

Tendencia T07

Trazabilidad digital (RFID, *blockchain*, pasaporte digital de producto)

Código	T07
Categoría	Tecnológica
Criterio C2 – Riesgo de desplazamiento ocupacional	3 – Medio: elimina tareas manuales de registro, inventario físico y documentación en compras, logística, calidad, residuos y cumplimiento. Los perfiles se reconvierten hacia monitoreo digital y validación de datos, sin obsolescencia generalizada.
Procesos transversales afectados	Compras y abastecimiento, Logística de entrada y salida, Control de calidad, Gestión de residuos y Gestión del cumplimiento
Nivel de madurez	4 – Tendencia madura: RFID con cobertura sectorial plena; blockchain para trazabilidad con adopción creciente; Pasaporte Digital de Producto en fase regulatoria de implementación con plazos legales ya definidos

Definición operativa

La trazabilidad digital comprende el conjunto de tecnologías y sistemas que permiten el seguimiento continuo, automático y verificable de materiales, componentes, productos y residuos a lo largo de toda la cadena de valor manufacturera —desde el origen de las materias primas hasta el consumidor final o la gestión post-consumo—, generando registros digitales inmutables, accesibles y compartibles entre múltiples actores de la cadena. En el contexto manufacturero contemporáneo, esta tendencia se articula en tres tecnologías convergentes con distintos niveles de madurez y alcance:

- **RFID (Radio-Frequency Identification):** tecnología de identificación automática mediante ondas de radiofrecuencia que permite la lectura simultánea de múltiples etiquetas sin contacto visual, en tiempo real y a distancia. Es aplicada en logística interna, control de inventarios, seguimiento de activos, gestión de trabajo en proceso (WIP) y autenticación de componentes. Base tecnológica madura con cobertura sectorial plena en retail, automotriz, farmacéutica, logística y manufactura de alta complejidad. El mercado RFID global fue valorado en USD 16,8 mil millones en 2024, con proyección de crecimiento a CAGR del 12,7% hasta 2034 [1].

- *Blockchain* aplicado a trazabilidad de cadena de suministro: registro distribuido, descentralizado e inmutable que proporciona un historial verificable y a prueba de manipulaciones de los eventos de la cadena de suministro (origen, custodia, condiciones de transporte, certificaciones). Permite la colaboración multi-actor sin requerir un intermediario de confianza central. Aplicado especialmente en sectores con alto riesgo de fraude o falsificación (alimentos, farmacéuticos, lujo, minerales de conflicto) y en certificación de origen para cumplimiento ESG. El mercado global de *blockchain* para trazabilidad de cadena de suministro alcanzó USD 2,89 mil millones en 2024, con proyección de CAGR del 31,4% hasta 2034 [2].
- Pasaporte Digital de Producto (PDP): registro digital estructurado que acompaña al producto a lo largo de su ciclo de vida completo, conteniendo información sobre composición de materiales, origen, huella ambiental, condiciones de fabricación, instrucciones de reparación y guías de fin de vida. Mandatado por el Reglamento de Ecodiseño para Productos Sostenibles de la UE (ESPR, Reglamento UE 2024/1781), con implementación progresiva obligatoria a partir de febrero de 2027 (baterías) y extensión a múltiples categorías hasta 2030. El mercado PDP fue valorado en USD 183-214 millones en 2024, con proyección de CAGR del 22,6-34,9% hasta 2030-2034 [3].

La convergencia multiplica el impacto: RFID + Blockchain + PDP como ecosistema integrado

Las tres tecnologías se articulan en una arquitectura de trazabilidad de ciclo de vida completo: el RFID captura los eventos físicos en tiempo real (quién tiene qué, dónde y en qué condición); el blockchain registra esos eventos en un *ledger*² compartido, inmutable y verificable por múltiples actores sin intermediarios; y el Pasaporte Digital de Producto consolida toda esa información en un registro estructurado que sigue al producto desde su fabricación hasta su disposición final. Esta convergencia transforma la trazabilidad de una función operativa interna (saber dónde está el inventario) en una función estratégica y regulatoria de rendición de cuentas ante clientes, reguladores, inversores y consumidores.

² Un ledger es un sistema de registro físico o digital que se utiliza para hacer un seguimiento de las transacciones financieras, los saldos o la propiedad de activos digitales.

Nivel de madurez

La tendencia alcanza madurez de nivel 4 con asimetría interna entre componentes: RFID es nivel 5 (consolidado); *blockchain* para trazabilidad es nivel 3-4 (presente en sectores prioritarios, en transición hacia generalización); y el PDP es nivel 2-3 (marco regulatorio vigente, implementación técnica en construcción). Los indicadores consolidados son:

- RFID con cobertura global y mandatos sectoriales: Walmart expandió en febrero de 2025 su mandato de etiquetado RFID más allá de ropa hacia electrónica y artículos del hogar, acelerando la adopción global. Marks & Spencer y Decathlon reportaron mejoras del 15-20% en precisión de inventario en tienda tras implantaciones masivas de RFID. BMW y Bosch despliegan redes de fábrica habilitadas por RFID para seguimiento de componentes y mantenimiento predictivo. Las ventas de sistemas RFID en Alemania se han más que duplicado en los últimos cinco años [1][4].
- *Blockchain* en piloto UE: el consorcio europeo CIRPASS-2 agrupa más de 150 empresas de sectores de confección y electrónica que testean implementaciones de Pasaporte Digital con tecnología *blockchain*. El mercado de *blockchain* para cadenas de suministro sostenibles alcanzó USD 827,6 millones en 2024, creciendo al 35,1% CAGR hasta 2032 [5][2].
- Marco regulatorio del PDP vigente con plazos definidos: el Reglamento EPR (UE 2024/1781) entró en vigor en julio de 2024. La primera obligación concreta —Pasaporte de Batería para baterías industriales y de vehículos eléctricos— es obligatoria desde el 18 de febrero de 2027. Los primeros actos delegados del plan de trabajo EPR 2025-2030 están siendo adoptados con plazos progresivos para hierro y acero (2026), aluminio, textiles y neumáticos (2027), mobiliario (2028), electrónica y colchones (2029) [6][7].
- Reconocimiento regulatorio global y efecto Bruselas: China desarrolla sistemas paralelos de pasaporte de producto de administración estatal con implementación objetivo en 2027. El efecto Bruselas hace que los fabricantes que exportan a la UE —independientemente de su país de origen— deban implementar el cumplimiento completo, generalizando estándares europeos en toda la cadena global [8].

En el Anexo A4.7 se presentan las evidencias empíricas a nivel internacional que justifican el nivel de madurez asignado, incluyendo casos industriales demostrativos.

Factores impulsores

Regulatorios y normativos

- EPR / PDP de la UE (2024-2030): es el motor regulatorio más potente de la tendencia. La obligatoriedad del Pasaporte Digital para la mayoría de los productos comercializados en la UE —con cronograma escalonado 2026-2030 y extensión a electrónica, textiles, acero, aluminio, neumáticos, mobiliario y maquinaria— crea una

demanda cautiva de infraestructura de trazabilidad digital para todos los fabricantes que operen en o exporten a la UE. El 'Efecto Bruselas' extiende este impacto a fabricantes globales [6][7].

- Regulaciones sectoriales de serialización y trazabilidad: la FDA Drug Supply Chain Security Act (DSCSA) en EE.UU. y la EU Falsified Medicines Directive (FMD) mandatan serialización a nivel de unidad en toda la cadena farmacéutica —creando el mayor despliegue mandatorio de RFID/QR para trazabilidad en el mundo. La FDA Food Safety Modernization Act (FSMA) amplió los requisitos de trazabilidad para alimentos de alto riesgo en agosto de 2024 [4][13].
- Reglamento sobre minerales en conflicto y *due diligence* ESG: la necesidad de demostrar el origen libre de trabajo forzado y condiciones ambientales aceptables en minerales críticos (cobalto, litio, tantalio) para cadenas de valor de baterías EV y electrónica, genera demanda creciente de *blockchain* para trazabilidad de origen en materiales estratégicos.

De mercado y consumidores

- Demanda de transparencia por parte de compradores institucionales: los compradores industriales globales exigen cada vez más evidencia verificable del origen, condiciones de fabricación y huella ambiental de sus proveedores. Los mandatos de RFID de Walmart y los programas de *due diligence* de grandes fabricantes de piezas originales automotrices son el mecanismo de transmisión de estas exigencias a toda la cadena.
- Lucha contra falsificaciones en bienes de alto valor: el mercado de medicamentos falsificados representa una pérdida estimada de USD 83 mil millones globalmente (OMS, 2024). La industria de bienes de lujo, minerales preciosos (De Beers, plataforma Tracr para diamantes) y vinos de alta gama adopta *blockchain* como herramienta de autenticación y diferenciación de valor [14].
- Economía circular y diseño para el fin de vida: el PDP facilita la reutilización, reparación y reciclaje al proporcionar información precisa sobre composición de materiales y condiciones de uso. Europa alcanzó en 2023 un 11,8% de consumo de materiales reciclados; el PDP es el instrumento habilitador para escalar ese porcentaje [3].

Tecnológicos

- Caída de costos de etiquetas RFID y NFC: el precio de las etiquetas UHF pasivas de RFID ha caído por debajo de USD 0,04, abriendo aplicaciones en artículos de consumo masivo y productos de bajo precio unitario que antes no justificaban la inversión. Esto democratiza la trazabilidad RFID hacia sectores y empresas que históricamente estaban excluidos por razones de costo [4].
- Integración IoT-*blockchain* para captura automática de eventos: la combinación de sensores IoT, etiquetas RFID/NFC y *ledgers blockchain* permite el registro automático y continuo de eventos de la cadena de suministro —temperatura, ubicación, custodia, condiciones ambientales— sin intervención manual, eliminando el principal vector de error y fraude en los sistemas de trazabilidad tradicionales.
- Interoperabilidad entre plataformas como imperativo estándar: la creación del comité ISO/IEC JTC 5 en 2026 y los esfuerzos de estandarización del GS1 para PDPs resuelven gradualmente la fragmentación de plataformas propietarias incompatibles, que era la principal barrera técnica de adopción empresarial.

Análisis prospectivo

Escenario de corto plazo (0-2 años)

El período inmediato estará dominado por la preparación técnica y organizacional para el cumplimiento del Pasaporte de Batería (febrero 2027) y los primeros actos delegados del ESPR. Las empresas que fabrican baterías industriales o EV, o que son proveedores de la cadena automotriz europea, enfrentan un plazo inminente y no negociable. En paralelo, la expansión del mandato RFID de Walmart a nuevas categorías de producto acelerará la adopción industrial en la cadena de proveedores. El mercado *blockchain* para trazabilidad sostenible superará USD 827 millones en 2024, impulsado por exigencias de ESG *supply chain* y legislación de *due diligence*.

Las empresas que no comiencen la implementación en este período enfrentarán restricciones de acceso a mercados europeos y riesgos de pérdida de grandes clientes que exijan evidencia digital de trazabilidad como condición contractual.

Escenario de mediano plazo (3-5 años)

Para 2027-2030, el PDP dejará de ser una exigencia exclusivamente europea para convertirse en el estándar global de facto mediante el Efecto Bruselas: cualquier fabricante que opere en cadenas de valor internacionales deberá implementarlo, independientemente de su país de producción. La estandarización avanzará con el trabajo del ISO/IEC JTC 5 y la maduración de las plataformas de interoperabilidad. China desarrolla paralelamente sistemas propios, generando tensiones de soberanía de datos y desafíos de interoperabilidad para fabricantes multinacionales.

El PDP transformará la trazabilidad de una función reactiva (registrar lo que ocurrió) en una función proactiva y generadora de valor: los datos del pasaporte habilitarán nuevos modelos de negocio circulares (reacondicionamiento, piezas certificadas, reciclaje a precio diferencial), diferenciación de producto por transparencia, y acceso a mercados de bonos de impacto ESG ligados a evidencia verificable de sostenibilidad.

El efecto Bruselas como vector de globalización del PDP

La obligatoriedad del PDP para todos los productos comercializados en la UE —independientemente del país de fabricación— convierte a la regulación europea en estándar global de facto. Un fabricante textil en Vietnam, un productor de aluminio en Brasil o un ensamblador electrónico en México que exporten a Europa deberán implementar infraestructura PDP completa. Esta dinámica regulatoria —denominada 'Efecto Bruselas' en la literatura de derecho comercial— es el mecanismo por el cual una regulación regional se convierte en estándar mundial sin necesidad de tratados multilaterales. Para la industria manufacturera latinoamericana orientada a la exportación, esto representa un plazo de preparación urgente [8].

Impacto sobre los procesos transversales de la industria manufacturera

La tendencia tiene impacto transversal en cinco procesos, con diferente mecanismo de acción en cada uno.

Tabla 1. Impacto actual y proyectado de la tendencia T07 sobre procesos críticos

Proceso transversal	Impacto actual	Impacto proyectado	Descripción del impacto
Logística de entrada	Alto	Alto	Es el proceso con mayor penetración actual de RFID. La lectura automática de etiquetas en puertas de entrada/salida, almacenes y muelles elimina el inventario físico manual periódico y el escaneo manual de códigos de barras. Actualmente: reducción del 15-20% en errores de inventario (Marks & Spencer, Decathlon). A futuro: integración plena RFID-WMS-blockchain para visibilidad de cadena en tiempo real; pasaporte digital acompañando el movimiento de cada unidad; alertas automáticas de discrepancia. Los puestos de inventarista manual, verificador de entradas y controlador de stock se reconvierten hacia supervisión de sistemas y gestión de excepciones.
Logística de salida	Medio	Alto	El RFID en expedición verifica automáticamente la composición y completitud de los pedidos antes del despacho, reduciendo errores de envío. Los sistemas de trazabilidad vinculan el producto terminado con su lote de producción y sus materiales de origen, habilitando recalls acotados. La lectura en puertas de salida confirma el despacho en tiempo real en el WMS. Proyectado: El PDP deberá acompañar al producto en la salida: la expedición será el punto de emisión o confirmación del pasaporte digital que sigue al producto hasta el consumidor final. Esto añade una capa de responsabilidad documental a la intralogística de salida.
Compras y abastecimiento	Medio	Alto	Actualmente: RFID para seguimiento de activos y WIP; blockchain para verificación de origen de materiales críticos y cumplimiento ESG de proveedores (cobalto, minerales de conflicto). A futuro: el PDP exigirá a los compradores validar y registrar información de composición y origen de materiales para su incorporación al pasaporte del producto final. Los perfiles de compras incorporan tareas de recopilación, validación y gestión de datos de trazabilidad de proveedores como componente permanente del proceso de abastecimiento.

Proceso transversal	Impacto actual	Impacto proyectado	Descripción del impacto
Control de calidad	Medio	Medio	La trazabilidad digital permite vincular cada unidad producida con sus parámetros de proceso, materiales y operador, habilitando la trazabilidad de no conformidades hasta el origen exacto. Actualmente: RFID para trazabilidad de WIP y lotes en manufactura de alta complejidad (farmacéutico, automotriz, aeroespacial). A futuro: el PDP incorpora datos de calidad e historial de inspección como parte del registro de ciclo de vida; los reclamos de garantía y recalls se gestionan con trazabilidad exacta a nivel de unidad, reduciendo el alcance y costo de los retiros de mercado.
Gestión de residuos	Bajo	Medio	La trazabilidad digital habilita el seguimiento del ciclo de vida completo del producto hacia el fin de vida, facilitando la separación de materiales, la identificación de componentes recuperables y la verificación del destino de los residuos. A futuro: el PDP es el instrumento habilitador de la economía circular industrial, al proporcionar la información necesaria para el reciclaje diferencial, el reacondicionamiento y la reutilización de componentes con historial verificado.
Gestión del cumplimiento	Medio	Alto	Actualmente: blockchain para trazabilidad de origen y cumplimiento de regulaciones de due diligence (UFLPA, CSRD, LkSG). A futuro: el PDP se convierte en el instrumento central de cumplimiento regulatorio ante la ESPR — los auditores y reguladores accederán directamente a los pasaportes digitales para verificar el cumplimiento. Los perfiles de cumplimiento deben incorporar gestión de datos de ciclo de vida, verificación de información en pasaportes y auditoría de trazabilidad digital como competencias centrales.
Producción	Bajo	Medio	Impacto creciente: la trazabilidad a nivel de unidad (RFID en WIP) provee visibilidad del proceso productivo en tiempo real. A futuro: la generación automática de los datos del PDP durante el proceso productivo (composición de materiales, parámetros de proceso, operarios) requerirá integración entre los sistemas de trazabilidad y los sistemas MES/ERP, transformando cómo se captura y estructura la información de proceso.

Dimensiones del impacto ocupacional y sobre perfiles (C2 = 3 – Medio)

El impacto sobre el empleo es de reconversión parcial de perfiles operativos, no de desplazamiento masivo. La automatización de tareas de registro y verificación manual reduce el trabajo de baja calificación en logística e inventarios, pero simultáneamente crea demanda de nuevas competencias para la gestión, validación y análisis de los sistemas de trazabilidad digital. El balance es negativo para los roles puramente manuales de registro y positivo para los perfiles con capacidades digitales y analíticas.

- Perfiles con mayor reconversión de tareas: operario de inventarios / almacenero, verificador de recepciones y expediciones, inspector de calidad de recepción, especialista en documentación de cumplimiento, analista de trazabilidad de lotes.
- Nuevas competencias demandadas: operación y supervisión de sistemas RFID y WMS integrados, gestión de plataformas *blockchain* de trazabilidad, recopilación y validación de datos para Pasaporte Digital de Producto, análisis de datos de trazabilidad para auditorías de calidad y cumplimiento, conocimiento de marcos regulatorios ESPR/PDP, DSCSA, FMD, interoperabilidad de sistemas de trazabilidad entre empresas [6][4].
- Perfiles emergentes de alta demanda: gestor de datos de pasaporte digital, analista de trazabilidad de cadena de suministro, especialista en cumplimiento *blockchain*, coordinador de identidad digital de productos.
- Impacto diferencial por sector: mayor impacto de reconversión en farmacéutica (DSCSA/FMD ya vigentes), automotriz (baterías EV y minerales críticos), textil-confección y electrónica (primeros grupos de productos del PDP). Manufactura de alimentos y bebidas: impacto medio-alto por regulaciones FDA/FSMA de trazabilidad.

Anexo A4.7. Evidencia empírica internacional

RFID en manufactura y logística

- Walmart RFID Mandate (febrero 2025): Walmart expandió su mandato de etiquetado RFID a nivel de ítem más allá de la ropa hacia electrónica y artículos del hogar en todos sus proveedores. Dado que Walmart es el mayor minorista del mundo, este mandato obliga a miles de fabricantes proveedores globales a implementar capacidades RFID en sus líneas de producción y sistemas de gestión [4].
- BMW / Bosch – Industry 4.0 con RFID: BMW y Bosch despliegan redes de fábrica habilitadas por RFID como columna vertebral del seguimiento de componentes y el mantenimiento predictivo en sus plantas alemanas. La integración de RFID con OPC-UA y gemelos digitales está mejorando la interoperabilidad industrial. Estos despliegues son referentes en el marco de la estrategia Industry 4.0 de Alemania [4].
- Roots Analysis RFID Market Report (2026): el mercado global RFID crecerá de USD 16,57 mil millones (2025) a USD 54,46 mil millones (2035), CAGR del 12,63%. La regulación PDP de la UE (efectiva 2027) está construyendo una fuerte justificación para la inversión en RFID, especialmente en confección, electrónica y farmacéuticos donde se requiere trazabilidad a nivel de material. Zebra Technologies presentó en ProMat 2025 soluciones RFID potenciadas por IA con análisis inteligente en tiempo real [4].

Blockchain para trazabilidad

- IBM Food Trust – Walmart y Nestlé: la plataforma IBM Food Trust, implementada en 2019 con Walmart, Nestlé, Tyson y otros, reduce el tiempo de rastreo de contaminación alimentaria de semanas a segundos mediante *blockchain* Hyperledger. El caso Walmart es el referente más citado de despliegue a escala industrial de *blockchain* para trazabilidad en alimentos [9].
- Intertek HoneyTrace (noviembre 2024): plataforma *blockchain* para combatir el fraude de miel, que permite a productores, exportadores y envasadores rastrear lotes de la colmena al frasco, asegurando transparencia, autenticidad y cumplimiento con las regulaciones de origen de la UE. Ilustra la extensión del *blockchain* hacia cadenas de valor agroindustriales [10].
- Eviden / IOTA Foundation – Solución PDP enterprise (junio 2024): Eviden lanzó en asociación con la Fundación IOTA la Eviden Digital Passport Solution (EDPS), una solución *blockchain* de pasaporte digital llave en mano, con almacenamiento seguro e

inmutable de datos sobre el ciclo de vida del producto, huella de carbono y desempeño de sostenibilidad [11].

- BMW Group / trazabilidad de cobalto en cadena de baterías EV: BMW Group utiliza tecnología *blockchain* (plataforma Circulor) para rastrear el cobalto desde las minas de la República Democrática del Congo hasta las celdas de batería en sus vehículos eléctricos, verificando condiciones laborales y ambientales en la cadena de extracción. El caso fue pionero en el uso de *blockchain* para *due diligence* de minerales críticos [9].

Pasaporte Digital de Producto — marco regulatorio

- ESPR / Reglamento UE 2024/1781 (julio 2024): la UE adoptó el Reglamento de Ecodiseño para Productos Sostenibles en julio de 2024, estableciendo el marco legal para el PDP obligatorio. El Plan de Trabajo ESPR 2025-2030 (COM(2025)187 final) detalla el calendario de adopción de actos delegados por grupos de productos. El PDP debe ser accesible mediante chip NFC, código QR o etiqueta RFID, vinculado a un pasaporte alojado en la nube que cumpla con ISO/IEC 15459 para trazabilidad global [6][7].
- Battery Passport (Reglamento UE 2023/1542): la primera implementación concreta del PDP, obligatoria desde el 18 de febrero de 2027 para baterías industriales y de EV. Actúa como piloto y referente para los demás grupos de productos. Madaster lanzó en enero de 2025 su propia plataforma PDP diseñada específicamente para la construcción y manufactura [3][12].
- CIRPASS-2 (Proyecto piloto UE): el consorcio CIRPASS-2 de la UE agrupa más de 150 empresas en sectores de confección y electrónica que testean implementaciones PDP. Moncler, Prada y Louis Vuitton han comenzado a usar PDPs basados en *blockchain* para proporcionar información verificable y escalable de sus cadenas de suministro [5].
- ISO/IEC JTC 5 — estándares globales PDP (abril 2026): el comité internacional ISO/IEC JTC 5 fue lanzado en abril de 2026 como comité global de estándares PDP. Su trabajo comenzará a fines de 2026 con los primeros entregables esperados para 2028, sentando las bases para la interoperabilidad global de los pasaportes digitales [8].

Referencias

- [1] Global Market Insights / GMIInsights (2025). RFID Market Size, Share & Forecast Report 2025-2034. Disponible en: <https://www.gminsights.com/industry-analysis/rfid-market> [Mercado RFID global USD 16,8B en 2024; CAGR 12,7% hasta 2034; demanda creciente de visibilidad y transparencia de cadena de suministro como driver principal].

- [2] Market.us (2025). Global Blockchain for Supply Chain Traceability Market. Disponible en: <https://market.us/report/blockchain-for-supply-chain-traceability-market/> [Mercado blockchain trazabilidad USD 2,89B en 2024 USD 44,3B en 2034; CAGR 31,4%; Norteamérica 35% cuota; alimentos, farmacéutica, automotriz y bienes de lujo como sectores líderes].

- [3] Grand View Research / Global Market Insights (2024-2025). Digital Product Passport Market Size. Disponible en: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/digital-product-passport-market-report> [PDP mercado USD 183-214M en 2024; CAGR 22,6-34,9% hasta 2030-2034; Europa 36% cuota; textil/confección como segmento líder].

- [4] Roots Analysis (2026). RFID Market Size, Share & Forecast 2025-2035. Disponible en: <https://www.rootsanalysis.com/rfid-market> [Mercado RFID USD 16,57B 2025USD 54,46B 2035; CAGR 12,63%; Walmart amplia mandato RFID a electrónica y artículos hogar (febrero 2025); BMW/Bosch RFID Industry 4.0; Marks & Spencer/Decathlon 15-20% mejora precisión inventario; Zebra Technologies AI-RFID en ProMat 2025].

- [5] Zeeve (diciembre 2025). 'Could Digital Product Passport for Textiles Be the Biggest Compliance Trend This Year?'. Disponible en: <https://www.zeeve.io/blog/could-digital-product-passport-for-textiles-be-the-biggest-compliance-trend-this-year/> [PDP mercado USD 185,9M 2024USD 1.780,5M 2030; CIRPASS: >150 empresas en piloto UE; Moncler/Prada/Louis Vuitton con blockchain-PDP; blockchain sostenible: USD 827,6M en 2024 con CAGR 35,1%].

- [6] Circularise / Climaq / ASUENE (2025-2026). 'Digital Product Passports required by EU legislation'. Disponible en: <https://www.circularise.com/blogs/dpps-required-by-eu-legislation-across-sectors/> [Reglamento ESPR UE 2024/1781 vigente desde julio 2024; Battery Passport obligatorio desde 18 feb. 2027; cronograma: hierro/acero 2026; aluminio/textiles/neumáticos 2027; mobiliario 2028; electrónica/colchones 2029].

- [7] Hogan Lovells (2025). 'Digital Product Passports in the EU – Comprehensive Expansion under the ESPR'. Disponible en: <https://www.hoganlovells.com/en/publications/digital-product-passports-in-the-eu-comprehensive-expansion> [Marco legal ESPR; piloto Battery Passport; plan de trabajo ESPR 2025-2030; análisis para empresas internacionales; requisitos de dato por grupo de productos].

- [8] Fiegenbaum Solutions (mayo 2026). 'Digital Product Passport (PDP) 2026: EU, China & US Requirements + Implementation Guide'. Disponible en: <https://www.fiegenbaum.solutions/en/blog/digital-product-passport-from-european-regulation-to-global-standard> ['Efecto Bruselas': PDP como estándar global de facto; China desarrolla sistemas paralelos 2027; ISO/IEC JTC 5 lanzado abril 2026 como comité global de estándares PDP; inicio Q3 2026].

- [9] ScienceDirect / Blockchain Council (2023-2025). Blockchain-enabled supply chain traceability – How wide? How deep? Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925527323001950> [Casos: IBM Food Trust (Walmart/Nestlé); BMW Group-Circular trazabilidad cobalto baterías EV; Volvo, Airbus, Rolls Royce, Merck/MediLedger; >2,1 USD billones mercado blockchain SCM en 2023].

-
- [10] DataM Intelligence (2025). Food Traceability & Blockchain Market 2025-2032. Disponible en: <https://www.datamintelligence.com/research-report/food-traceability-and-blockchain-solutions-market> [Mercado USD 41,56B en 2024USD 97,17B 2032; caso Intertek HoneyTrace noviembre 2024; FDA trazabilidad alimentos alto riesgo agosto 2024; caso Mahaseel-Banco Alimentario Egipto blockchain diciembre 2024].
-
- [11] Grand View Research (2024). Digital Product Passport Market Size Industry Report, 2030. Disponible en: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/digital-product-passport-market-report> [Caso Eviden/IOTA Foundation – Eviden Digital Passport Solution (EDPS), junio 2024: blockchain PDP llave en mano; caso Madaster PDP plataforma construcción/manufactura enero 2025].
-
- [12] Climaq / Slimstock (2025). 'Digital Product Passports: what you need to know to be ready for regulatory compliance in 2026'. Disponible en: <https://www.climatiq.io/blog/digital-product-passports-what-you-need-to-know-to-be-ready-for-regulatory-compliance-in-2025> [Battery Passport 18 feb. 2027 como primer PDP obligatorio; PDP accesible via NFC/QR/RFID; cumplimiento ISO/IEC 15459; 'beyond production': PDP para reventa, reparación y fin de vida].
-
- [13] Mordor Intelligence / Roots Analysis (2025). RFID Market – FDA DSCSA, EU FMD Pharma Serialization. Disponible en: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/global-rfid-market> [FDA DSCSA y EU FMD como mandatos de serialización farmacéutica; item-level RFID Walmart/Inditex; gobierno India FASTag; China ETC; precios tags UHF <USD 0,04 abriendo FMCG].
-
- [14] Research Nester / WHO (2025). 'Blockchain for Supply Chain Traceability Market Size'. Disponible en: <https://www.researchnester.com/reports/blockchain-for-supply-chain-traceability-market/6531> [Medicamentos falsificados USD 83M mercado per OMS 2024; De Beers plataforma Tracr para diamantes; crecimiento >3,55B USD 2025 con CAGR >31%].
-
- [15] Frontiers in Blockchain (octubre 2025). 'Digitalization in the European agri-food supply chain: a scoping review of traceability, transparency, and sustainability'. Disponible en: <https://www.frontiersin.org/journals/blockchain/articles/10.3389/fbloc.2025.1701872> [Revisión sistemática: RFID como técnica dominante en logística alimentaria; blockchain como capa de integridad complementaria; Walmart como market-setter que establece estándares para toda la cadena].
-
- [16] Verified Market Research (2025). Blockchain Supply Chain Market Size, Share, Trends & Forecast. Disponible en: <https://www.verifiedmarketresearch.com/product/blockchain-supply-chain-market/> [Manufacturing: CAGR 76,26% 2025-2030 en blockchain para supply chain; logistics/SCM con 46% del segmento; product traceability como subsegmento dominante con 24,5% cuota en 2024].
-