pierro, M. D. (2017). What is the blockchain. *Computing Prescriptions. DePaul University*, 92-95.
- Prados Brea, R. (2021). *Análisis de la implementación del sistema Warehouse Management de SAP en ATMO- 2 (Robert Bosch)*. Madrid: Universidad Rey Juan Carlos.
- Robert Bosch España. (2023). *Crossroads: Informe anual 2023*. Madrid.
- Robert Bosch España Fábrica Madrid SAU. (2023). *Estado de información no financiera*.
- Robert Bosch GmbH. (Stuttgart). *Crossroads: Annual report 2023*. 2023.
- Rozman, N., Corn, M., Vrabic, R., & Prozl, T. (2019). Distributed logistics platform based on Blockchain and IoT. *Procedia CIRP*.
- Shekhar Sarmah, S. (2018). Understanding Blockchain Technology. *Computer Science and Engineering*, 23-29.
- Tijan, E., Aksentikevic, S., Ivanic, K., & Jardas, M. (2019). Blockchain Technology Implementation in Logistics. *MDPI*.
- Trojanowski, T. (2013). The importance of logistics in business activity of enterprises. *Technika Transportu Szynowego*.
- Verhoeven, P., Sinn, F., & Herden, T. T. (2018). Examples from Blockchain Implementations in Logistics and Supply Chain Management: Exploring the Mindful Use of a New Technology. *MDPI*.
- Vincent Schlatt, A. S. (2016). *Blockchain: Grundlagen, Anwendungen und Potenziale*. Bayreuth: Fraunhofer Institute for Applied Information Technology Fit.
- Yildiz, H., Ravi, R., & Fairey, W. (2020). *Optimization of Customer & Supplier Logistics at Bosch*. Charleston.