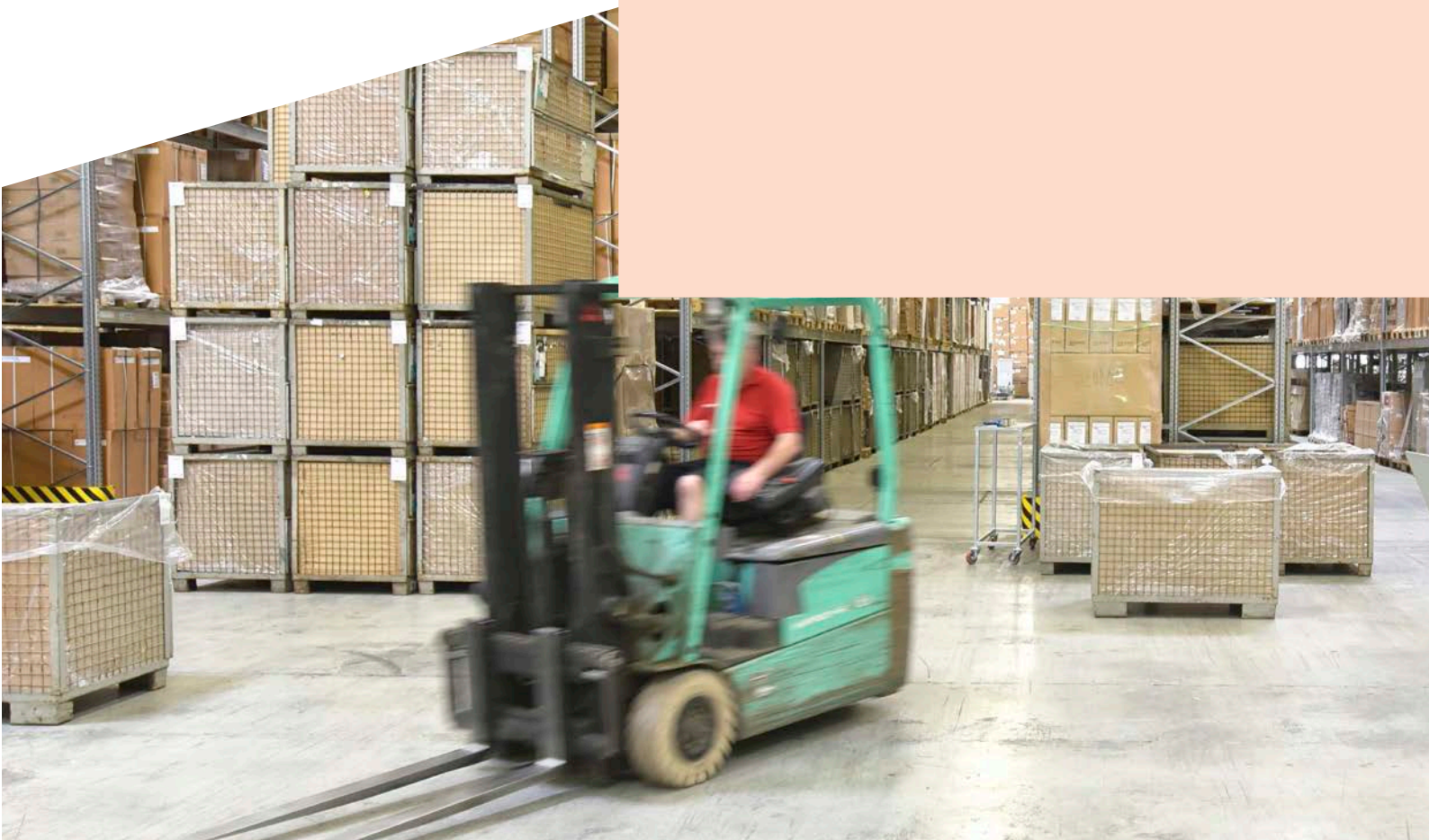


Trazabilidad en la cadena de valor de la Industria



minsoit

An Indra company

Presentación del informe

La digitalización de la Cadena de Suministro está aportando a las empresas nuevas herramientas para afrontar, de manera eficiente y robusta, nuevos desafíos relacionados con la globalización, el foco en el cliente, la exigencia de una mayor visibilidad y la necesidad de una optimización continua de los costes. La evolución y democratización de la tecnología permiten atacar un eje de acción que vertebra gran parte de las respuestas: la trazabilidad integral de toda la cadena.

En este contexto, la trazabilidad podría definirse como las acciones que permiten el seguimiento de diferentes tipos de elementos, mediante la monitorización de parámetros físicos y gracias al uso de las nuevas tecnologías. El despliegue eficiente de este concepto está impactando ya en la cuenta de resultados de compañías que han sabido seleccionar ámbitos de impacto, soluciones y socios tecnológicos para reducir los costes operacionales, aumentar la calidad del servicio y facilitar un abordaje eficiente de nuevos negocios y mercados geográficos.

Aunque aún queda camino por recorrer, ya son muchas las empresas que están implantando soluciones digitales para mejorar la trazabilidad de alguna etapa de su cadena de valor, obteniendo impactos significativos a partir de una trazabilidad integral, consiguiendo a su vez nuevas ventajas competitivas.

A través de este informe, pretendemos dar una visión completa del concepto de trazabilidad, analizando los diferentes ámbitos de actuación, las tecnologías empleadas para construir soluciones de trazabilidad y los impactos que pueden generar. Además, detallaremos varios casos de uso reales de diferentes compañías que ponen de manifiesto que las oportunidades que genera la trazabilidad, son ya una realidad.

01 Resumen ejecutivo

02 Introducción. La oportunidad digital en la Cadena de Suministro

03 ¿Qué es la trazabilidad en la cadena de valor de la Industria?

04 ¿Cómo se está desplegando la trazabilidad en una perspectiva digital?

05 ¿Cómo avanzar en una trazabilidad completa de toda la cadena?

06 Conclusiones

01. Resumen ejecutivo

Las nuevas necesidades de la Cadena de Suministro y la digitalización han convertido a la trazabilidad en un elemento clave para alcanzar nuevas cotas de eficiencia y servicio al cliente

La Cadena de Suministro se enfrenta a nuevos desafíos relacionados con la **globalización**, el foco en el cliente, la exigencia de una mayor **visibilidad** y la necesidad de una **optimización** continua de los **costes**. Para resolver estos retos, las compañías deben adoptar nuevos enfoques unidos a **cambios profundos en sus modelos operacional y táctico**. Para ello cuentan con **nuevas palancas tecnológicas relacionadas con la revolución digital**, lo que supone una oportunidad para alcanzar nuevas cotas de eficiencia y servicio.

La revolución digital ofrece a las compañías la oportunidad de **generar valor en todas las etapas de la Cadena de Suministro**. Para lograrlo conviene abordar los grandes desafíos bajo una perspectiva integrada. En este enfoque, el **principal eje de acción** sería la búsqueda de **nuevas cotas de trazabilidad y visibilidad** con la ayuda de las nuevas tecnologías digitales.

La **trazabilidad** podría definirse como las acciones que permiten el **seguimiento de diferentes tipos de elementos**, mediante la monitorización de parámetros físicos (posición, aceleración, temperatura, etc.) y gracias al uso de nuevas tecnologías. Este concepto aplicado a toda la cadena de valor industrial permite aumentar la **visibilidad operativa interna y externa**, poner al **cliente en el centro de la estrategia** y empoderarlo durante todas las etapas de la cadena.

El enfoque de trazabilidad integral de la Cadena de Suministro introduce el concepto de **logística conectada**, cuyo mercado se estima que crecerá a una tasa anual media (CAGR) del 33% hasta el 2023¹. Las soluciones

para la trazabilidad impactan directamente en la **cuenta de resultados de las compañías**, ya que permiten reducir los costes logísticos y de fabricación, aumentan la calidad del servicio (y los ingresos asociados) y facilitan un abordaje eficiente de nuevos negocios y mercados.

Para hacer frente a este nuevo concepto de trazabilidad de la cadena de valor, es necesario considerar diversos **ámbitos** posibles de actuación distinguiendo entre:

- **Tipología de activo.** Dependiendo de la naturaleza del activo a monitorizar:
 - **Recursos físicos.** Consiste en la monitorización de activos físicos.
 - **Recursos humanos.** Consiste en la trazabilidad de operarios.
 - **Proceso.** Consiste en la trazabilidad del flujo lógico de uno o varios procesos
- **Entorno de operación.** Dependiendo del entorno físico donde se realiza el despliegue:
 - **Trazabilidad Indoor.** Trazabilidad en espacios cerrados como plantas o almacenes
 - **Trazabilidad Outdoor.** Trazabilidad en entornos abiertos
- **Dimensiones de impacto.** Dependiendo del objetivo prioritario:

(1) P&S Market Research: Global Connected Logistics Market Size, Share, Development, Growth and Demand Forecast to 2023.

- **Trazabilidad física y lógica.** Se trata de un primer ámbito de impacto, derivado de la monitorización de los activos, su representación gráfica, la implementación de alarmas y reglas de actuación básicas.
- **Gestión y optimización.** Este segundo ámbito se refiere a la generación de modelos de gestión optimizada basados en la explotación de la información capturada de los activos.
- **Analítica y casos de negocio.** Un tercer ámbito de impacto está ligado al desarrollo de modelos analíticos avanzados sobre los datos capturados para la trazabilidad.
- **Eficiencia administrativa.** Este último ámbito puede considerarse transversal al resto de ejes de impacto y está relacionado con la digitalización de todos los procesos lógicos y administrativos de la cadena de suministro.

El despliegue de las soluciones de trazabilidad requiere definir un ecosistema tecnológico escalable, flexible y sostenible. Para ello, la arquitectura tecnológica debe facilitar la flexibilidad y habilitar una amplia variedad de elementos a sensorizar, entornos físicos y casos de uso, de modo que cada solución se adapte al **reto** y al **coste-beneficio** esperado.

En los últimos años, **empresas de diversos sectores ya están impulsando iniciativas digitales** con el objetivo común de incrementar la **trazabilidad** y para responder a los nuevos desafíos de la Cadena de Suministro. Algunas ya están generando **impactos tangibles y retornos de la inversión** en periodos muy reducidos.

Para abordar de manera ágil y efectiva la implantación de la trazabilidad integral a través de una estrategia digital, y superar las barreras y errores comúnmente observados, **Minsait** cuenta una **metodología** propia diferencial, así como amplias **capacidades** de consultoría (estratégica, de negocio y tecnológica), **activos tecnológicos y productos propios *best in class*** que le permiten implantar extremo a extremo soluciones digitales adaptadas a cada cliente.

02. Introducción. La oportunidad digital en la Cadena de Suministro

Las compañías cuentan con nuevas herramientas tecnológicas y palancas digitales para responder a los nuevos desafíos a los que se enfrenta la Cadena de Suministro

02.1 ¿Qué está ocurriendo?

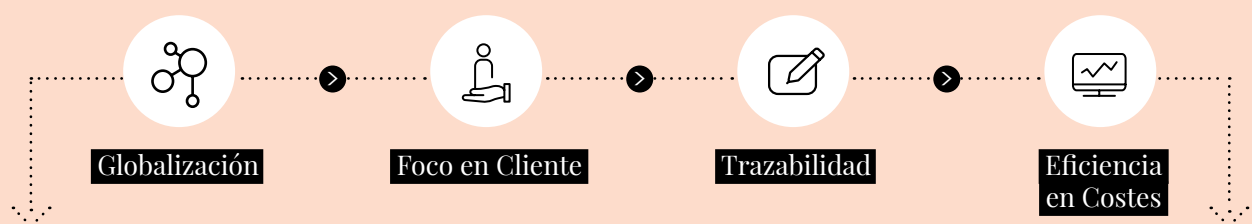
Desde la formulación del concepto de **Gestión de Cadena de Suministro** como evolución de la definición clásica de "Gestión Logística", éste área ha experimentado cambios profundos en cuanto a objetivos prioritarios, actores involucrados y tecnologías relacionadas. Así, a partir del tradicional enfoque en la optimización de los costes y en el aseguramiento de la fiabilidad del flujo de transporte, el foco se ha ido ampliando gradualmente para además incluir la integración de nuevos actores (internos y externos) y la maximización de la satisfacción del cliente final (pudiéndose medir en términos de visibilidad y de precisión de las entregas).

En la actualidad, en el contexto de un mercado productivo, comercial y de transporte que opera a nivel global cobra especial relevancia el **crecimiento**

exponencial del comercio electrónico y el transporte al cliente final. Derivado de todo ello, la Cadena de Suministro debe afrontar **nuevos desafíos estratégicos, tácticos y operativos** en un entorno que evoluciona a un ritmo vertiginoso. Estos desafíos pueden convertirse también en una oportunidad para que las empresas desarrollen **nuevas dinámicas y modelos de negocio** en el ámbito logístico con ayuda de los avances tecnológicos ligados a la revolución digital.

En este marco, los **nuevos desafíos de la Cadena de Suministro** en la industria se pueden explicar alrededor de cuatro dinámicas fundamentales: **Globalización, Foco en Cliente, Trazabilidad y Eficiencia en Costes**.

Desafíos de la Cadena de Suministro



- **Globalización**

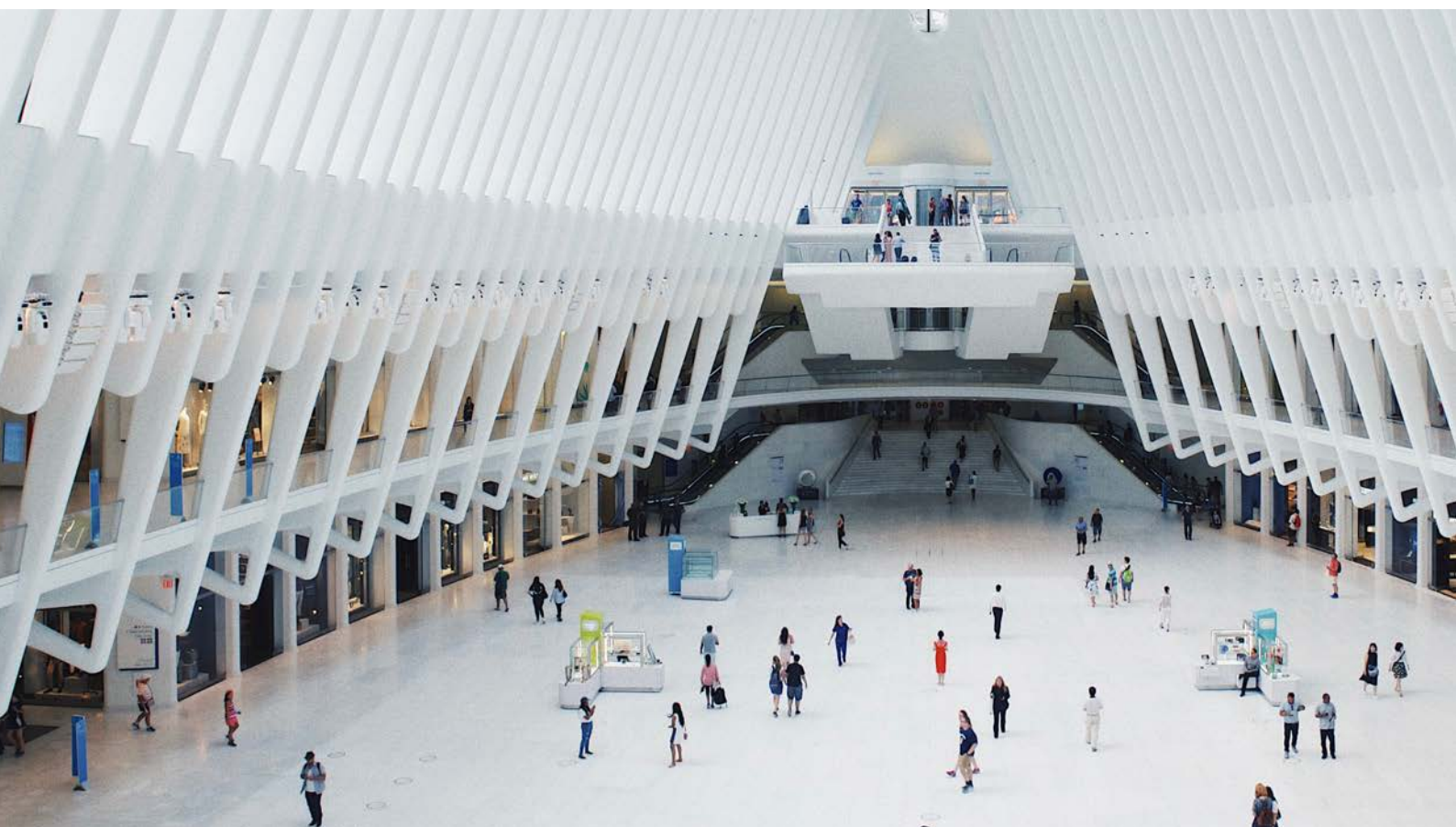
Dada la creciente **independencia y competencia entre las economías a nivel mundial**, uno de los principales desafíos para la Cadena de Suministro consiste en adoptar un enfoque adecuado para responder a esta globalización. En un ecosistema global, las compañías deben hacer frente a **nuevos riesgos** en la Cadena de Suministro relacionados, potencialmente, con un incremento de los **tiempos de transporte**, la **variabilidad** en las entregas, riesgo de **ineficiencia en costes** o envíos con **problemas de calidad** que afecten al producto.

Tener una respuesta adecuada a este entorno de incertidumbre es foco principal de las empresas logísticas, pero también centro de las preocupaciones de los generadores de carga (cargadores). Por ejemplo, en España, cerca de un 60%² de las empresas manifiesta tener problemas con entregas no fiables mientras que más del 50% expresa quejas por *lead times* demasiado largos.

En cualquier caso, la **globalización del comercio y de las operaciones de manufactura** es un

hecho imparable debido, entre otros factores, a la traslación del peso de la demanda de clases medias hacia los países emergentes, el incremento exponencial de las ventas en nuevos mercados, la localización de diferentes etapas del proceso (diseño, fabricación de piezas, montaje, acabado...) allí donde se optimiza la disponibilidad de recursos y costes (de materias primas, mano de obra...) o la mayor de la complejidad de las relaciones entre los diferentes stakeholders.

Por todo ello, un primer desafío de la Cadena de Suministro consiste en identificar cómo hacer frente a un **contexto global, complejo y en continua evolución**, de modo que en la respuesta sea compatible la fiabilidad de las entregas, la visibilidad del transporte y una eficiencia máxima en costes que asegure la protección de los márgenes.



(2) Minsait, análisis cualitativo mediante entrevistas a cargadores en España (enero - marzo 2017).

- **Foco en Cliente**

En una economía crecientemente globalizada, la primera aproximación de las empresas consistió en diseñar y operar sus cadenas de suministro poniendo el foco en la optimización de costes y en las relaciones existentes con las empresas proveedoras o las transportistas.

Sin embargo, la creciente tensión de la cadena de suministro entre múltiples empresas, la mayor exigencia y “sentido crítico” de las empresas clientes (en relación a la fiabilidad, visibilidad y costes), el aumento exponencial del comercio electrónico (el comercio electrónico en España experimentó un crecimiento en 25% 2016-2017³) y el peso del cliente final en toda la cadena han convertido en imprescindible que las empresas **pongan un mayor foco en el cliente** a la hora de diseñar y operar sus cadenas de suministro.

De este modo, parte del éxito de las empresas en un entorno global se sustentará en **ecosistemas diversos** que conformen una **cadena de suministro extendida**, en la que se ponga foco en el aumento de la interrelación entre las partes y en la experiencia del cliente. En esta línea se estima que en 2020 el 60% de las compañías manufactureras aumentarán sus inversiones en ecosistemas y experiencia del cliente, esperando que los impactos derivados representen hasta el 30% de sus ingresos totales⁴.

Por todo ello, un nuevo reto de la Cadena de Suministro consiste incorporar el criterio y la visión del **cliente final** en la definición de la cadena de suministro, su ejecución, monitorización y potencial reingeniería.

Ello exige que las empresas adopten puntos de vista distintos y decisiones novedosas en lo que respecta, por ejemplo, a la definición del mapa logístico, el dimensionamiento de los inventarios, la organización del transporte, la localización de almacenes y nodos de cross-docking, la visibilidad de los flujos logísticos, la gestión administrativa o la de los embalajes.

- **Trazabilidad y visibilidad**

Muy relacionado con los factores anteriores (la globalización y la complejidad y riesgos derivados; el empoderamiento de los clientes y la necesidad de poner el foco en sus necesidades), en los últimos tiempos ha aumentado la exigencia de una **mayor trazabilidad y visibilidad** sobre la evolución de los flujos de transporte.

Para responder a esta necesidad, el desarrollo de nuevas tecnologías ha permitido simplificar la obtención y compartición de mucha más información, el desarrollo de modelos analíticos para poner en valor todo este *big data* y la implantación

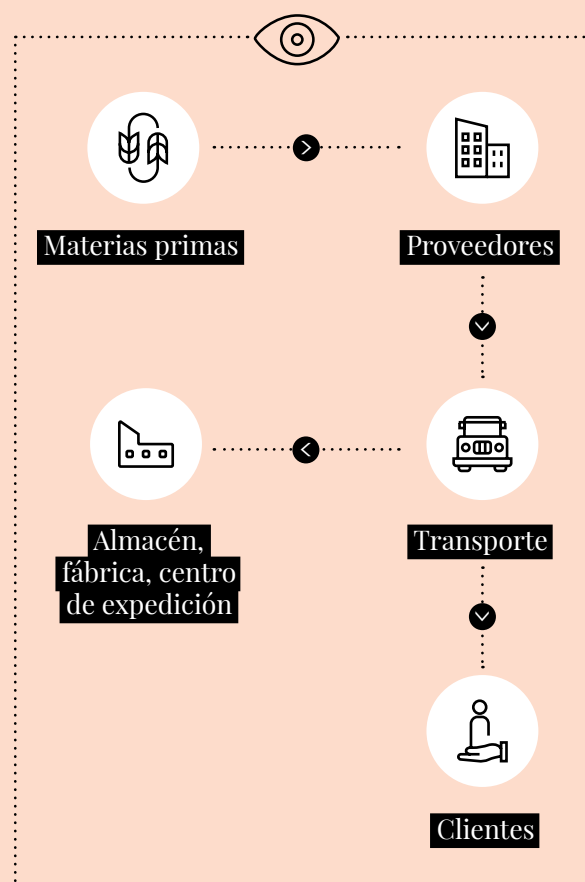
de soluciones que impulsan la simplificación administrativa de los procesos.

Sin embargo, toda esta **oportunidad tecnológica** no ha sido trasladada todavía con éxito (de manera eficiente y masiva) a soluciones que permitan que el cliente final conozca con detalle, en tiempo real y extremo a extremo el plan de transporte y el estado de sus envíos.

Si bien en muchas ocasiones es posible obtener esta información de manera parcial, **es altamente complejo tener una visibilidad completa y detallada**, en tiempo real, cubriendo todo el flujo e integrando de manera sencilla esta información en los sistemas de todos los actores involucrados.

El desafío de la Cadena de Suministro en este caso consiste en seleccionar las etapas en las que es preciso ofrecer una visibilidad detallada, identificar las tecnologías más adecuadas para soportar la funcionalidad requerida y llevar a cabo un despliegue óptimo en términos de eficiencia económica y sostenibilidad.

Trazabilidad y visibilidad integrada



(3) Informe Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia.

(4) IDC Research, análisis sobre 2.000 empresas productivas en España.

- **Eficiencia en costes**

Junto a los anteriores elementos, la **contención de los costes operacionales** en un entorno complejo sigue siendo un desafío fundamental de las empresas en general y de la Cadena de Suministro en particular. Siendo el transporte un plano del negocio que generalmente no genera ingresos (salvo para las empresas proveedoras de este servicio), para las compañías sigue siendo fundamental identificar nuevas vías de ahorros relevantes y consolidables en los conceptos de transporte.

Por ello, la mayoría de las **iniciativas de mejora** (bajo dinámicas lean o six sigma) adoptadas en el sector industrial van dirigidas a este fin. Por ejemplo, el 67%⁵ de las iniciativas estratégicas de la industria manufacturera tienen como principal objetivo la reducción de costes operativos, porcentaje que puede extenderse, de manera natural al ámbito de la optimización de los procesos logísticos.

El desafío de la Cadena de Suministro en este último ámbito consiste en conseguir ahorros que sean sostenibles en el tiempo e independientes de factores coyunturales, como el precio de la mano de obra, los costes energéticos, los relativos a las materias primas o la sobrecapacidad en ciertas etapas de la cadena. Para ello es preciso diseñar **estrategias innovadoras y ágiles** que permitan optimizar de manera continua los costes asociados a la Cadena de Suministro.

Junto a estos factores de evolución de la Cadena de Suministro los últimos años han sido los de la irrupción y gradual consolidación de la revolución digital, lo que supone el **desarrollo de nuevas tecnologías, su madurez y la democratización** de su uso, impulsando un nuevo contexto operacional con impacto directo en la Cadena de Suministro.

Es decir, la **revolución digital** y su extensión a la cadena de suministro suponen un cambio profundo en las operaciones y modelos de negocio de la industria, impulsado por la **aceleración de la madurez de nuevas tecnologías** que hoy son accesibles a todo tipo de empresas en múltiples sectores industriales.

Dentro de las tecnologías que actúan como palancas de esta revolución, el conjunto de soluciones del ámbito *Internet de las Cosas* (IoT- Internet of Things) se consolida como el principal grupo que impulsa esta transformación. Se estima que la **digitalización de la Cadena de Suministro** mediante soluciones IoT generará un valor anual comprendido entre 560 mil millones de dólares y 850 mil millones de dólares hasta 2025 a nivel global⁶.

Este potencial de impacto se asienta sobre la **evolución y madurez de nuevas tecnologías**, lo que tiene su reflejo en diversos ámbitos tecnológicos:

- **Precio de la tecnología.** En las últimas décadas, se ha experimentado un descenso drástico en el coste de los materiales y la integración de componentes para construir dispositivos electrónicos. Por ejemplo, uno de los principales componentes electrónicos, las baterías de ion-litio, ha visto reducido su precio en más de un 50%⁷ en los últimos cinco años.
- **Penetración de dispositivos IoT.** Los dispositivos y los sistemas de comunicaciones IoT se encuentran en evolución constante, encontrándose cada vez en más tipos de aplicaciones industriales. Tal es así que se estima que el número de dispositivos conectados a internet crezca exponencialmente pasando de 18 mil millones en 2017 a 75 billones de dispositivos en 2025⁸.
- **Volumen de datos y capacidad de almacenamiento.** La evolución tecnológica de los procesos de captación y almacenamiento de información ha aumentado el volumen de datos generados en el sector industrial. Se ha producido un aumento exponencial de los datos generados por todas las "cosas" (IoT), de modo que, a nivel mundial, en tan solo 5 años, se ha pasado de un volumen de datos de 0,28x1012 GB (2010) a cerca de los 4,44 x 1012 GB (2015)⁹. Además, la capacidad de almacenamiento que se puede comprar por 1\$ se viene multiplicando por un factor de 10 cada cuatro años. Ahora el coste es de aproximadamente 0,05 \$/GB⁸.
- **Análítica avanzada.** La generalización del IoT, la generación de datos masivos (big data) y la evolución de las capacidades asociadas al tratamiento de los datos ha desembocado en una consolidación de las nuevas técnicas analíticas como motor de optimización de los procesos clave y generador de innovación estratégica. Por ejemplo, el 70% de las empresas considera la analítica industrial aplicada como un elemento clave para mejorar sus modelos de negocio¹⁰.
- **Desarrollo de las comunicaciones.** La mejora de las comunicaciones ha permitido encontrar nuevos protocolos que habilitan redes más eficientes para la intercomunicación entre dispositivos. Por ejemplo, el protocolo de comunicación IPv6 (implementado en 2016), proporciona hasta 2128 direcciones de red, frente a las 232 del IPv4¹¹ (implementado en 1986). Otro ejemplo lo constituyen las comunicaciones móviles, donde las redes 5G permitirán alcanzar velocidades de hasta 1 Gbps, 10 veces más que la

(5) Minsait, análisis cualitativo mediante entrevistas a cargadores en España (enero - marzo 2017).

(6) McKinsey: Internet of things mapping the value beyond the hype.

(7) Revista Nature Climate Change.

(8) IHS: IoT Platforms: Enabling the Internet of Things.

(9) Cisco: Global Mobile Data Traffic Forecast Update 2014-2019.

(10) McKinsey: Disruptive forces in the industrial sectors.

(11) Astic: Transición a IPv6.

ofrecida por el 4G (100 Mbps), o 5000 veces las ofrecidas por 3G (2 Mbps)¹².

En definitiva, la Cadena de Suministro se enfrenta a nuevos desafíos relacionados con la globalización, el necesario foco en cliente, la exigencia de una mayor visibilidad y la necesidad de una optimización continua

de los costes. Para resolver estos retos, las compañías deben adoptar nuevos enfoques estratégicos unidos a cambios profundos a nivel operacional y táctico. Para ello cuentan con nuevas palancas habilitadoras relacionadas con la revolución digital, lo que supone una oportunidad para alcanzar nuevas cotas de eficiencia y servicio.



02.2 ¿Cuál es la oportunidad de la revolución digital?

La revolución digital ofrece a las compañías la oportunidad de **generar valor en cada una de las etapas de la Cadena de Suministro**, obteniendo mejoras relevantes en cuanto a la eficiencia y la calidad del servicio.

Para lograrlo conviene abordar los grandes desafíos descritos anteriormente bajo una aproximación integrada. En este enfoque, el **principal eje de acción** sería la búsqueda de **nuevas cotas de trazabilidad y visibilidad** apalancadas en nuevas tecnologías digitales.

Este vector está necesariamente asociado a un **incremento sustancial del foco en el cliente** (mejora del nivel del servicio y de la calidad percibida), una **reducción sostenible de costes** y un **mejor posicionamiento** para afrontar los retos que plantea la globalización.

En este caso, la trazabilidad no se circunscribe solo a la Cadena de Suministro (entendida como gestión logística

de materiales), sino que se **refiere a toda la cadena de valor**, incluyendo tanto los flujos operacionales y de información en toda la cadena de valor, como los procesos internos/ externos, los físicos/ lógicos o los procesos administrativos de soporte.

Este nuevo enfoque de trazabilidad integral de la Cadena de Suministro introduce el concepto de **logística conectada**, que lleva asociado un gran potencial de crecimiento. Se estima que las soluciones de logística conectada crecerán a una tasa anual media (CAGR) del 33% hasta el 2023¹³. Bajo este nuevo enfoque, la **oportunidad digitalización en la Cadena de Suministro** viene apalancada en tres grandes conceptos:

- **Trazabilidad de medios**

La **sensorización de medios físicos de transporte** (contenedores, cajas...) sienta las bases para su **trazabilidad** y una posterior **optimización de los**

(12) BBC: Cuáles son las diferencias entre E, GPRS, 3G, 4G y 5G.

(13) P&S Market Research: Global Connected Logistics Market Size, Share, Development, Growth and Demand Forecast to 2023.

costes asociados a su gestión (relacionados con pérdidas, el sobredimensionamiento necesario para cumplir con el nivel de servicio, los costes de degradación del servicio, pérdidas, etc.). Este tipo de trazabilidad, permite reducir el coste operativo de manera relevante y sostenible. Se estima que las compañías manufactureras podrían ahorrar en sus operaciones hasta 13 mil millones de dólares anuales en 2025¹⁴, gracias a la introducción de soluciones digitales para la trazabilidad de medios.

Por ejemplo, en el sector de la logística de paquetería, la trazabilidad de los medios de transporte puede ayudar a evitar uno de los principales problemas del sector, la pérdida de paquetes (se estima que cerca de un 0,5-3% de los envíos se pierden). Mediante la aplicación de nuevas tecnologías para la trazabilidad de los medios en este tipo de compañías se estima que se podría reducir hasta un 30%¹³ el número de paquetes perdidos.

- **Trazabilidad Logística**

Las tecnologías IoT pueden también mejorar la **trazabilidad logística de los medios de transporte** (camiones, vagones, contenedores...) mediante la generación, captura, gestión y analítica de datos derivados de sensores, sentando las bases para una optimización dinámica de rutas en tiempo real.

La confianza en esta oportunidad se ilustra con el hecho de que actualmente se estima que las compañías industriales gasten más de 1,5 billones de dólares anuales en equipar a sus flotas (camiones) con servicios de seguimiento y monitorización (tracking), esperando que este gasto ascienda a 2,5 billones de dólares en 2025. Gracias a los nuevos

sistemas de trazabilidad y routing las compañías obtienen mejoras de eficiencia sobre su operativa logística, pudiendo conseguir reducciones de costes de hasta un 17% .

- **Productividad de la Mano de Obra**

Finalmente, mediante aplicación de las **tecnologías IoT como soporte a la operación de los trabajadores** (con soluciones como las de trazabilidad personal o *personal tracking* a través de dispositivos portable o *wearables*) las compañías pueden disponer de **información en tiempo real de la actividad** de los empleados y de su localización.

Ello permite desarrollar soluciones para conseguir una mayor **seguridad** (de accesos, de operación...) y **productividad** de los operarios, optimizar la planificación de los trabajos y de las operaciones en sí, mediante el desarrollo de modelos analíticos basados en los datos recopilados. Esta mejora de productividad, se estima que puede traducirse en unos ahorros de entre 7,5 mil millones de dólares y 16,5 mil millones de dólares en 2025¹⁵ a nivel global.



(14) Mckinsey: Internet of things mapping the value beyond the hype.
(15) Mckinsey: Internet of things mapping the value beyond the hype.

03. ¿Qué es la trazabilidad en la cadena de valor de la Industria?

La trazabilidad consiste en la monitorización de parámetros físicos mediante el uso de nuevas tecnologías

La **trazabilidad** podría definirse como las acciones que permiten el **seguimiento de diferentes tipos de elementos**, mediante la monitorización de parámetros físicos (posición, aceleración, temperatura, etc.) y gracias al uso de nuevas tecnologías.

Este concepto aplicado a toda la cadena de valor industrial permite aumentar la **visibilidad operativa interna y externa**, poner al **cliente en el centro de la estrategia** y empoderarlo durante todas las etapas de la cadena.

Las soluciones para la trazabilidad impactan directamente en la **cuenta de resultados de las compañías**, ya que permiten reducir los costes logísticos y de fabricación, aumentan la calidad del servicio (y los ingresos asociados) y facilitan un abordaje eficiente de nuevos negocios y mercados geográficos.

Para hacer frente a este nuevo concepto de trazabilidad de la cadena de valor, es necesario considerar diversos ámbitos posibles de actuación distinguiendo según la tipología del activo, el entorno de operación y las diferentes dimensiones de impacto.

- **Tipología de activo.** Dependiendo de la naturaleza del activo a monitorizar la trazabilidad puede referirse a:
 - **Recursos físicos.** Consiste en la monitorización de activos físicos, es decir, los sistemas de transporte (flotas de camiones, jaulas, contenedores...) y los productos o sus partes.
 - **Recursos humanos.** Consiste en la trazabilidad de operarios en distintos puntos del flujo industrial (planta, transporte...) con los fines

de seguridad y optimización mencionados anteriormente.

- **Proceso.** Consiste en la trazabilidad del flujo lógico de uno o varios procesos industriales (por ejemplo, trazabilidad del proceso de montaje de un producto final a partir de las partes que lo componen).
- **Entorno de operación.** Dependiendo del entorno físico en el que se despliegan las tecnologías de sensorización, comunicación y trazabilidad, puede diferenciarse entre:
 - **Trazabilidad Indoor.** Trazabilidad en espacios cerrados como plantas o almacenes.
 - **Trazabilidad Outdoor.** Trazabilidad en entornos abiertos (al aire libre) fundamentalmente en etapas de transporte (aprovisionamiento y distribución).
- **Dimensiones de impacto.** Dependiendo del objetivo prioritario de la trazabilidad los impactos pueden agruparse de la siguiente manera:
 - **Trazabilidad física y lógica.** Se trata de un primer ámbito de impacto, derivado de la monitorización de los activos, su representación gráfica, la implementación de alarmas y reglas de actuación básicas. Por ejemplo, la georepresentación cartográfica de activos permite identificar riesgo de pérdidas y mejorar la asignación de recursos.
 - **Gestión y optimización.** Este segundo ámbito de impacto se refiere a la generación de modelos

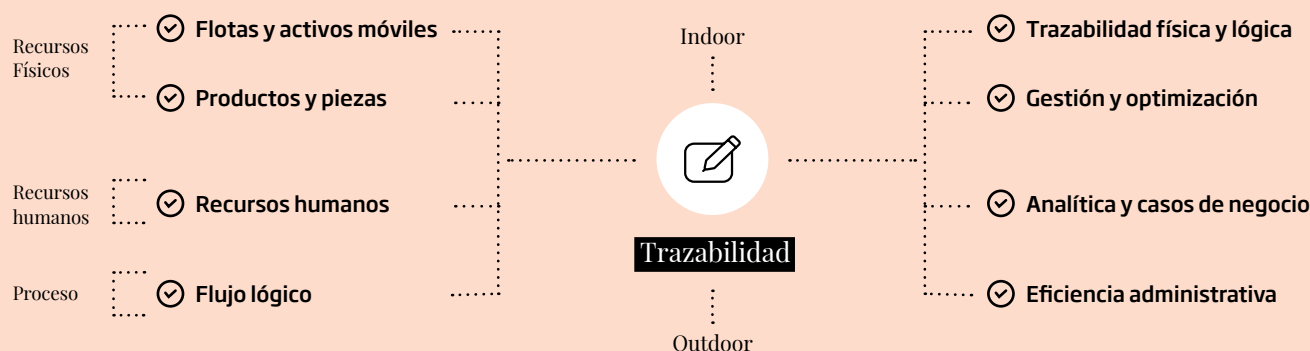
de gestión optimizada basados en la explotación de la información capturada de los activos. Por ejemplo, el proceso de todo el *big data* capturado de la sensórica sobre los activos puede posibilitar el cálculo dinámico de hora estimada de llegada de los transportes, lanzando avisos proactivos de potenciales retrasos al cliente final.

- **Analítica y casos de negocio.** Un tercer ámbito de impacto está ligado al desarrollo de modelos analíticos avanzados sobre los datos capturados para la trazabilidad. Por ejemplo, a partir del análisis inteligente de los datos capturados es posible desarrollar modelos de optimización dinámica de rutas en tiempo real cruzando la variabilidad de la demanda (peticiones, puntos de entrega al cliente final...), de la oferta (disponibilidad de los medios de transporte, roturas de stocks...) o las condiciones de contorno (tráfico en las carreteras, clima...).

- **Eficiencia administrativa.** Este último ámbito puede considerarse transversal al resto de ejes de impacto y está relacionado con la digitalización de todos los procesos lógicos y administrativos de la cadena de suministro. En este caso estaríamos hablando, por ejemplo, de la digitalización y trazabilidad del ciclo pedido- albarán- factura o del ciclo de admisión de transporte, confirmación de carga, salida, entrega y recepción en cliente.

De entre todos los ámbitos descritos anteriormente, el **activo a monitorizar** es el que facilita una mejor comprensión del caso de negocio y de la solución funcional y tecnológica que lo soporta. Por ello, resulta conveniente abordar los diferentes tipos de trazabilidad desde este prisma.

Ámbitos de actuación para la trazabilidad integral



03.1 Trazabilidad de recursos físicos

Para obtener todos los beneficios relacionados con su digitalización, la trazabilidad de recursos físicos (flotas y productos o medios) debe abordarse desde un punto de vista integral, cubriendo toda la Cadena de Valor, es decir, debe plantearse una **trazabilidad extremo a extremo**.

Este enfoque integral puede desplegarse a través de los dos grandes elementos de la cadena, que tienen características particulares a efectos de trazabilidad:

- **Planta, almacén origen, centro de expedición o punto de entrega.**

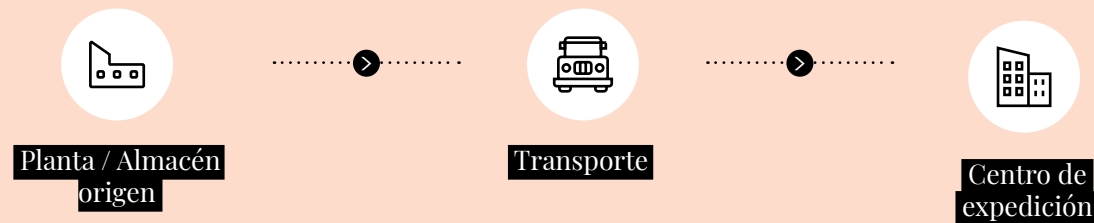
En este caso, se trata de un escenario de **trazabilidad indoor**, generalmente caracterizado por un alto volumen de elementos a sensorizar y

movimientos continuos del activo a monitorizar. Técnicamente deben plantearse soluciones de trazabilidad **precisas** en cuanto a la localización del activo (del orden de 1-10 metros) y debe prestarse especial atención al **ciclo de vida del dispositivo** de sensorización (asegurando que el resultado del business case es razonable y previendo su despliegue, operación, reparación y logística de retorno).

- **Transporte (en flujos de aprovisionamiento o distribución)**

En este caso, se trata de un escenario de **trazabilidad outdoor** generalmente caracterizado por utilizar dispositivos de sensorización

Esquema de trazabilidad de recursos físicos



embarcados (ligados a los medios de transporte), involucrar a un menor número de elementos y existir un número menor de movimientos del activo (en comparación a la trazabilidad indoor).

Desde el punto de vista tecnológico, debe prestarse especial atención a la **cobertura y fiabilidad** de las comunicaciones, debido a la naturaleza de los movimientos y las distintas condiciones de conectividad (transporte capilar, transporte de larga distancia entre distintas regiones, países, condiciones orográficas, etc).

En el caso de **trazabilidad en Planta, Centro de expedición- Punto de entrega** resulta relevante la monitorización tanto de **productos o semielaborados** como de los **medios físicos** que permiten su movimiento dentro de la planta-almacén. Algún ejemplo de medios físicos a monitorizar serían los pallets, contenedores, cajas o jaulas que transportan los productos finales o intermedios dentro de la planta. En este caso, siguiendo los ejes descritos anteriormente, podrían identificarse los siguientes ejemplos de **casos de uso de la trazabilidad de recursos físicos**:

- **Trazabilidad física. Identificación de transportistas y carga.**

El despliegue de las nuevas **tecnologías de visión** permite el **reconocimiento individual** (directo o indirecto) de cada uno de los elementos involucrados en el proceso de descarga y recepción de mercancía. Es decir, es posible identificar unívocamente al **transportista-vehículo** (confirmando automáticamente la autorización para su admisión en el recinto) o la carga (simplificando el proceso de

comprobación de albaranes de carga y contraste con el contenido de la entrega).

- **Gestión y optimización. Reducción mermas en procesos de carga-descarga**

Mediante el despliegue de **soluciones de trazabilidad sobre los productos o medios** que se deben cargar (procesos de entrega) o descargar (procesos de recepción de mercancías) y la **gestión inteligente de los datos capturados** en tiempo real es posible reducir significativamente las **mermas de material** en este proceso. Así, el despliegue de sensores en cada uno de los elementos y de arcos lectores, es posible automatizar los procesos de carga, reducir los errores en la conformación de envíos y el potencial extravío de elementos.

Por ejemplo, actualmente Zara emplea más de 500 millones de chips RFID ubicados en el interior de las alarmas antirrobo de sus prendas para, a través del conocimiento de la localización de cada prenda, optimizar el inventario de las tiendas y los flujos de materiales.



- **Análítica y casos de negocio. Control en tiempo real de inventario**

La **sensorización de la mercancía** (elementos, paquetes, jaulas...) la **análítica** y el procesamiento inteligente de los datos sobre sus movimientos permite aumentar la precisión del control del inventario. Así, es posible conocer en cada momento el **estado real del inventario** y su **ubicación** dentro de las estanterías del almacén o en las zonas de tránsito de la operación. Como resultado, es posible ajustar el dimensionamiento del inventario, avanzar en las políticas de reaprovisionamiento y mejorar el nivel de servicio a la vez que se optimizan los costes.

- **Eficiencia administrativa. Digitalización del ciclo pedido-albarán-factura**

El despliegue de soluciones de digitalización de procesos permite **automatizar y optimizar tareas** realizadas tradicionalmente en papel (por ejemplo, gestión albaranes, emisión y custodia de facturas...). En este caso, además de **reducir los tiempos y esfuerzos** dedicados a tareas administrativas, se asegura una mayor visibilidad de todo el proceso, se

garantiza la custodia de documentos y la potencial accesibilidad por terceros actores.

La mayor parte de las empresas del sector de automoción emplean soluciones de intercambio digital. Por ejemplo, el fabricante Nissan hace uso de canales de comunicación digitales con sus proveedores, mediante la conversión a formatos de intercambio electrónico de la documentación administrativa, lo que supone un gran ahorro y aumento de fiabilidad de este tipo de procesos.

03.2 Trazabilidad del transporte

- En el caso de **trazabilidad en el transporte**, se trata de monitorizar los **medios de transporte (vehículos)** relacionados tanto con la logística primaria como con la secundaria. Cualquier medio de transporte (camión, furgoneta, vagón...) puede ser potencialmente monitorizado de manera segura y eficiente, convirtiéndose por ello en un generador de información de valor asociada al proceso logístico.

Existen multitud de soluciones que dan respuesta a los diferentes retos del proceso. Algunos ejemplos de casos de uso y beneficios podrían ser los siguientes:

- Trazabilidad física. Georepresentación de medios logísticos**

Las soluciones de **trazabilidad física de medios de transporte** mediante **sensores de posición (GPS)** y **comunicaciones de bajo consumo (LPWAN)** están especialmente indicados para elementos que tienen una **alta movilidad** dentro de la planta/ almacén o entre centros (por ejemplo, jaulas, pallets...).

Esta sensorización permite **representar cartográficamente** en tiempo real su posición y sus movimientos, sentando las bases para aplicaciones "elementales" (localización para evitar pérdidas o robos de los medios físicos) o más "avanzadas" (optimización de aprovisionamiento a línea de fabricación).

Algunas empresas de distribución de última milla emplean actualmente sistemas de georepresentación de medios. Por ejemplo, la empresa DHL emplea un sistema de gestión de flotas en carretera denominada *am+* que le permite la monitorización en tiempo real del estado de las rutas, de las recogidas y entrega de mercancías, la optimización de sus recursos y la mejora de la calidad del servicio al cliente final.

- Gestión y optimización. Evaluación de proveedores logísticos**

Mediante la **explotación de la información capturada** sobre los **camiones y las rutas de reparto** (tiempos incurridos en transporte, tiempos de carga y descarga, conciliación de albaranes...) también es posible desarrollar **modelos de evaluación de proveedores** y, de este modo, optimizar su gestión mediante, por ejemplo, la asignación de cargas. Así el despliegue de soluciones de monitorización de flujos permite definir y medir KPIs de servicio, ajustar el modelo de retribución/ incentivos y variar la asignación de rutas y transportistas.

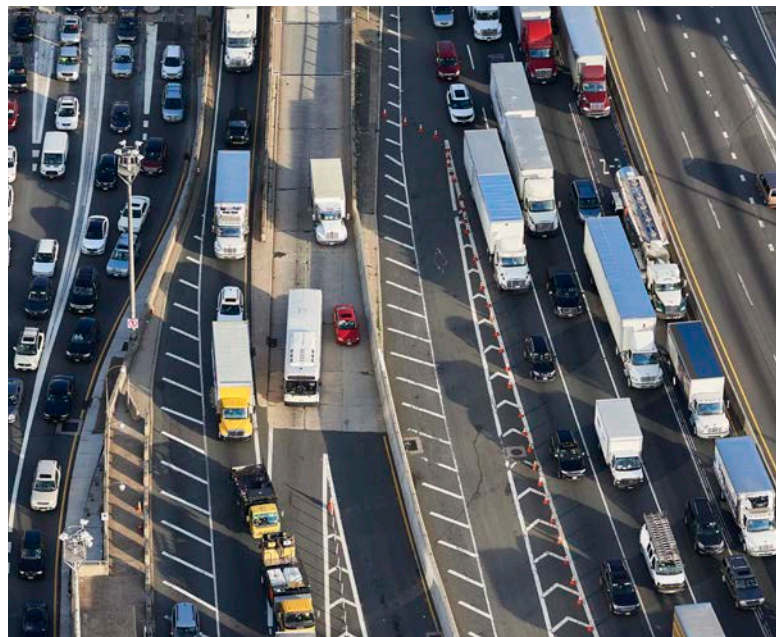
- Analítica y casos de negocio. Optimización dinámica en tiempo real de rutas**

Mediante la **sensorización del transporte**, y la **integración mediante plataformas IoT**

de información multi-origen (vinculada o no directamente con el transporte) en tiempo real, es posible desarrollar **modelos analíticos avanzados** que optimicen de manera dinámica la **planificación del transporte**.

Este caso de aplicación es de especial utilidad en el transporte capilar de productos que no tienen una ruta fija (por ejemplo, la entrega de paquetería, o el reaprovisionamiento de máquinas de vending), dado que es en este ámbito donde existe un mayor valor en ajustar de manera dinámica la oferta de transporte prevista a la demanda real.

Como ejemplo de lo anterior, Coca-Cola Femsa está utilizando soluciones de simulación para redes complejas de distribución. La empresa emplea herramientas software que le permiten plantear y comparar diferentes escenarios, simular costes y nivel de servicio para, como resultado, optimizar la operación de su red de transporte, reducir el número de kilómetros recorridos y el tiempo de entrega de la mercancía.



- Eficiencia administrativa. Gestión digital de vehículos.**

Al igual que en el caso de **trazabilidad indoor**, el despliegue de soluciones de **digitalización de la información y documentación** asociada al flujo de transporte (por ejemplo, permisos de carga, autorización de conducción de mercancía peligrosa, albaranes...) permite agilizar todos los **procesos administrativos** y permite organizar la información de modo que pueda ser consultada e integrada en cualquier lugar e instante.

03.3 Trazabilidad de recursos humanos

En la cadena de valor de la industria existe elemento fundamental por su participación en todas las etapas del flujo: las personas. Por ello, la mejora de la **trazabilidad y visibilidad sobre la actividad de los operarios**, también conocido como *personal tracking*, resulta clave y ofrece múltiples ámbitos de potencial mejora.

En este caso, la trazabilidad de los operarios también presenta características particulares según el entorno en el que se desarrolla su función:

- **Planta, almacén origen, centro de expedición o punto de entrega**

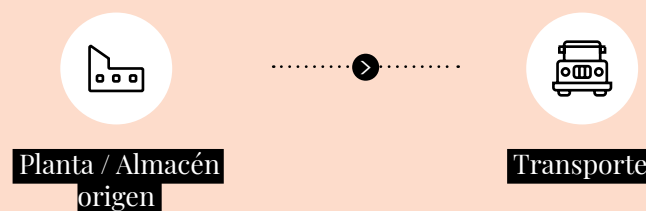
Se trata de un escenario de **trazabilidad indoor** donde es habitual encontrar trabajadores involucrados en el proceso productivo o en operaciones logísticas. En este caso, desde un punto de vista técnico deben plantearse soluciones

que aseguren la **precisión de la localización** (para soportar el desarrollo de los casos de uso relacionados), que primen factores de seguridad de trabajador y que garanticen la **protección de los datos**.

- **Transporte (en flujos de aprovisionamiento o distribución)**

En este caso se trata de un escenario de **trazabilidad outdoor** caracterizado por trabajadores en contacto continuo con la carga y el vehículo de transporte. Desde el punto de vista técnico, las soluciones de trazabilidad deben garantizar una **cobertura y fiabilidad** de las comunicaciones máxima, además de **precisión y tiempos de respuesta muy cortos** en los que se refiere a la interacción entre trabajador y vehículo.

Flujo de trazabilidad de recursos humanos



En el primero de los dos escenarios (**trazabilidad en planta**), la trazabilidad de los operarios tiene casos de uso generalmente relacionados con dos ámbitos: **mejora de la seguridad** y de la **productividad**. En este caso, ejemplos de casos de uso y beneficios de la trazabilidad en los ejes señalados podrían ser los siguientes.

- **Trazabilidad física. Control de acceso y gestión de EPIs**

Las soluciones de trazabilidad permiten mejorar de manera relevante la **seguridad general** (mediante un mejor control de acceso a zonas restringidas) y la **del operario**, gracias al establecimiento de la relación entre las zonas de la planta/ almacén y la identificación unívoca de los operarios. Por ejemplo, en entornos de producción en los que el operario necesita emplear una serie de elementos

de autoprotección definidos (EPIs), puede **validarse** automáticamente que los operarios cuenten con todo el **equipamiento preciso** (mediante sensores portables o *wearables*), que se cuenta con los permisos necesarios para el acceso o que el tiempo de estancia en una zona restringida no ha superado los umbrales de seguridad fijados.

Como ejemplo de lo anterior, la empresa Ferrovial ha impulsado un proyecto de Smart Workwear. La iniciativa consiste en la implantación de un sistema de monitorización de los parámetros de salud del empleado que parte de la información capturada por sensores integrados en los chalecos empleados por los operarios. La solución captura una serie de parámetros biométricos, los analiza en relación a los criterios de salud y propone alarmas y avisos para mejorar la seguridad del trabajador en las operaciones.



- **Gestión y optimización. Visibilidad de turno**

Mediante el despliegue de **wearables** o **elementos de sensorización** ligados al operario (en chalecos, cascos...) es posible **controlar su posición** en cada momento e identificar potencial **absentismo**. Sin embargo, este caso de uso no suele desplegarse, debido a los conflictos que surgen con la privacidad del trabajador y sus derechos reglados. Casos basados en la **sensorización personal** como los indicados en el apartado anterior, sí que podrían ser admisibles, en la medida en que el sujeto **no esté identificado de manera personal** o se logre, por ejemplo, un beneficio para su **seguridad**.

- **Analítica y casos de negocio. Analítica de productividad de operarios.**

A partir de la **sensorización** y la **captura de información** en tiempo real sobre los **movimientos de los operarios** en la planta (incluso de los movimientos realizados en las operaciones productivas) es posible desarrollar modelos analíticos que ajusten en tiempo real el programa de operación (órdenes de trabajo) o que incluso mejoren la ergonomía de los movimientos. Este tipo de aplicaciones son de especial interés en operaciones que requieren del **"balanceo" de operarios** en puntas de trabajo horaria; por ejemplo, cuando los trabajadores se destinan, según picos de trabajo no programados, a operaciones de carga, descarga o preparación de envíos.

Algunas compañías están realizando proyectos piloto para testar este tipo de soluciones. Por ejemplo, el fabricante de automóviles General Motors está probando un sistema de monitorización de algunos de los movimientos de los operarios mediante sensores sociométricos colocados por la planta (no en el operario). En la solución, los sensores establecen **zonas de productividad** capturando y analizando tonos de voz, movimientos y posturas de los operarios. De este modo, es posible obtener información anónima sobre áreas de mayor

o menor productividad para posteriormente abordar proyectos de mejora o reingeniería.

- **Eficiencia administrativa. Gestión digital de la seguridad del operario.**

En el ámbito de la **trazabilidad de operarios**, las **soluciones de digitalización** permiten agilizar todo el **soporte documental relativo a la seguridad del trabajador**. En este caso, la digitalización de los permisos de manipulación, cursos de seguridad, etc. pueden digitalizarse para posibilitar su acceso desde cualquier ubicación o su contraste con otros procesos y flujos de trabajo (por ejemplo, antes de realizar una tarea).

En el caso de **trazabilidad de recursos humanos en el transporte**, la monitorización se refiere fundamentalmente a los **transportistas o conductores**, aunque también es posible **relacionar** la información correspondiente al transportista con la asociada a la naturaleza de la carga o a la **explotación del vehículo** como activo (características técnicas, política de mantenimiento, consumo de combustible. De hecho, en la medida en que se cruce más de un eje de análisis (persona- carga- activo), generalmente será posible desarrollar casos de uso con mayor valor añadido.

De entre el amplio conjunto de ejemplos de casos de uso y beneficios de la trazabilidad en este ámbito, se podrían destacar los siguientes:

- **Trazabilidad física. Obtención de datos asociados a la conducción.**

Las soluciones de **trazabilidad física** aplicadas a los **transportistas** se encuentran generalmente integradas las con soluciones de **monitorización de los vehículos**. En este caso se sensoriza al elemento de transporte (el camión), pero se recogen **datos referidos al conductor**, como si lleva puesto o no el cinturón, la apertura de puertas en un punto no previsto, el control de la temperatura en bodega o el régimen de conducción. De esta manera es posible

desarrollar casos de uso basados en una analítica básica (alarmas en caso de superar una temperatura determinada o velocidades no permitidas) o avanzada (relacionando las prácticas de conducción con el ciclo de mantenimiento del vehículo).

Por ejemplo, la empresa LeasePlan emplea dispositivos telemáticos embarcados en el medio de transporte para obtener información del vehículo y relacionarla con el conductor identificado previamente. Ello permite identificar paradas no programadas, la apertura de las puertas o la llegada al destino final. Adicionalmente, esta información puede integrarse con soluciones de gestión de flotas para lograr una optimización global de toda la red.

- **Gestión y optimización. Rendimientos en procesos de carga y descarga.**

Si en el proceso de **carga-descarga de materiales** se despliegan **sensores en la carga y el operario** y se integra la información de **posición del operario** con los datos del **producto** que manipula, es posible obtener los **rendimientos asociados al proceso** o evaluar la distinta productividad de los operarios. No obstante, en general, este tipo de cruce de información suele observarse más como un ejercicio de dimensionamiento inicial del proceso, que como medida continua de la productividad.

- **Analítica y casos de negocio. Driver behaviour.**

Como se indicaba anteriormente, si se **monitorizan diversos elementos y parámetros físicos del vehículo** (velocidad, consumo de combustible, presión de ruedas...) y se cruza esta información con la **identificación unívoca del conductor**, es posible desarrollar casos de analítica avanzada con gran valor en el caso de explotación de grandes flotas de vehículos.

Así, cuando se extrae y consolida información histórica del vehículo (aceleración, velocidad, rutas realizadas...), es posible obtener **patrones de conducción** y desarrollar modelos analíticos que relacionan el **comportamiento del conductor** (*driver behaviour*) con externalidades no deseadas (riesgo de accidentes, de afectación de la carga, consumo excesivo de combustible...). A partir de ello es posible establecer alarmas, planes de formación o incentivos a las buenas prácticas.

- **Eficiencia administrativa. Relación transportista-carga-albarán.**

La aplicación de soluciones de **digitalización de la información** asociada al proceso de **carga-transporte-descarga** ofrece también casos de uso con potencial valor.

Por ejemplo, en este caso, es posible automatizar y digitalizar la **relación existente entre el transportista, la carga y los documentos de soporte**, de modo que se asegura la correspondencia, se agilizan los procesos de comprobación y es posible almacenar de manera organizada toda la información histórica para su consulta en cualquier lugar e instante.



03.4 Trazabilidad de proceso

Los **procesos industriales** suelen entenderse generalmente bajo una perspectiva centrada en lo físico, de modo que se habla de operarios, máquinas, materiales... Sin embargo, para ofrecer un seguimiento completo de los procesos industriales es necesario **establecer una correspondencia digital** con los procesos que discurren a lo largo de toda la cadena de valor.

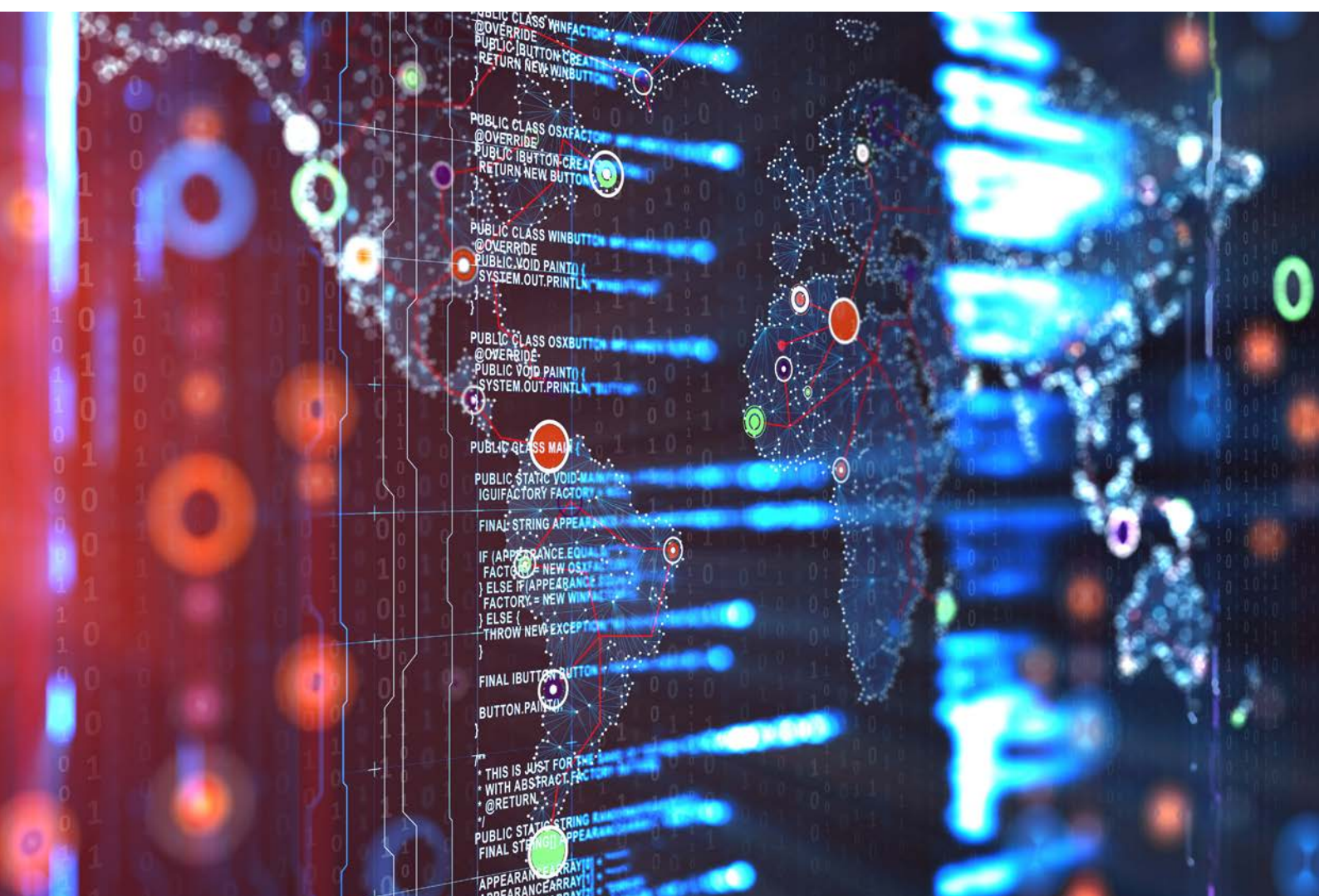
En este contexto surge el concepto de **trazabilidad de proceso** que se refiere a la **monitorización de todas las etapas de la cadena de valor**, independientemente de su naturaleza y con el fin de aumentar su control, visibilidad y eficiencia.

En un escenario industrial de amplia diversidad de procesos, fuentes de datos y actores involucrados es fundamental asegurar una **trazabilidad** de proceso estandarizada, estructurada y totalmente integrada con el resto de planos de análisis de trazabilidad. Algunos ejemplos de casos de uso e impactos de este tipo de trazabilidad podrían ser los siguientes:

- **Trazabilidad física y lógica.** Segregación de lotes en investigaciones de calidad.

Mediante el despliegue de soluciones de trazabilidad del proceso (apoyadas en tecnologías como código de barras, RFID o blockchain) y su **reflejo estructurado en los sistemas de información de soporte**, es posible aproximarse a una **trazabilidad unitaria de las piezas y productos** en todo el flujo de producción y logística.

De esta manera, si se detectan problemas de calidad al final del proceso (o incluso reclamaciones del cliente), es posible agilizar la identificación y aislamiento de los procesos, etapas y piezas afectadas. Ello supone una mejora profunda de los procesos de investigación a posteriori, supone ahorros muy relevantes en dinámicas que implican la retirada de producto y sienta las bases para una mejora de la calidad global.



En el sector de automoción ya es posible encontrar algunos ejemplos de proyectos piloto que despliegan tecnologías blockchain para contribuir a la trazabilidad del proceso. Por ejemplo, BMW, Ford, Renault y GM, entre otros fabricantes, han lanzado la iniciativa Mobility Open Blockchain (Mobi) como grupo de trabajo para el desarrollo de una plataforma blockchain que despliegue estándares comunes para la trazabilidad del producto a lo largo de diferentes etapas (fabricación, logística...) del proceso de fabricación del automóvil.

- **Gestión y optimización. Trazabilidad extremo a extremo de flujos lógicos.**

La **integración extremo a extremo de flujos lógicos** (p.e. cubriendo las etapas de aprovisionamiento, producción y distribución) sienta las bases para una trazabilidad completa de los elementos y procesos que intervienen en el producto final. En este caso, la trazabilidad se basa fundamentalmente en la definición de **modelos de datos coherentes** a lo largo de toda la cadena (de modo que la información referida a cada elemento y etapa pueda irse enriqueciendo y actualizando en todo el proceso), la **integración y comunicación entre sistemas** y, por último, la **garantía en la fiabilidad de la información**.

Los beneficios derivados de esta trazabilidad extremo a extremo están relacionados con el conocimiento “aguas abajo” de todo el histórico del proceso del producto, lo que es de especial importancia cuando se trata de garantizar la autenticidad de un producto (por ejemplo, en artículos de lujo), su calidad (por ejemplo, en productos ecológicos) o la naturaleza de su proceso productivo (por ejemplo, en artículos farmacéuticos o de agricultura sostenible).

- **Análítica y casos de negocio. Procesos de mejora de la calidad.**

Relacionado con los casos indicados anteriormente, la trazabilidad extrema a extremo de los procesos lógicos puede sentar las bases para el desarrollo de **modelos analíticos avanzados de mejora de la calidad**. Por ejemplo, la integración y trazabilidad de la información entre el proceso de control de calidad en piezas del proveedor, el montaje de partes y el control de calidad al final de una línea de producción ofrece una base para desarrollar modelos analíticos avanzados que relacionan la calidad observada con las características de las piezas de un lote específico o un proveedor.

En el sector de automoción existen varios ejemplos de empresas proveedoras de primer nivel (o *Tier 1*) que desarrollan modelos de analítica avanzada para predecir el porcentaje de desperdicio (o *scrap*) tomando como base la trazabilidad de los procesos, es decir, usando como *inputs* información integrada del proceso productivo planificado, del real (pintura, montaje...), y del resultado del proceso de verificación o control de calidad.

- **Eficiencia administrativa. Seguimiento digital de procesos de calidad.**

Finalmente, las soluciones de digitalización de procesos permiten no solo **automatizar todos los flujos de trabajo documental** relacionados con la calidad, sino ampliar su ámbito de actuación a toda la cadena de valor. En este caso, la trazabilidad completa de los flujos impulsa un nuevo ámbito de visibilidad (completa) y de actuación de las iniciativas de calidad.

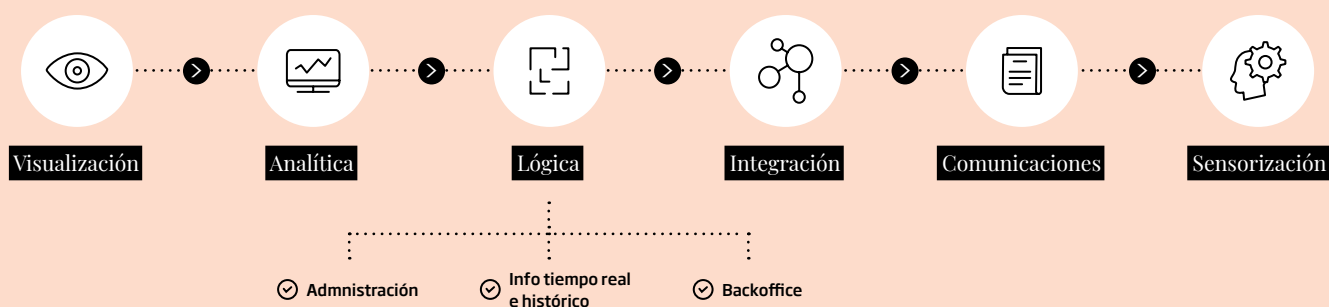


03.5 Arquitectura de referencia

El despliegue de las soluciones de trazabilidad requiere desplegar un ecosistema tecnológico escalable, flexible y sostenible, desde el punto de vista de su operación y su eficiencia económica. Para ello, la arquitectura tecnológica es similar a la de referencia en el ámbito IoT y suele estructurarse en las siguientes capas:

- **Capa de Sensorización:** encargada de la captura de la información masiva procedente del mundo físico.
- **Capa de Comunicaciones:** encargada del envío de los datos a través de diferentes protocolos de comunicación de manera eficiente, fiable y segura.
- **Capa de Integración** encargada de la recepción e inserción de la información en una plataforma IoT (conforme a una estructura coherente y óptima), su almacenamiento y puesta a disposición para el desarrollo de funcionalidades lógicas.
- **Capa de Lógica** encargada del procesamiento de los datos, desarrollo de reglas, algoritmos para dar soluciones a los retos que plantean los procesos de negocio.
- **Capa de Analítica** encargada de soportar el desarrollo y operación de modelos de analítica avanzada sobre los datos disponibles para integrarlos en la capa lógica.
- **Capa de Visualización** encargada de la presentación de la información y los resultados al usuario final, conforme a los criterios de ergonomía, flexibilidad, seguridad y eficiencia tecnológica.

Stack tecnológico para trazabilidad basado en arquitectura IoT



Bajo este esquema, una **arquitectura destinada al despliegue de soluciones de trazabilidad** debe ser lo suficientemente **flexible y eficiente** en las capas básicas (sensorización y comunicaciones) como para recoger una amplia variedad de elementos a sensorizar, entornos físicos y casos de uso, de modo que **cada solución se adapte al problema referido y al coste- beneficio esperado**.

Por ejemplo, la solución para responder a la **captura de información continua en un entorno cerrado** y con necesidades de alta precisión (como es el caso de la localización de medios de transporte en planta para aprovisionamiento a línea) iría construida sobre una arquitectura cuya capa básica (sensorización y modelo de comunicaciones) se basará en tecnologías del tipo **Bluetooth Low Energy (BLE)**.

Por otro lado, en el caso de buscar una solución que exigiera la **obtención de posiciones de activos en lugares remotos** sin apenas cobertura de

comunicaciones móviles, el tipo de solución podría implementarse sobre sistemas de **redes LPWAN** como **LoRa**, gracias a la cual se podría desplegar infraestructura en aquellas zonas donde requiriésemos cobertura adicional.

Por todo ello, dada la proliferación de **nuevas tecnologías en el ámbito de trazabilidad**, resulta esencial conocer el **abanico de soluciones de sensórica y comunicaciones** existentes, analizar la adecuación de cada tecnología a cada caso de uso y seleccionar aquellas que ofrezcan una mejor adecuación al problema en términos de eficacia, sostenibilidad y coste-beneficio.

Las **tecnologías de comunicaciones** sirven para capturar la posición del activo y para transmitir la información a otros dispositivos o a Internet. A modo de ejemplo no exhaustivo, algunas de estas **tecnologías** empleadas generalmente en soluciones de trazabilidad son las siguientes:

	BLE	GPS	WiFi	RFID	NFC	LoRa
Funcionamiento	Bluetooth low energy envía una señal; dispositivo detecta y actúa en base a reglas	Señal radio por satélite; dispositivos reciben la señal y posicionan	Puntos de acceso inalámbricos detectan dispositivos y triangulan por intensidad de señal	Transmisor radio "reader" reciben información de un dispositivo "tag" y se desarrollan reglas	Chips RFID UHF pasivos transmiten datos a terminales muy cercanos	Comunicaciones inalámbricas de bajo consumo (LPWAN) con despliegue de infraestructura
Rango	1 - 50 metros	Global	20 - 50 metros	1cm - 50 metros	< 10 cm	5 - 20 km
Accesibilidad	● ● ●	● ● ● ●	● ● ●	● ●	● ●	● ●
Precisión	● ● ● ●	●	● ● ●	● ● ● ● ●	● ● ● ● ●	● ●
Seguridad	● ● ●	● ● ●	● ●	● ● ● ●	● ● ● ● ●	● ● ● ●
Coste	● ● ● ●	●	● ●	● ● ●	● ● ●	● ●
Recomendación uso	Trazabilidad indoor, mensajes punto a punto	Trazabilidad indoor y navegación	Trazabilidad indoor con infraestructura ya existente	Trazabilidad indoor de alto volumen de activos (nivel SKU) con alta precisión	Trazabilidad indoor para comunicaciones one-to-one de alta seguridad	Trazabilidad outdoor en entornos con poca cobertura de com. Móviles

Tabla comparativa de tecnologías de comunicaciones en base a requerimientos del caso de uso

Además de la posición de los activos, existen otras **dimensiones físicas** empleadas en soluciones de trazabilidad. Estas pueden capturarse mediante diferentes tipos de sensores. Sin afán exhaustivo, algunos de los sensores más empleados son los siguientes:

- **Acelerómetro.** Determina la aceleración del movimiento de un activo, y puede utilizarse, por ejemplo, en soluciones de detección de patrones de conducción del chófer, permitiendo identificar valores altos de aceleración con conducciones agresivas.
- **Giróscopo.** Se emplea para identificar giros en el movimiento de un activo. Junto con el acelerómetro, puede servir, por ejemplo, para construir soluciones de seguridad de operarios mediante la detección de caídas u otras situaciones peligrosas.
- **Magnetómetro.** Permite conocer el campo magnético y puede emplearse, por ejemplo, en soluciones que requieren conocer el rumbo del movimiento del activo o detectar un activo que presenta un campo magnético propio o inducido (uso de imanes).

- **Presencia.** Se emplea para distinguir entre estados binarios asociados al movimiento, es decir, si un activo se mueve o no. Puede aplicarse, por ejemplo, en soluciones de detección movimientos muy pequeños de un activo.
- **Fotoeléctrico.** Responde al cambio de la intensidad de la luz facilitando la construcción de soluciones de trazabilidad de carga en transporte gracias a la detección de apertura-cierre de las puertas del vehículo.
- **Temperatura.** Permite monitorizar la temperatura del activo o de su entorno pudiendo emplearse en soluciones de monitorización de la cadena de frío del activo.

La combinación de los **sensores** empleados y las **tecnologías de comunicaciones** constituyen la capa básica de la arquitectura ya que **determinan el caso de uso de trazabilidad** al que dará respuesta la solución construida.

04. ¿Cómo se está desplegando la trazabilidad en una perspectiva digital?

En la actualidad ya existe una amplia gama de casos de uso de trazabilidad y aplicaciones que están generando impactos a compañías líderes.

En los últimos años, empresas de diversos sectores están impulsando iniciativas digitales con el objetivo común de incrementar la **trazabilidad** como base para responder a los nuevos desafíos de la Cadena de Suministro.

Algunas de estas iniciativas ya están generando **impactos tangibles y retornos de la inversión** en periodos muy reducidos. Estos proyectos desarrollan conceptos que ilustran algunos de los casos de uso descritos en la sección anterior y muestran como las oportunidades de valor tienen aplicación en casos reales. A continuación, se recogen algunos casos de éxito que ilustran ejemplos de trazabilidad de diversos tipos de activo.

- **Trazabilidad de flotas**

Dentro del flujo completo de la Cadena de Suministro, resulta clave lograr una visibilidad completa de la etapa de transporte, bien sea primario o secundario. En esta etapa la **trazabilidad del medio de transporte** (por ejemplo, un camión, un vagón...) cobra especial relevancia ya que de él depende en gran parte la eficiencia global del proceso.

Desde 2016, UPS¹⁶, empresa de paquetería líder internacional, está operando con éxito una **solución de trazabilidad de transporte que permite optimizar la gestión completa de su flota de camiones**. Se trata de un sistema avanzado de navegación y optimización de rutas en tiempo real. El sistema está integrado con la flota de vehículos y permite, comparar en tiempo real la demanda de transporte y la ubicación de la flota. Con esta información, mediante algoritmos avanzados, el sistema permite reconfigurar de manera dinámica y óptima las rutas de recogida y reparto de paquetería, ajustándolas a los cambios en la configuración de la demanda.

La solución de trazabilidad de transporte está implantada en cerca de la mitad de las 55.000 rutas que opera la empresa en EE. UU), y gracias a ella la compañía ha conseguido una disminución media de 11-13 km/ruta, una reducción de cerca de 2 km/día por conductor y un ahorro estimado de 44 M€/año.

- **Trazabilidad de medios**

En la Cadena de Suministro resulta también relevante asegurar la **trazabilidad del producto que se está elaborando o transportando**. Esta trazabilidad puede lograrse bien monitorizando el producto en sí, o bien **controlando los medios** que sirven para su almacenamiento y transporte (por ejemplo, contenedores, cajas, pallets, jaulas...).

En 2017, un proveedor logístico referente mundial¹⁷ con un flujo intensivo en medios de transporte (tanto en número como en valor unitario), ha comenzado a **monitorizar la posición sus medios de transporte**, haciendo uso de tecnología de comunicaciones *Sigfox*, para controlar su ubicación y movimientos, con el fin de **evitar pérdidas y optimizar su uso**. Mediante el despliegue el módulo de *Sigfox*, la empresa ha logrado una trazabilidad integral de los medios procesando la información procedente de los dispositivos de captación implantados en cada uno de los elementos.

A partir de la información asociada a la posición física de los medios y los tiempos durante el flujo (en la planta de producción, en el almacén o en el transporte), se generan mapas de ubicación, alarmas, reglas de actuación y KPIs relevantes para su gestión.

A través de una nueva solución de trazabilidad de medios, la empresa ha conseguido mejorar el control y recuperación de medios de transporte en

(16) UPS: Orion, Big Data = Big Wins for the Environment.
(17) Experiencia Minsait: Proyecto confidencial.

planta, así como el flujo de distribución y logística inversa. En los primeros meses de despliegue se ha conseguido un ahorro directo por la no pérdida de medios estimada en el 5-10% anual y una reducción del tiempo de búsqueda y recuperación de los medios del 40-50%.

- **Trazabilidad de Recursos Humanos**

En aquellas compañías y procesos en las que cobra especial relevancia la participación de la mano de obra (ya sea por su peso en costes o por la criticidad de su intervención en el proceso) resulta clave una **gestión óptima de los recursos humanos**. Esta necesidad puede satisfacerse mediante la aplicación de **soluciones de trazabilidad sobre las personas**.

En 2017, Ferrovial¹⁸, empresa líder en el sector de la gestión de infraestructuras de transporte, inició un proyecto para conocer en qué medida la jornada laboral impactaba sobre el **estado físico y la salud de los operarios**. El proyecto, buscaba comprender cómo responde el cuerpo humano a las diferentes tareas y cómo aumentan los riesgos laborales con la carga de trabajo. Para dar respuesta a este reto, la compañía ha desplegado **dispositivos móviles o wearables en los equipos de trabajo** para realizar un seguimiento de la salud y el bienestar físico de los trabajadores. En concreto, han implantado chalecos inteligentes que, mediante sensores, permiten controlar diferentes parámetros de salud del operario como el ritmo cardíaco, respiración, número de pasos, postura o niveles de estrés. Toda la información se integra en un sistema central y, de manera confidencial y segura, se han establecido correlaciones entre los principales datos fisiológicos y las actividades realizadas por los operarios.

Cruzando los resultados del sistema de trazabilidad con los flujos de la operación, también se han identificado situaciones donde se requiere reforzar la seguridad en la medida en que se ha observado situaciones de estrés o riesgo para los profesionales. Por ejemplo, se han identificado riesgos para la seguridad cuando los vehículos interaccionan con operarios a pie, al realizar tareas en terrenos irregulares, o conducir en momentos de gran afluencia de tráfico. Como resultado, se están integrando cámaras en los vehículos y sistemas de trazabilidad que permiten alertar de manera temprana el riesgo de conflicto entre la operación mecánica y humana, de modo que se refuerza la seguridad en este tipo de maniobras. Desde la implantación del sistema de trazabilidad en operarios, la compañía ha reducido el número de accidentes en cerca de un 50%, ha reducido el nivel de estrés subjetivo en situaciones críticas y, en definitiva, ha incrementado la seguridad de los trabajadores.

- **Trazabilidad de producto**

La **monitorización del flujo logístico del producto** cobra especial relevancia en el caso de empresas del sector del transporte, fabricantes de productos de alto valor o empresas de distribución. En este contexto, las **soluciones de trazabilidad del producto** suponen una oportunidad para incrementar la visibilidad sobre el flujo logístico y de este modo optimizar el proceso, aumentar la fiabilidad de los flujos y mejorar el nivel de servicio.

En 2016, una empresa nacional referente en la distribución alimentaria¹⁹ realizó un proyecto para mejorar la **trazabilidad del flujo de distribución de sus productos y facilitar la operativa entre sus centros distribución y las tiendas**.

Por una parte, se trataba de **monitorizar parámetros básicos del producto** (temperatura), unirlo a **parámetros de la operación y el transporte** (paradas no programadas, apertura de puertas, localización...) para desarrollar casos de uso relacionados con la monitorización de la cadena de frío, prevención de aperturas irregulares de la bodega del camión, aviso con antelación a las tiendas de la llegada del camión y confirmación de la entrega efectiva de la carga.

Para ello, en primer lugar, se desplegaron sensores sobre los productos (en este caso, sobre las jaulas que los contenían) para monitorizar la temperatura y luminosidad del habitáculo. A continuación, para soportar las comunicaciones entre los sensores y el cloud se desplegó una app sobre un dispositivo móvil portado por el propio transportista (sin necesidad instalar un Gateway en el camión). De este modo, era posible capturar y enviar los parámetros necesarios de manera continua y en tiempo real para su integración en una plataforma IoT. La plataforma integraba toda la información para su explotación por un sistema sobre el que se representaban el estado de la carga (temperatura), la posición en tiempo real de los camiones en la red de transporte, la hora estimada de llegada a tienda y se confirmaba el cumplimiento de los niveles de servicio comprometidos.

Con esta base, se desarrollaron alarmas que permitían la actuación rápida frente a desviaciones en la temperatura, apertura de puertas no programadas, desviaciones en las horas de entrega estimadas o incumplimiento en los niveles de entrega. Con la aplicación de la solución de trazabilidad de producto, la empresa de distribución incrementó la visibilidad sobre el flujo de distribución, redujo las incidencias asociadas al nivel del servicio en cerca de un 20%, redujo los costes de transporte un 10% y disminuyó las mermas por rotura de la cadena de frío en un 40%.

(18) Amey: web Ferrovial.

(19) Experiencia Minsait: Proyecto confidencial.

05. ¿Cómo avanzar en una trazabilidad completa de toda la cadena?

Para alcanzar una trazabilidad integral necesario partir de una visión estratégica, seleccionar ámbitos clave para pruebas de valor, prever la extensión y escalado y buscar siempre la generación de impacto a corto plazo

Para abordar la oportunidad que supone la trazabilidad de la cadena de valor de la Industria en todas sus vertientes debe plantearse una **estrategia digital** que permita que las iniciativas **tecnológicas impacten de manera directa y a corto plazo sobre el negocio**. Para ello, la trazabilidad debe plantearse desde una perspectiva global, buscando la integración con toda la cadena de valor y poniendo foco en el impacto sobre las etapas y actividades más críticas.

La estrategia que permite avanzar hacia la trazabilidad integral debe cubrir varias fases, de modo que los fundamentos sean sólidos y se asegure la sostenibilidad y beneficios a largo plazo. Una posible aproximación sería la siguiente:

- **Evaluación de la madurez digital y definición roadmap**

En primer lugar, se debe analizar las etapas clave de la cadena de valor de la compañía con el objetivo de identificar en qué ámbitos los proyectos tecnológicos de trazabilidad ofrecen mayores oportunidades de mejora. Para ello, existen **metodologías de diagnóstico rápido** (quick scan) que permiten identificar de manera sencilla aquellas etapas con mayor potencial en trazabilidad, las posibles tecnologías relacionados y el beneficio esperado. Una vez realizado este ejercicio, es posible definir un **roadmap de iniciativas tecnológicas** en el ámbito de la trazabilidad, asegurando que su definición y priorización están plenamente alineadas con las necesidades del negocio.

- **Creación y lanzamiento de proyectos pilotos**

Una vez definido el roadmap, deben concretarse las **iniciativas** definidas, de modo que se pueda contrastar a corto plazo la idoneidad de la definición y la magnitud del impacto generado. Para ello, suele recomendarse desplegar proyectos pilotos o pruebas de concepto, con un alcance limitado a un ámbito concreto de la trazabilidad y sobre el que puedan obtenerse conclusiones extrapolables a **corto plazo**.

En estos proyectos es fundamental acertar en la selección de la iniciativa, ser realistas en la definición de alcance, seleccionar las tecnologías adecuadas y trabajar con enfoques ágiles que otorguen flexibilidad a los desarrollos y que permitan integrar equipos y visiones multidisciplinares (interna/ externa, funcional/ tecnológica, etc.).

- **Extensión de implantaciones y explotación de los datos**

Una vez desplegados los pilotos sobre ámbitos concretos de trazabilidad y obtenidas las conclusiones pertinentes, es necesario plantear la **escalabilidad de la solución**. Para ello, es necesario considerar no solo la arquitectura tecnológica para una extensión de la prueba de valor, sino prever aspectos relacionados con la operación de la solución, provisión e instalación de sensores y comunicaciones, evolución de la solución inicial, etc

Adicionalmente, en esta etapa de extensión de los proyectos es necesario considerar la **gestión global y explotación de los datos** obtenidos. Para ello debe definirse una **estrategia del dato** que considere no solo su estructuración y almacenamiento (para

maximizar la eficiencia de su gestión), sino que tenga en cuenta los diferentes planos de explotación del dato (casos de uso relacionados con la localización, seguridad, optimización de procesos...), sus condiciones de uso (interno/ externo, en tiempo real/ en batch...), los aspectos legales relacionados y la potencial explotación económica del mismo (lo que se conoce como *monetización del dato*).

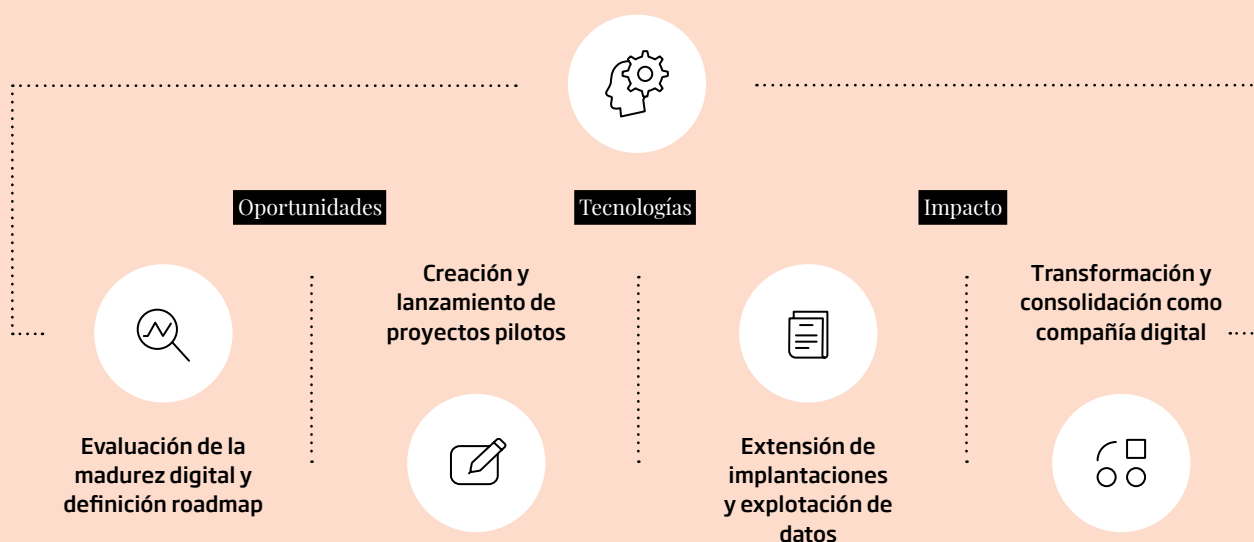
- **Transformación y consolidación como compañía digital**

Tras haber demostrado el valor con un proyecto piloto, haber definido un plan de extensión que sienta las bases para la generalización del beneficio

relacionado con los proyectos de trazabilidad, es necesario explorar la oportunidad de que estas iniciativas impulsen una **transformación** más profunda de la empresa para dirigirla hacia una **compañía digital**.

Esta transformación supone abordar otras fuentes de valor identificadas en la cadena (tras el ejercicio inicial realizado), **desplegar herramientas digitales** en otros ámbitos tecnológicos (por ejemplo, en el de la gestión del mantenimiento, calidad o eficiencia energética) y, de manera muy especial, abordar el encaje de una nueva visión digital con la cultura y organización de la compañía.

Estrategia digital para avanzar en una trazabilidad completa



La atomización y variabilidad del sector industrial obliga a las compañías a construir cuidadosamente una **estrategia digital** que se adapte a su modelo de negocio.

En el caso concreto de la búsqueda de una **trazabilidad extremo a extremo** de toda la cadena de valor es necesario partir de una visión estratégica global, seleccionar las pruebas de valor más representativas, prever una extensión eficiente y sostenible y enfocar todos los esfuerzos hacia la concreción de los impactos sobre el negocio de modo que sean visibles a corto plazo.

06. Conclusiones

Avanzar hacia una trazabilidad integral de la cadena de valor industrial se está consolidando como un requisito necesario para alcanzar nuevas cotas de eficiencia y servicio y mantener posiciones competitivas en el mercado

Los nuevos desafíos a los que se enfrenta la **cadena de valor de la industria** impulsa la necesidad de adoptar nuevos enfoques estratégicos unidos a **cambios profundos a nivel operacional y táctico**. La obtención de una **trazabilidad integral** de toda la cadena de valor supone una oportunidad de alcanzar nuevas cotas de eficiencia, flexibilidad y nivel de servicio.

La trazabilidad podría definirse como aquellas iniciativas tecnológicas, organizacionales y de proceso que permiten la **monitorización de elementos de diferente naturaleza** (activos físicos, recursos humanos y procesos) mediante la monitorización de parámetros clave de la operación. El despliegue del concepto aumenta la visibilidad interna y externa del proceso, sienta las bases para la mejora operacional todas las etapas de la cadena y contribuye a poner al cliente en el centro de la estrategia.

Para alcanzar todos los beneficios potenciales asociados a la trazabilidad, debe abordarse una perspectiva integral sobre toda la cadena, seleccionar los ámbitos de mayor valor potencial y las tecnologías más adecuadas. El despliegue debe partir de la definición de una **estrategia digital** que fije las prioridades del negocio, debe plantear unas **pruebas de valor** inicial que demuestren el impacto y debe considerar la extensión de las iniciativas de una manera eficiente.

Para abordar de manera ágil y efectiva la implantación de la trazabilidad integral a través de una estrategia digital, y superar las barreras y errores comúnmente observados, **Minsait** cuenta con una **metodología** propia diferencial, así como amplias **capacidades** de consultoría (estratégica, de negocio y tecnológica), **activos tecnológicos** y **productos propios best in class** que le permiten implantar extremo a extremo soluciones digitales adaptadas a cada cliente.

Bibliografía

1. P&S Market Research: Global Connected Logistics Market Size, Share, Development, Growth and Demand Forecast to 2023.
2. Minsait, análisis cualitativo mediante entrevistas a cargadores en España (enero – marzo 2017).
3. Informe Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia.
4. IDC Research, análisis sobre 2.000 empresas productivas en España.
5. Minsait, análisis cualitativo mediante entrevistas a cargadores en España (enero – marzo 2017).
6. Mckinsey: Internet of things mapping the value beyond the hype.
7. Revista Nature Climate Change.
8. IHS: IoT Platforms: Enabling the Internet of Things.
9. Cisco: Global Mobile Data Traffic Forecast Update 2014–2019.
10. Mckinsey: Disruptive forces in the industrial sectors.
11. Astic: Transición a IPv6.
12. BBC: Cuáles son las diferencias entre E, GPRS, 3G, 4G y 5G.
13. P&S Market Research: Global Connected Logistics Market Size, Share, Development, Growth and Demand Forecast to 2023.
14. Mckinsey: Internet of things mapping the value beyond the hype.
15. Mckinsey: Internet of things mapping the value beyond the hype.
16. UPS: Orion, Big Data = Big Wins for the Environment.
17. Experiencia Minsait: Proyecto confidencial.
18. Amey: web Ferrovial.
19. Experiencia Minsait: Proyecto confidencial.

Autores

Daniel Seseña

Director de Industria 4.0

dsesena@minsait.com

Ismael Pastor

Consultor Senior de Industria 4.0

ipastorr@minsait.com

Minsait somos la compañía que agrupa todos los negocios de TI de Indra, integramos los mercados verticales, unidades horizontales y de soporte para responder a las necesidades de transformación de los negocios de nuestros clientes.

En Minsait creamos soluciones con impacto, poniendo en valor el producto, la cultura y la oferta transformacional para impulsar la reinención del negocio de nuestros clientes.

En Minsait buscamos la determinación por poner la experiencia, el talento y la inteligencia al servicio de cada cliente, ofreciendo soluciones tangibles capaces de marcar la diferencia.

En Minsait apostamos por el descubrimiento y la apertura de nuevos caminos como garantía de transformación y de generación de impacto a través de la innovación.

**En Minsait, somos la huella que dejamos.
Y la huella que queremos dejar.**

Trazabilidad en la cadena de valor de la Industria

minsait.com

minsait

An Indra company